



Analisis Pengolahan Air Asam Tambang pada Media Tandan Sawit dan Kompos dengan Sistem *Anaerobic Wetland* Aliran Bawah Permukaan di PT Berau Coal

Firman Aziz Nugraha¹, Hifzil Kirmi², Bambang Haryanto³

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

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

Abstract

The impact that caused from open pit mining activities was acid mine drainage (AMD). The main factors of increasing acid mine drainage were water, air, and its materials which contained sulphide minerals. As we know, this mineral caused decreasing of pH value and had high content of ferrous metals (Fe) and manganese (Mn). Consequently, we needed to treat the acid mine drainage before it was discharged into the environment. One of the acid mine drainage treatment was wetland methods. This treatment used plant as its media, one of kind its media was oil palm empty fruit bunches which existed in Berau Regency, close to the location of Berau Coal's mining area. The availability of oil palm bunches guaranteed this method would be potential for recover the air mine drainage quality. This study aims to determine the ability of the composition of oil palm bunches and compost to qualify the quality of acid mine water in Berau Coal mining area, especially in WMP 36 Site Samarata. We used anaerobic wetland system using *Typha latifolia* plants which ratio of oil palm bunches and compost were 25:75; 50:50; 75:25; dan 100; 0. We found that the using of compost and oil palm bunches were able to increase the pH value from 6.42 to 7.70 in a day. There were also increasing of TSS value, Fe value, and Mn value, because of the microorganisms and physical factors such as sedimentation and filtration.

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

Abstrak

Dampak yang timbul dari kegiatan pertambangan sistem terbuka yakni munculnya air asam tambang (AAT). Pembentukan air asam tambang dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu air, udara dan material yang mengandung mineral-mineral sulfida, hal tersebut menyebabkan pH air menjadi rendah dan juga memiliki kandungan logam besi (Fe) serta mangan (Mn) yang tinggi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan terhadap air asam tambang sebelum dapat dibuang ke lingkungan. Di sekitar lokasi PT Berau Coal, Kab Berau, Kalimantan timur terdapat beberapa jenis limbah organik, salah satunya yakni tandan kosong sawit. Ketersediaan tandan sawit yang melimpah sehingga menjadi bahan yang sangat potensial untuk digunakan sebagai media *passive treatment*. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui kemampuan komposisi media tandan sawit dan kompos untuk meningkatkan kualitas air asam tambang WMP 36 site sambarata. Metode penelitian ini menggunakan sistem *anaerobic 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 6.42 hingga 7.70, dinamika kenaikan nilai TSS, Fe dan Mn berkaitan dengan komponen yang ada dalam sistem seperti karakteristik kompos dan tandan sawit, mikroorganisme dan faktor fisik, seperti sedimentasi dan filtrasi.

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

1. Pendahuluan

Pertambangan merupakan suatu kegiatan untuk memperoleh mineral dari dalam bumi. Salah satu sumber mineral yang diambil yakni batubara. PT Berau Coal merupakan unit usaha pada sektor pertambangan batubara yang berada di Kab Berau provinsi Kalimantan timur yang menggunakan sistem pertambangan terbuka (*open pit mining*). Proses pertambangan menggunakan sistem pertambangan terbuka melibatkan banyak alat berat untuk penggalian tanah maupun menggunakan ledakan (*blasting*). Hal tersebut mengakibatkan hilangnya bentuk permukaan bumi sehingga terjadinya penurunan kualitas lingkungan. Salah satu dampak dari proses pertambangan adalah timbulnya Air Asam Tambang (AAT). Pembentukan air asam tambang dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu air, udara, dan material yang mengandung mineral-mineral sulfida (Nurisman dkk, 2012). Senyawa-senyawa pirit yang terlarut menyebabkan pH air rendah dan juga memiliki logam Fe serta Mn yang tinggi.

