

Pemanfaatan Tanaman Kiambang sebagai Agen Fitoremediasi untuk Penetralkan Air Asam Tambang

Hisni Rahmi^{1*}, Restu Permana², Nelsy Mariza Syahyuda³, Restu Juniah⁴

¹Universitas Jambi, Indonesia

^{2,3}Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang, Indonesia

⁴Universitas Sriwijaya, Indonesia

Alamat: Jl. Jambi-Muara Bulian KM. 15, Mendalo Indah, Kecamatan Jambi Luar Kota, Kabupaten Muaro Jambi, Jambi.

Korespondensi penulis: hisnirahmi@unja.ac.id

Abstract. The pH value parameter in the mineral acid water of a coal mining company in South Sumatra is below the set environmental quality standards. The results of measuring the pH value using a pH meter at the inlet are 4.9 which is still below the environmental quality standard of 6-9. Therefore, it is necessary to make efforts to manage the environment before water is discharged into water bodies, one of which is by utilizing kiambang plants as phytoremediation agents in neutralizing mine acid water. This study aims to analyze changes in mine acid water quality and analyze the effectiveness of mine acid water neutralization. The initial quality of mine acid water for pH parameters was 4.9 TDS of 376 mg/l, Fe of <0.1 mg/l, and Mn of 3 mg/l. After the phytoremediation process, the water quality change for pH parameters was 6.6 and Mn was 0.05 mg/l. The neutrality effectiveness of mine acid water increased the pH by 34.69% and the effectiveness of reducing Mn levels by 98.33%. This kiambang plant can be a recommendation for phytoremediation agents for companies considering its availability around the company.

Keywords: phytoremediation, kiambang plant, neutralization, mine acid water.

Abstrak. Parameter nilai pH pada air asam tambang sebuah perusahaan pertambangan batubara di Sumatera Selatan berada di bawah baku mutu lingkungan yang ditetapkan. Hasil pengukuran nilai pH menggunakan pH meter pada inlet sebesar 4,9 dimana masih di bawah baku mutu lingkungan yaitu 6-9. Oleh karena itu perlu upaya pengelolaan lingkungan sebelum air dibuang ke badan air, salah satunya dengan memanfaatkan tanaman kiambang sebagai agen fitoremediasi dalam penetralkan air asam tambang. Penelitian ini memiliki tujuan menganalisis perubahan kualitas air asam tambang serta menganalisis efektivitas penetralkan air asam tambang. Kualitas awal air asam tambang untuk parameter pH sebesar 4,9 TDS sebesar 376 mg/l, Fe sebesar <0,1 mg/l, dan Mn sebesar 3 mg/l. Setelah proses fitoremediasi, perubahan kualitas air untuk parameter pH sebesar 6,6 dan Mn sebesar 0,05 mg/l. Efektivitas penetralkan air asam tambang meningkatkan pH sebesar 34,69% dan efektivitas penurunan kadar Mn 98,33%. Tanaman kiambang ini dapat menjadi rekomendasi agen fitoremediasi bagi perusahaan mengingat keterdapatannya di sekitar perusahaan tersebut.

Kata kunci: fitoremediasi, kiambang, penetralkan, air asam tambang.

1. LATAR BELAKANG

Sistem tambang terbuka (*open pit*) adalah sistem penambangan yang umum digunakan pada penambangan batubara di Indonesia. Penambangan dengan sistem ini tidak dipungkiri akan menyebabkan timbulnya air asam tambang (Rahmi et al., 2019). Air asam tambang yang terbentuk harus dikelola dengan baik agar lingkungan pertambangan dapat berkelanjutan. Pengelolaan air asam tambang dapat dilakukan dengan menggunakan metode aktif dan pasif dalam penetralannya. Upaya penetralkan air asam tambang dapat dilakukan dengan metode aktif dan pasif. Metode aktif merupakan metode yang paling efektif. Namun kurang efisien, melihat

pertimbangan besarnya biaya yang dibutuhkan untuk bahan kimia dan pengetahuan yang diperlukan. Bahan kimia yang biasa digunakan berupa tawas, kapur tohor (Agustina et al., 2022; Arisanti et al., 2021; Assyakiri et al., 2022), zeolite, *fly ash* (Rahmi et al., 2023) dan lain-lain yang sudah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Sementara itu metode pasif tidak membutuhkan penambahan bahan kimia dan energi eksternal secara terus menerus. Pengolahan secara pasif mengandalkan terjadinya proses biogeokimia. Media pasif yang dapat digunakan adalah eceng gondok, teratai, dan kangkung air. Eceng gondok, teratai, dan kangkung air adalah tanaman air yang mudah didapatkan dan mampu menyerap logam dan menurunkan kadar TSS dan COD. Proses penyerapan logam dan zat-zat terlarut dalam air oleh tanaman disebut sebagai fitoremediasi. Tujuannya adalah agar lingkungan berkelanjutan dapat terlaksana dimana terjaganya daya dukung lingkungan sebagai penyedia sumber daya bagi kehidupan manusia (Juniah et al., 2023; Rahmi et al., 2017)

Teknik fitoremediasi menjadi salah satu teknik pengelolaan air limbah yang ramah lingkungan dan ekonomis. Hal ini dikarenakan dapat memanfaatkan tanaman sekitar yang mudah didapat dan memiliki harga murah, sehingga memberikan keuntungan dari aspek lingkungan maupun ekonomis. Keuntungan dalam aspek lingkungan adalah dapat menetralkan limbah air. Sementara itu keuntungan dari segi ekonomi adalah mengurangi biaya atau *cost* yang perlu dikeluarkan untuk menetralkan limbah air sesuai dengan baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan menurut Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Penelitian terkait penetralkan air asam tambang dengan metode fitoremediasi ini sudah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu, seperti pemanfaatan eceng gondok, solms, dan kiambang penetralkan air bekas galian tambang batubara (Karyati et al., 2019); hutan rawa buatan (Rahmatia et al., 2019); eceng gondok pada penetralkan limbah perebusan kedelai (Zuhria, 2017); kayu apu penetralkan air limbah laundry (Istighfari et al., 2018); teratai dan apu-apu pada penetralkan air lindi TPA (Muryani & Widiarti, 2019); wlingen dan teratai pada penetralkan limbah rumah tangga (Sari, 2018); eceng gondok dan purun tikus air asam tambang (Yunus & Prihatini, 2018).

Berdasarkan uji kualitas air asam tambang diperoleh parameter pH 4,9, parameter Fe < 0,1 mg/l, parameter Mn 3 mg/l, parameter TSS 274 mg/l. Nilai pH belum memenuhi baku mutu lingkungan senilai 6-9 dan nilai Mn mendekati nilai ambang batas maksimal sebesar 4 mg/l. oleh karena itu dilakukan percobaan fitoremediasi dalam upaya penetralkan air asam

tambang agar memenuhi peraturan perundangan yang berlaku di Indonesia Kementerian Negara Lingkungan Hidup Nomor 113 tahun 2003; Pemerintah Republik Indonesia Nomor 21 tahun 2021; Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No 16 Tahun 2005; dan Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 8 Tahun 2012.

Dengan mempertimbangkan kemampuan biologis tanaman kiambang serta kebutuhan akan teknologi ramah lingkungan dalam pengelolaan limbah tambang, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas *Salvinia molesta* dalam menurunkan keasaman dan kandungan logam berat, khususnya Mn, pada air asam tambang. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi rekomendasi aplikatif bagi industri pertambangan dalam menerapkan sistem pengolahan limbah yang lebih efisien dan berkelanjutan.

2. KAJIAN TEORITIS

Air Asam Tambang (AAT) merupakan air yang terbentuk dalam aktivitas penambangan atau pengolahan tambang, yang bersifat asam akibat tingginya tingkat keasaman. Air ini muncul karena proses oksidasi mineral sulfida yang terjadi saat air dan udara hadir secara bersamaan. Tiga unsur utama dalam pembentukan AAT adalah mineral sulfida, udara, dan air. Mineral sulfida sendiri banyak dijumpai pada area pertambangan bijih logam maupun batubara.

Menurut UU RI Nomor 32 Tahun 2009 baku mutu lingkungan didefinisikan sebagai batas ambang kandungan makhluk hidup, zat, energi, atau unsur tertentu yang terdapat atau diizinkan berada dalam suatu komponen lingkungan hidup. Nilai ambang ini juga mencakup unsur pencemar yang masih dapat ditoleransi kehadirannya dalam suatu sumber daya lingkungan tertentu. Fungsi dari baku mutu ini adalah untuk menilai dan menentukan ada tidaknya pencemaran terhadap lingkungan.