Passive treatment merupakan metode pengolahan air yang memanfaatkan proses fisik, kimia, dan biologis dalam menghilangkan kandungan logam dalam air asam tambang. Salah satu metode *passive treatment* yang digunakan untuk meningkatkan kualitas AAT, yakni dengan *anaerobic wetland*. Sistem rawa buatan merupakan salah satu alternatif teknologi yang sederhana, mempunyai biaya operasional murah, dan pemeliharaan yang relatif mudah untuk mengolah air limbah (Hermawati dkk., 2005). Sistem rawa buatan 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). Pada prinsipnya sistem ini memanfaatkan aktivitas mikroorganisme yang menempel pada akar tumbuhan air dalam menguraikan zat pencemar di mana akar tumbuhan air menghasilkan oksigen sehingga tercipta kondisi *aerobic* yang mendukung proses pengurai tersebut. Proses-proses fisik terdiri dari proses sedimentasi, filtrasi, pemangsaan, dan pemanasan. Proses-proses fisik-kimia terdiri dari proses adsorpsi bahan pencemar oleh tanaman air, sedimen, dan substrat organik. Sedangkan proses-proses biokimia terdiri dari proses penguraian zat pencemar oleh bakteri yang menempel pada permukaan substrat/media, perakaran tanaman, dan serasah serta penyerapan nutrisi dan zat-zat pencemar lainnya oleh tanaman. Pada proses penguraian oleh bakteri, proses penguraian secara *aerobic* (misalnya nitrifikasi) terjadi di zona *aerobic* dekat perakaran, proses anoksik (misalnya denitrifikasi) terjadi di daerah yang agak jauh dari perakaran, dan proses *anaerobic* terjadi di zona *anaerobic* di mana tidak terdapat oksigen. Mekanisme penyisihan logam berat dalam *constructed wetland* dapat berupa penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tanaman yang lain, akumulasi logam pada sel dan jaringan tertentu (Nouri dkk., 2009).

Bahan organik merupakan salah satu komponen penting pengendalian pasif AAT dengan teknik rawa buatan. Peran substrat organik, antara lain menghambat oksidasi pirit melalui mekanisme: (1) konsumsi oksigen oleh bakteri selain *Thiobacillus ferrooxidans* dan *T. thiooxidans*, (2) pengambilan besi (III) dari larutan melalui kompleksasi, dan (3) pembentukan kompleks pirit-besi (II)-humat (Evangelou, 1995; Ditch dan Karathanasis, 1994). Beberapa jenis bahan organik memiliki kemampuan untuk mengurangi logam berat di dalam air seperti *Empty Fruit Bunch* (EFB) atau tandan kosong sawit. Menurut studi yang dilakukan menunjukkan bahwa EFB memiliki kemampuan untuk mengurangi kekeruhan dan kandungan logam dalam air terutama Fe dan Mn (Nassar dkk., 2004; 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).

Penelitian dengan menggunakan tandan sawit sistem *wetland* untuk mengolah air asam tambang belum banyak dilakukan. Hal tersebut mendorong penulis untuk melakukan penelitian ini di mana

diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadikan inovasi baru bagi perusahaan dalam mengolah air asam tambang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji peningkatan kualitas *effluent* di WMP menggunakan sistem *anaerobic wetland* dengan media tanam tandan sawit dan kompos diharapkan dapat mengembalikan baku mutu air sesuai dengan peruntukan baku mutu pH, TSS, Mn, Fe mengacu kepada Perda Kaltim No.2 tahun 2011.

2. Metode

Metode yang digunakan pada penulisan ini terdiri:

2.1. Persiapan Awal

Dalam penelitian ini peneliti melakukan percobaan pembuatan *anaerobic wetland* dengan skala laboratorium menggunakan 4 buah bak reaktor kayu yang dilapisi dengan terpal dan pada masing-masing bak diisi dengan dilakukan variasi berupa krikil, batu gamping, kompos, tandan kosong sawit dan tumbuhan *Typha latifolia*. Air asam tambang berasal dari WMP 36 Site Samarata PT Berau Coal. Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan dalam percobaan pembuatan *anaerobic wetland* :