Standar mutu lingkungan hidup mencakup berbagai kategori, seperti baku mutu air, baku mutu air limbah, baku mutu air laut, baku mutu udara ambien, baku mutu emisi, baku mutu gangguan, serta jenis baku mutu lainnya yang ditetapkan sesuai dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan perkembangan teknologi.

Sementara itu, berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah untuk Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Batubara, ditetapkan bahwa baku mutu air limbah batubara adalah nilai ambang kandungan unsur pencemar maupun jumlah zat pencemar tertentu yang masih dapat ditoleransi di dalam air limbah sebelum dibuang ke badan air permukaan. Selain itu, ketentuan mengenai baku mutu

limbah cair untuk kegiatan pertambangan batubara juga diatur dalam Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 8 Tahun 2012. Tabel 1 merupakan baku mutu air limbah penambangan batubara menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003, peraturan pemerintah republik indonesia no 22 tahun 2021 dan Peraturan Gubernur Sumsel no. 8 Tahun 2012

Tabel 1. Baku Mutu Air Limbah Penambangan Batubara

Parameter	Satuan	Bakumutu lingkungan (I)	Bakumutu Lingkungan (II)	Bakumutu Lingkungan (III)
pH	-	6-9	6-9	6-9
TSS	mg/l	400	300	40
Fe	mg/l	7	7	0,3
Mn	mg/l	4	4	0,1

Sumber :

(I) Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan Atau Kegiatan Pertambangan Batubara.

(II) Peraturan Gubernur Sumsel no. 8 Tahun 2012 Tentang Baku Mutu Limbah Cair untuk Kegiatan Penambangan Batubara.

(III) Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Terkait dengan standar mutu lingkungan, terdapat konsep nilai ambang batas, yaitu batas maksimum atau minimum yang menunjukkan kapasitas daya dukung, daya tenggang, dan toleransi lingkungan terhadap berbagai zat atau komponen yang ada. Nilai ini merepresentasikan tingkat tertinggi atau terendah dari unsur-unsur seperti zat kimia, organisme hidup, maupun elemen lain yang berinteraksi dengan lingkungan dan memengaruhi kualitasnya. Oleh karena itu, ketika suatu kondisi lingkungan telah melebihi nilai ambang batas yang telah ditetapkan berdasarkan ketentuan baku mutu, maka kondisi tersebut dapat dikategorikan sebagai tercemar.

Salah satu teknologi yang digunakan untuk mengurangi atau menghilangkan kontaminan spesifik dari media lingkungan seperti tanah, sedimen, lumpur, air tanah, air permukaan, dan air limbah adalah fitoremediasi (Karyati et al., 2019). Metode ini memanfaatkan tumbuhan untuk menyerap atau menetralkan zat pencemar. Efektivitas fitoremediasi sangat bergantung pada pemilihan tanaman yang sesuai, karena tanaman memiliki kemampuan untuk menyerap

ion-ion dari lingkungannya melalui sistem perakaran. Tanaman yang digunakan dalam proses ini dikenal sebagai agen fitoremediasi.

Teknologi fitoremediasi merupakan salah satu teknik yang dianggap lebih efektif dengan biaya yang lebih murah dan ramah lingkungan dalam penanganan limbah cair (Zuhria, 2017). Fitoremediasi dapat diterapkan melalui dua pendekatan, yaitu secara *ex-situ* dengan memanfaatkan kolam buatan, maupun *in-situ* langsung di lokasi tercemar. Dalam proses ini, penyesuaian atau penetralan pH limbah cair berperan penting karena dapat menciptakan kondisi yang mendukung aktivitas metabolisme mikroorganisme. Dengan lingkungan yang optimal, mikroorganisme akan lebih efektif dalam menguraikan kandungan logam berat yang terdapat dalam limbah cair (Novita et al., 2019).

Efektivitas adalah sebuah kemampuan untuk menghasilkan sebuah hasil yang diinginkan atau kemampuan menghasilkan keluaran yang diinginkan. Perhitungan Efektivitas penyerapan dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Ramadhan & Juswardi, 2022) sebagai berikut:

Efektivitas fitoremediasi dapat dihitung dengan rumus:

$$Ef = \frac{\{(Po - Pt) - (Po - Pc)\}}{Po} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

Ef = Efektivitas fitoremediasi

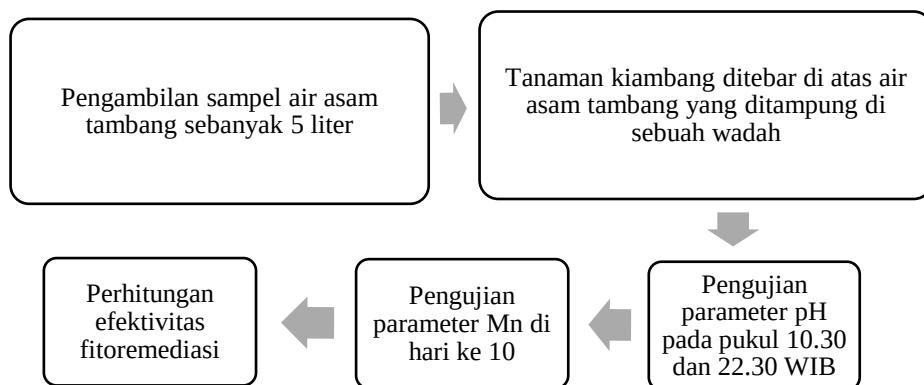
Po = Parameter awal

Pc = Parameter akhir tanpa agen fitoremediasi

Pt = Parameter akhir dengan agen fitoremediasi

3. METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan tergolong dalam penelitian eksperimen, dimana meneliti pengaruh perubahan kualitas air asam tambang dengan tanaman kiambang sebagai agen fitoremediasi. Sampel air asam tambang yang diteliti adalah di salah satu perusahaan tambang batubara yang berada di Kabupaten Lahat Provinsi Sumatera Selatan. Data yang dikumpulkan untuk mencapai tujuan penelitian adalah nilai pH dan Mn sebelum dan setelah dilakukan fitoremediasi menggunakan tanaman kiambang. Diagram alir penelitian disajikan pada gambar di bawah ini.

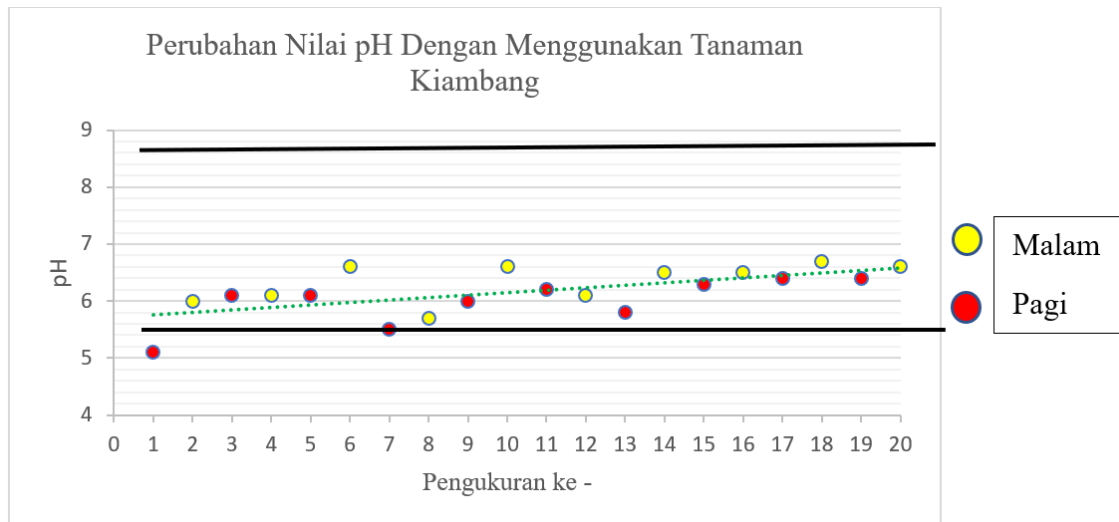


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pengukuran parameter pH dan Mn dilakukan selama 10 hari, dimana untuk pH diambil datanya menggunakan pH meter dengan pengukuran 2 kali sehari. Sementara untuk pengukuran Mn dilakukan uji pada hari ke 10 diuji di laboratorium dinas lingkungan hidup. Setelah dilakukan pengukuran data maka dilakukan analisis perubahan kualitas air asam tambang dengan cara membandingkan kualitas air yang diukur dengan baku mutu lingkungan menurut Peraturan Gubernur Sumsel no. 8 Tahun 2012, Kepmen Lingkungan Hidup No. 113 Tahun 2003, dan PP no. 22 Tahun 2021. Selanjutnya dihitung efektivitas tanaman kiambang sebagai agen fitoremediasi untuk penetralan air asam tambang menggunakan persamaan (1).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