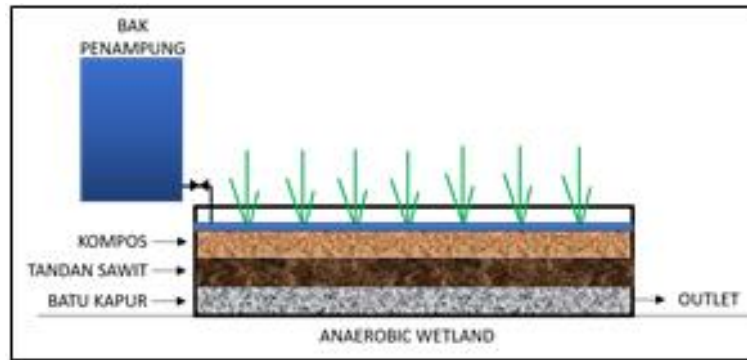
- a. Bak reaktor dengan ukuran $p \times l \times t$ (120 cm x 40 cm x 50 cm)
- b. Terpal
- c. Pralon 0.5 inchi
- d. pH meter
- e. Botol sampel
- f. Air Asam Tambang WMP 36
- g. Kerikil $d < 3$ cm
- h. Kompos
- i. Batu gamping
- j. Tanaman *Typha Latifolia* 28 rumpun, setinggi 30 cm
- k. Ember 5 liter 2 buah

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 menumbuhkan tanaman tersebut dan tandan sawit diperoleh dari perkebunan disekitar area tambang.

2.2. Bak Reaktor

Menyusun bak reaktor kayu dengan ukuran 120 cm x 30 cm x 50 cm, kemudian melapisinya dengan terpal dan dibuat saluran *outlet* dengan menggunakan pralon 0,5 inchi. Setelah itu, menyusun dari bawah ke atas dengan perlakuan:

- A : Batu kapur 10 cm, kerikil 5 cm, campuran kompos dengan tandan sawit 75:25 setebal 20 cm, *Typha* dengan jarak tanam 15 cm.
B : Batu kapur 10 cm, kerikil 5 cm, campuran kompos dengan tandan sawit 50:50 setebal 20 cm, *Typha* dengan jarak tanam 15 cm.
C : Batu kapur 10 cm, kerikil 5 cm, campuran kompos dengan tandan sawit 25:75 setebal 20 cm, *Typha* dengan jarak tanam 15 cm.
D : Batu kapur 10 cm, kerikil 5 cm, tandan sawit setebal 20 cm, *Typha* dengan jarak tanam 15 cm.



Gambar 1: Skema Reaktor yang Digunakan

Sumber: Rencana Penelitian

2.3. Pengoperasian Reaktor

Menuang air asam tambang masing-masing bak reaktor sebanyak 75 liter, dan pemberian aliran air melalui bak penampung sebesar 18 liter/hari.

2.4. Pengambilan Sampel

Pengujian pH dan TSS dilakukan setiap hari dan pengujian Fe dan Mn dilakukan pada sampel hari 1, 3, 5, dan 7.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, sistem aliran vertikal yang digunakan adalah aliran vertikal menurun yang memanfaatkan gaya gravitasi atau *downflow*. Pada aliran tipe vertikal menurun, air dialirkan ke dalam lahan basah buatan dari lapisan atas media dan saluran *outlet* dibuat di dasar media, sehingga air akan mengalir kebawah dengan melewati zona akar dengan gaya gravitasi. Pada sistem aliran vertikal menurun ini diharapkan adanya kontak langsung antara zona perakaran tanaman typha dengan air asam tambang batubara. Sehingga proses penurunan Fe dan Mn dapat tercapai. Selain itu mikroorganisme juga diharapkan dapat berperan dalam sistem ini.

Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa air limbah AAT mempunyai pH 3.89 (asam), TSS 8 mg/l, Fe 2.44 mg/l dan Mn 0.23 mg/l. Tingkat keasaman (pH) yang rendah mengidentifikasi bahwa AAT mengandung mineral pirit. Mineral pirit terdapat pada batuan beku yang berwarna kekuningan. Kadar sulfat (SO₄) AAT sangat tinggi menunjukkan bahwa oksidasi pirit telah terjadi dengan dihasilkannya sulfat yang sangat tinggi. Sedangkan kadar besi (III) menunjukkan bahwa terjadi oksidasi pirit menghasilkan hidrogen dan sulfat. Menurut Skousen dan Ziemkiewicz (1996), air tambang tersebut masuk dalam kategori 1 di mana air tambang yang tidak atau sedikit mengandung alkalinitas (pH < 4,5) dan mengandung Fe, Al, Mn, dan logam lainnya, asam (H⁺) dan oksigen dengan konsentrasi yang tinggi. Berikut karakteristik awal air limbah terdapat pada Tabel 1.