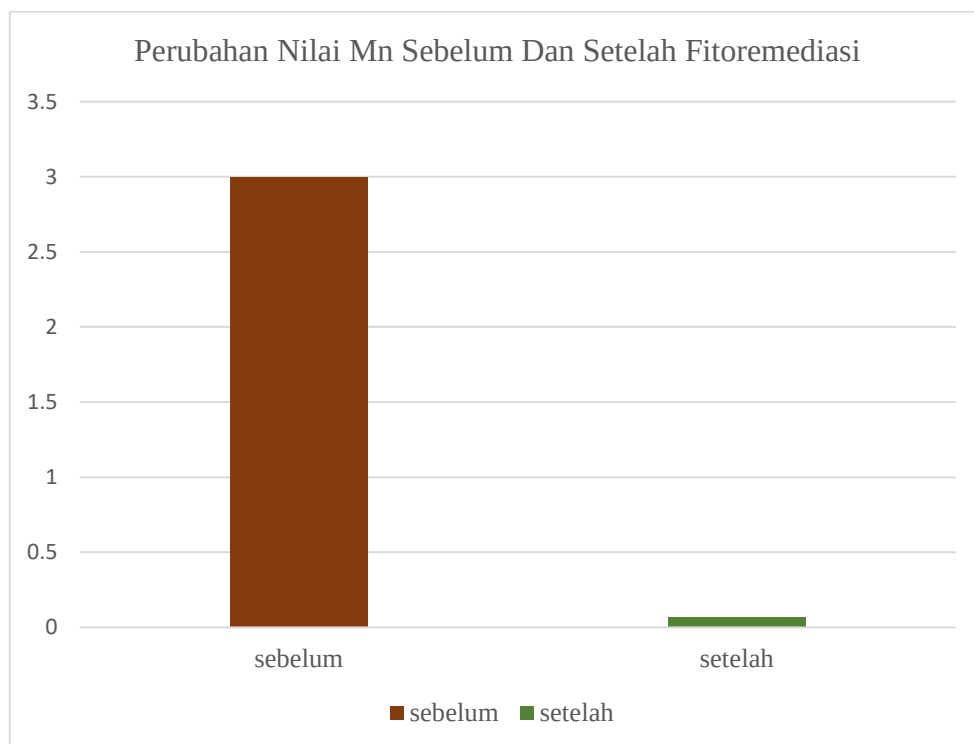
Air yang keluar dari lokasi penambangan harus memenuhi baku mutu yang telah ditentukan oleh peraturan perundangan-undangan yang berlaku seperti KEPMEN Lingkungan Hidup No. 113 tahun 2003, PERGUB Sumsel No. 8 tahun 2012 dan PP No. 22 tahun 2021. Air asam tambang dapat menyebabkan masalah lingkungan seperti biota air yang sensitif terhadap keasaman sehingga mengganggu rantai makanan yang ada. Oleh karena itu diperlukan upaya dalam mengantisipasi sebelum masalah itu terjadi. Penetralkan air asam tambang dapat memanfaatkan tanaman kiambang sebagai agen fitoremediasi agar kualitas air memenuhi baku mutu lingkungan. Berikut grafik di bawah ini menunjukkan perubahan nilai pH penetralan air asam tambang yang diukur dengan pH meter.



Gambar 2. Perubahan Nilai pH dengan Menggunakan Tanaman Kiambang

Berdasarkan gambar di atas menampilkan perubahan kualitas pH menggunakan tanaman kiambang yang diukur pada pagi dan malam hari. Hasil pengukuran pada hari kesepuluh menunjukkan adanya peningkatan pH yang semula 4,9 menjadi 6,6 dimana berada pada rentang 6-9 untuk baku mutu lingkungan parameter pH berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 113 tahun 2003, Peraturan Gubernur Sumsel nomor 8 tahun 2012, dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 22 tahun 2021. Kemampuan kiambang dalam meningkatkan pH juga telah dibuktikan oleh (Pagoray et al., 2017) pada penelitiannya yaitu meningkatkan kualitas air pada kolam pasca tambang batu bara yang dimanfaatkan untuk budidaya ikan dimana pH awal 5,5 menjadi 8,1. (Saputra & Tangahu, 2020) melakukan penetralan air asam tambang menggunakan beberapa media tanaman salah satunya kiambang dan diperoleh hasil peningkatan pH yang memenuhi baku mutu lingkungan. Faktor yang mempengaruhi peningkatan pH pada air asam tambang adalah bentuk fisik struktur daun kiambang yang berongga dan berambut halus dipermukaan menyebabkan kiambang menyerap lebih banyak zat atau senyawa yang mempengaruhi pH; kemampuan menyerap logam berat dapat membantu mengurangi toksisitas air sehingga dapat meningkatkan pH; kemampuan mengurai bahan organik sehingga menghasilkan senyawa-senyawa seperti karbonat, bikarbonat, dan hidroksida yang dapat menaikkan pH air; proses metabolisme (fotosintesis) pada tanaman kiambang secara alami dapat meningkatkan pH air karena peningkatan konsentrasi oksigen dan penurunan konsentrasi karbon dioksida, yang dapat membentuk asam karbonat dalam air; interaksi dengan mikroorganisme yang dapat berperan dalam proses biokimia tertentu yang menghasilkan senyawa-senyawa yang meningkatkan pH air.

Perubahan nilai Mn juga terjadi setelah fitoremediasi selama 10 hari. Perubahan nilai Mn ini sebelum dan setelah fitoremediasi disajikan pada grafik di bawah ini.



Gambar 3. Perubahan Kualitas Mn Sebelum dan Setelah Fitoremediasi

Hasil uji laboratorium kadar Mn pada inlet adalah 3 mg/l. Setelah dilakukan proses penetralan dengan menggunakan tanaman selama sepuluh hari diperoleh hasil uji laboratorium kadar Mn pada tanaman kiambang senilai 0,05 mg/l. Berdasarkan gambar di atas dapat dilihat bahwa tanaman kiambang mampu menurunkan kadar Mn. Hal ini didukung dengan penelitian oleh (Pagoray et al., 2017) yang mana tanaman kiambang mampu menurunkan kadar Mn pada kolam air pasca tambang batubara.



(a). hari pertama



(b). hari ke sepuluh

Gambar 4. Kondisi Tanaman Hari Pertama Dan Hari Ke Sepuluh.

Gambar di atas menunjukkan perubahan fisik pada tanaman kiambang. Sementara itu untuk tanaman kiambang ada perubahan warna menjadi sedikit menguning namun tidak terlalu signifikan. Hal ini dikarenakan terganggunya metabolisme fisiologis pada tanaman sehingga zat organik masuk ke dalam tubuh tanaman dari penyerapan logam oleh akar (Yuliani et al., 2013).

Efektivitas perubahan kualitas air asam setelah fitoremediasi maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1). Berikut perhitungan untuk efektivitas untuk parameter pH dan Mn.

- a. Efektivitas perubahan parameter nilai Mn

$$Eff_{pH} = \frac{[pH_{awal} - pH_{akhir}]}{pH_{awal}} \times 100\%$$

$$Eff_{pH} = \frac{[4,9 - 6,6]}{4,9} \times 100\%$$

$$Eff_{pH} = 34,69\%$$

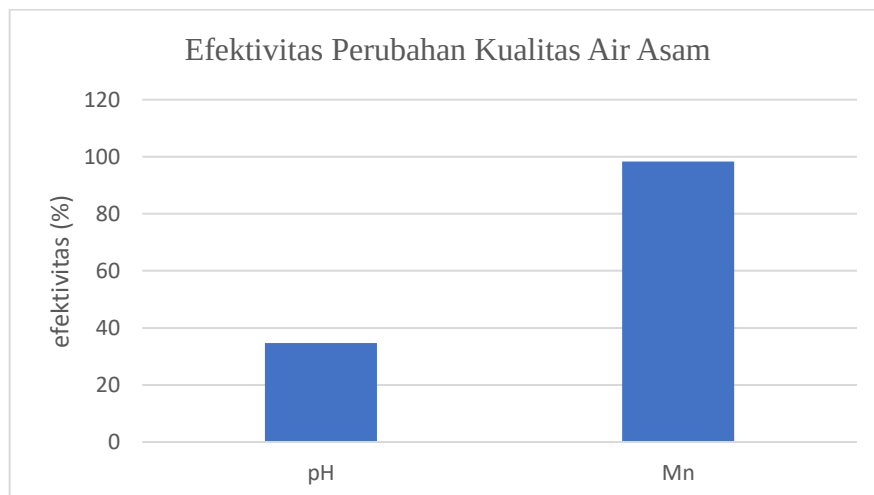
- b. Efektivitas perubahan parameter nilai Mn