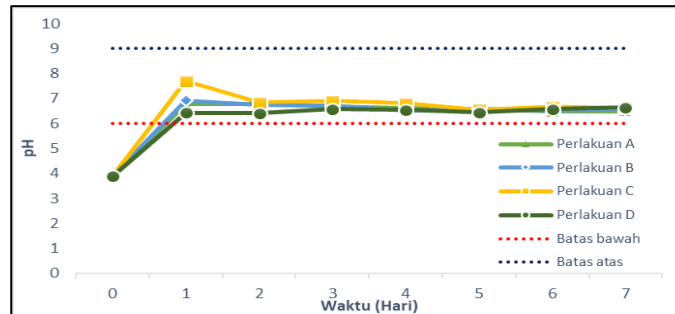
Tabel 1: Uji karakteristik awal air asam tambang

Parameter	Baku Mutu (Perda Kaltim No 2/ 2011)	Hasil
pH	6-9	3.89
TSS (mg/)	300	8
Fe (mg/)	7	2.44
Mn (mg/)	4	0.23

Sumber: Hasil Pengujian

3.1. Peningkatan pH

Parameter lingkungan yang diukur pada penelitian ini adalah derajat keasaman (pH). Data hasil pengukuran parameter pH sampel pada sampel air sebelum dan setelah pengoprasian reaktor, dengan variasi jumlah tandan sawit dan kompos dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2: Grafik Hasil Pengujian pH pada Reaktor *Anaerobic Wetland* Menggunakan Media Tandan Sawit dan Kompos

Sumber: Rencana Penelitian

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).

Berdasarkan Gambar 2 tersebut, terlihat tren pH mengalami kenaikan yang signifikan pada hari pertama dari 3.89 menjadi 6.8-7 dan bergerak statis dikisaran pH 6.5. Kenaikan tertinggi terdapat pada perlakuan C dengan nilai pH rata-rata sebesar 6.88. Limbah organik mampu menetralisasi 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 Riwandi (2007), tandan sawit memiliki nilai unsur basa yang tinggi, yakni sebesar Na: 0,65; K: 1.19; Ca: 0.15; Mg: 0.64. Selain itu, kenaikan pH basa pada sistem disebabkan oleh kandungan ammonia dan senyawa basa lainnya dalam kompos.

Tabel 2: Rata-rata nilai pH air pada awal dan akhir pengukuran

Reaktor	Hasil	Persentase Perubahan
A	pH awal: 3.89 pH akhir: 6.50	67.10%
B	pH awal: 3.89 pH akhir: 6.57	68.89%
C	pH awal: 3.89 pH akhir: 6.63	70.44%
D	pH awal: 3.89 pH akhir: 6.64	70.69%

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);

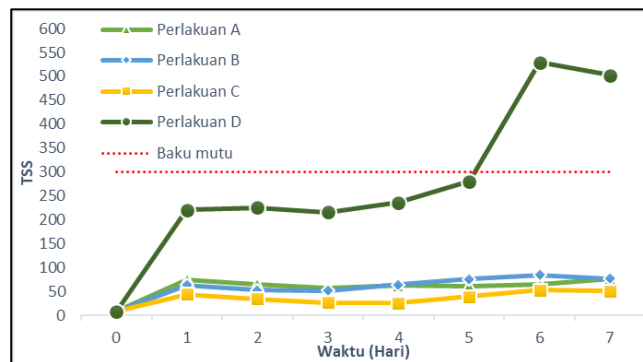
Dalam sistem *anaerobic wetland* lapisan batu kapur disusun di bawah material organik, atau batu kapur dapat dicampur di antara material organik. Alkalinitas di *wetland* dapat dihasilkan oleh aktivitas

bakteri pereduksi sulfat, yang menggunakan bahan organik sebagai sumber karbon dan sulfat sebagai akseptor elektron untuk pertumbuhan. Bakteri mengubah sulfat menjadi hidrogen sulfida serta menghasilkan alkalinitas bikarbonat.

Nilai alkalinitas juga dapat dihasilkan dari peleburan batu kapur ketika berkontak dengan air asam tambang. Konsentrasi logam juga dapat diturunkan melalui proses pretipitasi oleh lapisan organik pada *wetland* ketika proses *anaerobic*. Selain itu, beberapa logam dapat dihilangkan sebagai endapan karbonat, karena adanya alkalinitas bikarbonat yang disediakan oleh batu kapur dan/atau aktivitas bakteri pereduksi sulfat.