$$Eff_{Mn} = \frac{[Mn_{awal} - Mn_{akhir}]}{Mn_{awal}} \times 100\%$$

$$Eff_{Mn} = \frac{[3 - 0,05]}{3} \times 100\%$$

$$Eff_{Mn} = 98,33\%$$

Grafik efektivitas perubahan kualitas air asam disajikan pada gambar di bawah ini

**Gambar 5.** Efektivitas Perubahan Kualitas Air Asam Tambang

Berdasarkan gambar di atas ditampilkan perbandingan persentase efektivitas perubahan kualitas air asam tambang menggunakan tanaman kiambang untuk parameter pH dan Mn. Tanaman kiambang efektif dalam menurunkan kadar Mn sebesar 98,33%. Menurut Mcfarland (2004) dalam (Pribadi et al., 2016) Tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) dikenal sebagai salah satu tumbuhan remediasi yang efektif untuk menangani limbah, baik yang bersifat organik maupun anorganik. Efektivitas ini didukung oleh kemampuannya sebagai hiperakumulator serta laju pertumbuhannya yang sangat cepat. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, penggunaan tanaman ini dapat direkomendasikan sebagai solusi bagi perusahaan untuk meningkatkan pH serta mengurangi konsentrasi Mangan (Mn) dalam limbah cair. Jika memperhatikan ketersediaan tanaman di lingkungan sekitar perusahaan maka penulis merekomendasikan tanaman kiambang.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Tanaman kiambang sebagai agen fitoremediasi pada penetralkan air asam tambang dapat meningkatkan nilai pH dari 4,9 menjadi 6,6 dan menurunkan nilai Mn dari semula 3 mg/l menjadi 0.07 mg/l sehingga memenuhi baku mutu lingkungan berdasarkan kepada peraturan perundang-undangan yang berlaku di Indonesia. Berdasarkan analisis diperoleh bahwa efektivitas penetralkan air asam tambang sebesar 34,69% dan efektivitas penurunan kadar Mn sebesar 98,33%. Tanaman kiambang sebagai agen fitoremediasi dalam penetralkan air asam tambang dapat menjadi rekomendasi bagi perusahaan dalam membantu pengelolaan air asam tambang agar memenuhi baku mutu lingkungan dengan memperhatikan ketersediaan tanaman cukup banyak di lingkungan sekitar perusahaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada pihak perusahaan yang telah memberikan kesempatan untuk menjadikan sampel air asam tambang di perusahaan sebagai bahan penelitian.

DAFTAR REFERENSI

- Agustina, F., Rafmi, H., Nelvi, A., & Arisanti, R. (2022). Analisis biaya penggunaan kalsium hidroksida terhadap parameter pH dan TSS pada penetralkan air asam tambang PT. Gorby Putra Utama. *Jurnal Manajemen & Akuntansi*, 6(1), 9–18.
- Arisanti, R., Assyakiri, M. R. A. F., Rahmi, H., & Neris, A. (2021). Analisis biaya penggunaan kapur tohor dalam penetralkan air asam tambang KPL PIT 1 PT XYZ di Sumatera Selatan. *Media STIE*, 5(2), 95–101.