3.2. Perubahan Nilai TSS

TSS adalah material padatan termasuk bahan organik dan anorganik yang tersuspensi di daerah perairan. Hasil pengujian awal menunjukkan nilai TSS pada air sangat rendah, yakni 8 mg/l. Setelah melalui proses *treatment* terjadi peningkatan TSS di semua perlakuan. Peningkatan kekeruhan tersebut dapat berasal dari zat organik yang terdapat pada kompos maupun tandan sawit misalnya asam humus, asam vulvat yang merupakan hasil penguraian jasad tumbuh-tumbuhan atau binatang yang telah mati. Kandungan organik yang tinggi pada air akan meningkatkan populasi mikroorganisme, misalnya plankton, bakteri, alga serta virus yang umumnya menyebabkan kekeruhan air atau perubahan warna dalam air. Kandungan mineral, seperti pasir, silt, dan lempung dapat juga tersuspensi dalam air.



Gambar 3: Grafik Hasil Pengujian TSS pada Reaktor *Anaerobic Wetland* Menggunakan Media Tandan Sawit dan Kompos

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).

Gambar 3 menunjukkan terjadinya peningkatan kandungan TSS pada air, peningkatan pada perlakuan A, B dan C cenderung stabil berkisar diantara 27-85 mg/l. Namun peningkatan tertinggi terjadi pada perlakuan D, yakni di atas 200 mg/l dan perubahan warna air menjadi kehitaman. Hal tersebut dapat dikarenakan tandan sawit melewati titik jenuh pada air (20 cm), yakni di mana kandungan senyawa lignin pada tandan sawit mengalami proses degradasi. Pada proses tersebut kandungan lignin pada tandan sawit 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.

Lindi hitam yang dihasilkan pada penelitian ini berbau menyengat, hal tersebut diduga karena masih banyaknya etanol di dalam lindi hitam. Selain itu, bau tidak sedap pada lindi hitam dapat disebabkan oleh senyawa kimia, seperti metil merkaptan, dimetil sulfida, dan dimetil disulfida; terdegradasinya

asam lemak menjadi asam-asam lemak berantai pendek seperti asam butirat, senyawa hasil degradasi karbohidrat, serta terbentuknya asam format dan asam asetat.

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

Reaktor	Hasil	Persentase Perubahan
A	TSS awal: 8 TSS akhir: 77	863%
B	TSS awal: 8 TSS akhir: 77	863%
C	TSS awal: 8 TSS akhir: 51	538%
D	TSS awal: 8 TSS akhir: 502	6175%

Sumber: Hasil Pengujian

Keterangan:

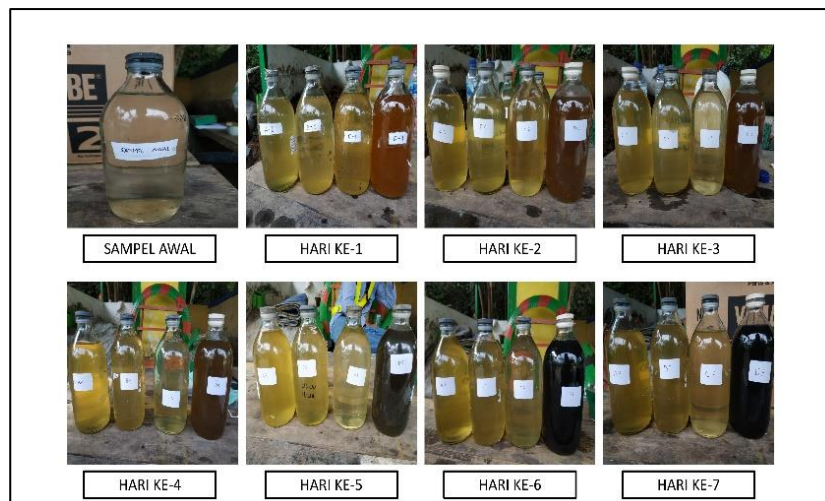
Perlakuan A (Perbandingan sawit dan kompos 25:75);

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

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

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

Berdasarkan hasil pengujian jika dibandingkan dengan baku mutu. Perlakuan a, b dan c memenuhi syarat baku mutu TSS air dengan hasil terendah diperoleh pada perlakuan c (75:25) dengan nilai 51 mg/L dan perlakuan d tidak memenuhi baku mutu dengan nilai akhir 502 mg/L. Berikut adalah gambar hasil pengolahan air asam tambang yang dilakukan selama 7 hari.

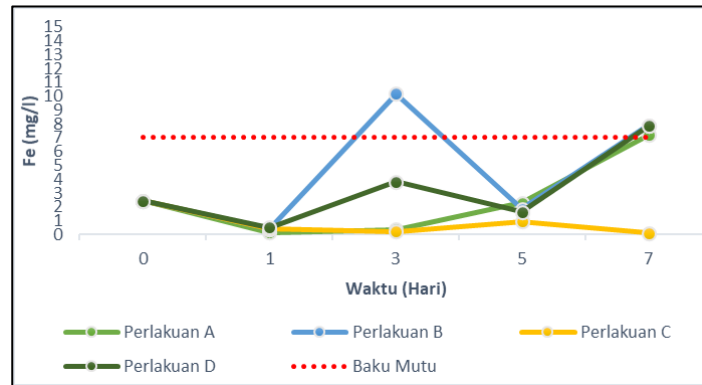


Gambar 4: Hasil Pengujian Sampel Selama 7 Hari

Sumber: Hasil Pengujian

3.3. Perubahan Konsentrasi Fe dan Mn

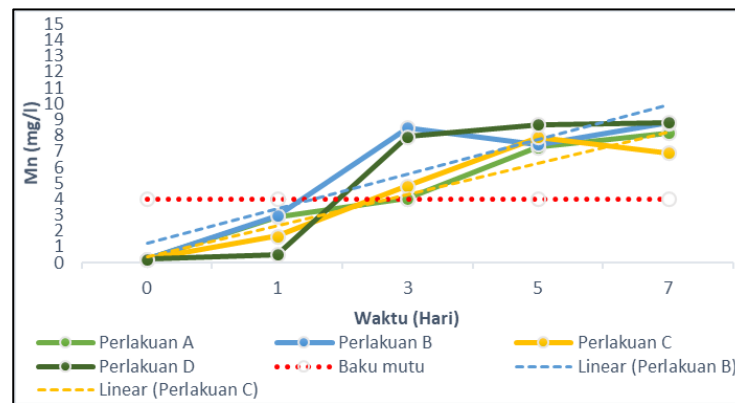
Gambar 5 dan 6 menunjukkan bahwa media pada tiap perlakuannya memiliki hasil yang bervariasi. Terjadinya peningkatan dan penurunan Fe pada hari tertentu dengan rentang konsentrasi Fe dari 0.16 mg/L hingga 10.18 mg/L. Konsentrasi Fe tertinggi pada perlakuan B pada hari ke 3 sebesar 10.18 mg/L.



Gambar 5: Konsentrasi Fe pada Reaktor *Anaerobic Wetland* Menggunakan Media Tandan Sawit dan Kompos

Sumber: Hasil Pengujian

Hasil pengukuran kandungan mangan juga menunjukkan peningkatan. Peningkatan konsentrasi Mn terjadi pada hari pertama hingga hari ke tujuh dengan rentang 1.7 mg/L hingga 8.76 mg/L. Konsentrasi Mn tertinggi terjadi pada perlakuan B pada hari ke 7.



Gambar 6: Konsentrasi Mn pada Reaktor *Anaerobic Wetland* Menggunakan Media Tandan Sawit dan Kompos

Sumber: Hasil Pengujian

Dinamika kenaikan dan penurunan kandungan besi dan mangan terkait proses yang terjadi pada sistem *wetland* dengan aliran bawah permukaan, yakni proses fisik yang terdiri dari sedimentasi dan filtrasi. Proses sedimentasi terjadi ketika konsentrasi besi mengalami pengendapan selama penelitian berlangsung. Sedangkan proses filtrasi disebabkan oleh sistem perakaran dari tanaman *typha* serta pada media tandan sawit dan kompos. Tanaman *typha* memiliki kemampuan biofilter, di mana pada sistem perakaran yang membentuk filter yang dapat menahan dan menyerap logam yang terdapat pada air limbah. Sedangkan pada media, proses filtrasi terjadi ketika partikel-partikel tandan sawit yang memiliki pori memisahkan logam Fe dan Mn yang terlarut pada air.