- Assyakiri, M. R. A. F., Rahmi, H., & Neris, A. (2022). Kebutuhan dosis kapur tohor dalam penetralan air asam tambang KPL Pit 1 Timur Banko Barat PT Bukit Asam. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 2(1), 292–301.
- Istighfari, S., Dermawan, D., & Mayangsari, N. E. (2018). Efektifitas tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) untuk fitoremediasi kadar BOD, COD dan fosfat pada limbah industri laundry. *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*. <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/200448/>
- Juniah, R., Toha, M. T., Zakir, S., & Rahmi, H. (2023). Potential economic value of water resource sustainability for sustainable environment: A case study in South Sumatra, Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 13(1), 165. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.13.1.16223>
- Karyati, N., Rahman, M., & Yasmi, Z. (2019). Efektifitas beberapa jenis gulma air terhadap penurunan kadar logam berat pada air bekas galian pasca tambang batubara (Void). *Aquatic*, 1(1), 23–33.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. (2003). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Batu Bara*. Kementerian Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia.
- Muryani, E., & Widiarti, I. W. (2019). Kadar BOD dan COD air lindi dengan perlakuan fitoremediasi tanaman teratai (*Nymphaea sp.*) dan apu-apu (*Pistia stratiotes L.*) (Studi kasus TPA Jetis Purworejo). *Jurnal Mineral, Energi dan Lingkungan*, 2(2), 72. <https://doi.org/10.31315/jmel.v2i2.2389>
- Novita, E., Hermawan, A. A. G., & Wahyuningsih, S. (2019). Komparasi proses fitoremediasi limbah cair pembuatan tempe menggunakan tiga jenis tanaman air. *Jurnal Agroteknologi*, 13(1). <https://doi.org/10.19184/j-agt.v13i01.8000>
- Pagoray, H., Ghitarina, & Nikhlani, A. (2017). Pemanfaatan tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) untuk meningkatkan kualitas air kolam pasca tambang batubara yang digunakan untuk budidaya ikan. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 5(1), 78–84.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Sekretariat Negara Republik Indonesia. <http://www.jdih.setjen.kemendagri.go.id/>
- Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No. 16 Tahun 2005. (2005). *Peruntukan Air dan Baku Mutu Air Sungai*.
- Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 8 Tahun 2012. (2012). *Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri*.
- Pribadi, R. N., Zaman, B., & Purwono. (2016). Pengaruh luas penutupan kiambang (*Salvinia molesta*) terhadap penurunan COD, amonia, nitrit, dan nitrat pada limbah cair domestik (grey water) dengan sistem kontinyu. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(4), 1–10. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/tlingkungan>
- Rahmatia, C., Hilwan, I., Mansur, I., & Noor, I. (2019). Analisis vegetasi hutan rawa buatan sebagai agen fitoremediasi di pertambangan batubara, Kalimantan Selatan. *Media Konservasi*, 24(1), 29–39.
- Rahmi, H., Juniah, R., & Affandi, A. K. (2017). Study of chemical characteristics of the Lambidaro River for sustainable environment. *Indonesian Journal of Environmental*

- Management and Sustainability*, 1(1), 23–26.
<https://doi.org/10.26554/ijems.2017.1.1.23-26>
- Rahmi, H., Nelvi, A., & Situmorang, B. (2023). Pengaruh fly ash dan kapur tohor terhadap kualitas air asam tambang di PT Bara Prima Pratama. *E-Journal Teknologi Infrastruktur*, 2, 35–43. <https://jurnal.upb.ac.id/index.php/ft/article/download/356/314>
- Rahmi, H., Susetyo, D., & Juniah, R. (2019). Utilization study of void mine for sustainable environment of the limestone mining sector at PT Semen Baturaja (Persero) Tbk. *Indonesian Journal of Environmental Management and Sustainability*, 3(2), 54–59. <https://doi.org/10.26554/ijems.2019.3.2.54-59>
- Ramadhan, N. S., & Juswardi. (2022). Efektivitas kombinasi vegetasi *Salvinia molesta* Mitchell dan *Eichhornia solms* dalam fitoremediasi logam berat Pb limbah cair kain jumputan. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek (SNPBS) ke-VII*, 354–361.
- Saputra, R. A., & Tangahu, B. V. (2020). Studi literatur kemampuan tumbuhan *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans* terhadap penyerapan Fe dan Mn pada pengolahan air asam tambang. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), 191–196.
- Sari, F. D. N. (2018). Fitoremediasi air limbah rumah tangga menggunakan tanaman wlingen (*Scirpus grossus*) dan teratai (*Nymphaea firecrest*). *Regional Development Industry & Health Science, Technology and Art of Life*, 1(1).
- Yuliani, D. E., Sitorus, S., & Wirawan, T. (2013). Analisis kemampuan kiambang (*Salvinia molesta*) untuk menurunkan konsentrasi ion logam Cu (II) pada media tumbuh air. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 10(2), 68–73.
- 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. *Jurnal Sainsmat*, 7(1), 73–85. <http://ojs.unm.ac.id/index.php/sainsmat>
- Zuhria, S. A. (2017). Laju penurunan BOD dan karakteristik limbah cair perebusan kedelai pembuatan tempe hasil penanganan fitoremediasi eceng gondok. *Universitas Jember*.