Pada dasarnya tumbuhan mempunyai kapasitas untuk menyerap ion-ion dari lingkungannya ke dalam tubuh melalui membran sel. Hasil penelitian Rahman (2017) menunjukkan bahwa serapan besi oleh tanaman purun tikus dan kalakai antara hari ke 5 sampai hari ke 15 menunjukkan tanaman mengalami sistem fitoremediasi dalam lahan basah buatan. Kemampuan serapan tanaman memiliki hasil yang berbeda-beda dikarenakan tanaman sudah jenuh, sehingga kemampuan serapan tanaman terhadap logam berat menurun. 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 hidkoksil dan Asam alkanoat di klaim sebagai alasan terjadinya proses adsorpsi kandungan logam (Khosravihaftkhany dkk., 2013). Kemampuan penyerapan logam yang dapat

dilakukan oleh tanaman dan tandan sawit sangat terbatas. Kandungan logam yang tidak terserap akan tetap berada di media air, yang kemudian akan mengendap didasar permukaan sehingga meningkatkan kandungan logam di outlet.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Sistem *Anaerobic Wetland* dengan media tandan sawit dan kompos dapat menaikkan pH pada waktu tinggal 1 hari dengan rentang 6.42 hingga 7.70
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. Sehingga, 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

- Azizah, U., Sumiyati, S., dan Istirokhatun T (2014) 'Blotong (Sugarcane Filter Cake) Dengan Variasi Penambahan Kulit Kopi (Studi Kasus: Pt. Industri Gula Nusantara)', *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol. 3, No. 1: 1-9.
- Damat. (1989) *Isolasi Lignin Dari Larutan Sisa Pemasak Pabrik Pulp Dengan Menggunakan H₂SO₄ 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.
- Hermawati, E., Wiryanto, dan Solichatun. (2005) 'Fitoremediasi Limbah Detergen Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) dan Genjer (*Limnocharis flava* L.)', *Biosmart* Vol. 7, No. 2: 115-124.
- Hewitt, L. M., J.L. Parrott, M.E. McMaster. (2006) 'A decade of research on the environmental impacts of pulp and paper mill effluents in Canada: sources and characteristics of bioactive substances', *Journal of Toxicology and Environmental Health*, Part B, 9, 341-356.
- Iman, MS. (2012) *Rekayasa Penurunan Fe Dan Mn Pada Air Asam Tambang Batubara Menggunakan Tanaman Purun Tikus (*Eleocharis Dulcis*) Dalam Sistem Lahan Basah Aliran Vertikal Bawah Permukaan*. Skripsi, Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Unlam. Banjarbaru.
- Karathanasis, A. D., & Johnson, C. M. (2003) 'Metal removal potential by three aquatic plants in an acid mine drainage wetland'. *Mine Water and the Environment*, Vol. 22, No. 1: 22-30.
- 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 adsorbents', *Water, Air, and Soil Pollution*, 224(3), 1455 – 1468.
- 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.

- Nouri, J., Khorasani, N., Lorestani, B., Karami, M., Hassani, A.H., dan Yosefi, N. (2009) Accumulation of Heavy Metal in Soil and Uptake by Plants Species with Phytoremediation.
- Nurisman, Enggal dkk. (2012) 'Studi terhadap Dosis Penggunaan Kapur Tohor (CaO) pada Proses Pengolahan Air Asam Tambang pada Kolam Pengendap Lumpur Tambang Air Laya PT Bukit Asam (Persero) Tbk', *Jurnal Teknik Patra Akademika*.
- Puspita, L.,E, Ratnawati, I N. N. Suryadiputra,A. A. Meutia. (2005). *Lahan Basah Buatan Di Indonesia*, Ditjen PHKA. Bogor.
- 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.
- Zipper, C. C. Jage. (2000) *Passive Treatment Of Acid-Mine Drainage With Vertical-Flow Systems*, Virginia Tech Virginia Polytechnic Institute and State University.