

Peranan Sistem Swampy Forest Pada Pengolahan Air Asam Tambang Dari Kegiatan Pertambangan Batubara

Ihsan Noor¹, Yudi Firmanul Arifin²

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Lambung Mangkurat, Jl. Achmad Yani Km. 35,5, Kota Banjarbaru, 70714, Indonesia

²Program Studi Ilmu Kehutanan, Universitas Lambung Mangkurat, Jl. Achmad Yani Km. 35,5, Kota Banjarbaru, 70714, Indonesia

ABSTRACT

Most coal mining activities in South Kalimantan apply the open pit method, which has the potential to produce acid mine drainage. As wastewater from coal mining activities, acid mine water has high acidity and metal content. Mitigation of the handling of acid mine drainage can be grouped into two processing techniques: active processing using conventional methods by neutralizing the acidity by applying quicklime. Still, in the end, this processing is considered very expensive, and passive processing is relatively cheaper but has limited processing capacity, so development with the Swampy Forest system is required. The acid mine drainage that has occurred and which has been collected in the post-mining lake is then channeled to the Swampy Forest system processing pond, which has been given organic material, and the specified types of hyperaccumulator grass and trees have been planted to change the water quality which does not meet the quality standard values to meet it. quality standard values under applicable regulations. The Swampy Forest system is proven to significantly improve water quality to meet applicable regulatory compliance requirements with a cheaper and environmentally friendly process.

Keyword : acid mine drainage, active processing, passive processing, swampy forest system

ABSTRAK

Sebagian besar kegiatan pertambangan batubara di Kalimantan Selatan menerapkan metode tambang terbuka dan berpotensi menghasilkan air asam tambang. Air asam tambang yang merupakan limbah cair dari kegiatan pertambangan batubara tersebut mempunyai nilai keasaman dan kandungan logam yang tinggi. Mitigasi penanganan air asam tambang tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua teknik pengolahan yaitu pengolahan aktif dengan cara konvensional, yaitu menetralkan keasaman dengan memberikan kapur tohor tetapi pada akhirnya pengolahan ini dinilai sangat mahal, dan pengolahan pasif, yang relatif lebih murah tetapi memiliki keterbatasan kapasitas hasil pengolahannya sehingga diperlukan pengembangan dengan sistem Swampy Forest. Air asam tambang yang sudah terjadi dan yang telah dikumpulkan pada danau pascatambang kemudian dialirkan ke kolam pengolahan sistem Swampy Forest yang telah diberikan bahan organik serta dilakukan penanaman jenis rumput dan pohon jenis hiperakumulator yang telah ditentukan untuk merubah kualitas air yang tidak memenuhi nilai baku mutu menjadi memenuhi nilai baku mutu sesuai peraturan yang berlaku. Sistem Swampy Forest terbukti dapat memperbaiki kualitas air secara signifikan untuk memenuhi persyaratan kepatuhan akan peraturan yang berlaku dengan proses yang lebih murah dan ramah lingkungan.

Kata kunci: air asam tambang, pengolahan aktif, pengolahan pasif, sistem swampy forest

Correspondence : Ihsan Noor
Email : ihsan.noor@ulm.ac.id

1 PENDAHULUAN

Kegiatan pertambangan batubara berdampak positif dalam pembangunan ekonomi dan energi, tetapi kegiatan tersebut dapat pula berdampak negatif pada lingkungan yang berakibat pencemaran di tanah, air dan udara apabila tidak dikelola dengan tepat (Apriyanto & Harini, 2012). Permasalahan air asam tambang (AAT) masih banyak ditemui di banyak pertambangan batubara, yang ditunjukkan adanya tingkat keasaman dan kandungan logam berat yang tinggi seperti Besi (Fe) dan Mangan (Mn) (Izuangbe dkk., 2015; Noor dkk., 2023; Suhernomo dkk., 2023).

Peraturan di Indonesia melalui Undang-undang (UU) No. 3, Tahun 2020 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara, menegaskan bahwa Pemegang Izin Usaha Pertambangan (IUP) atau Izin Usaha Pertambangan Khusus (IUPK) wajib menerapkan kaidah teknik pertambangan yang baik, antara lain kewajiban melaksanakan pengelolaan dan pemantauan lingkungan termasuk reklamasi dan pascatambang. Salah satu pengelolaan lingkungan yang wajib dilaksanakan apabila suatu kegiatan pertambangan berpotensi terbentuknya AAT maka berdasarkan Keputusan Menteri Energi Sumber Daya dan Mineral Republik Indonesia (Kepmen ESDM) No. 1827.K Tahun 2018 tentang Pedoman Penerapan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik, yaitu wajib dilakukan pengelolaan AAT dengan melakukan kajian geokimia. Kajian geokimia dimaksud dalam peraturan tersebut meliputi (Kepmen ESDM 1827, 2018):

- a) identifikasi potensi pembentukan air asam tambang.
- b) pencegahan pembentukan air asam tambang, dan
- c) penanggulangan air asam tambang.

Melalui Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP) Nomor 78 Tahun 2010 tentang Reklamasi dan Pascatambang diatur bahwa keberhasilan reklamasi dan pascatambang mengacu pada salah satu kriterianya adalah keberhasilan dalam pengelolaan AAT, sehingga apabila pengelolaan AAT dinilai belum memadai maka keberhasilan reklamasi

dan pascatambang belum dapat dinilai berhasil keseluruhan, dan hal ini berdampak terhadap dana yang dijamin sebagai jaminan reklamasi dan/atau jaminan pascatambang belum bisa dikembalikan seluruhnya walaupun kegiatan pertambangannya maupun kegiatan revegetasi lainnya sudah selesai (PP 78, 2010).

AAT yang terjadi sering terakumulasi pada danau pascatambang. Danau pascatambang merupakan area bekas tambang yang terbentuk setelah selesainya proses penambangan. Danau pascatambang terjadi karena adanya penggalian permukaan tanah pada kegiatan pertambangan termasuk pada saat penambangan pengambilan batubaranya yang dapat berkontribusi terjadinya AAT dan perlu penanganan yang tepat untuk memperbaiki kualitas air yang terdampak akibat proses oksidasi yang membentuk AAT dan harus dilakukan pengolahan sesuai ketentuan yang berlaku (Abfertiawan dkk., 2016). Adanya proses reaksi mineral sulfida yang pada akhirnya masuk ke dalam danau pascatambang yang memberikan kontribusi penting menambah keasaman air di dalam danau pascatambang tersebut (Suryaningtyas & Gautama, 2008; Suhernomo dkk., 2023).

Pengelolaan AAT dapat dikelompokkan menjadi dua teknik kategori utama yaitu pencegahan dan remediasi. Teknologi pencegahan terutama berfokus pada menghambat reaksi pembentukan AAT dengan mengendalikan sumbernya sedangkan teknologi remediasi berfokus pada AAT yang sudah terjadi sebelum dilepas ke perairan umum. Teknologi remediasi sebagai tindakan kuratif dapat dikelompokkan menjadi pengolahan aktif dan pengolahan pasif (RoyChowdhury dkk., 2015) agar air limpasan nantinya dapat memenuhi peraturan yang berlaku sebelum memasuki perairan umum. Peraturan yang dimaksud adalah Keputusan Menteri Lingkungan Hidup (Kepmen LH) Nomor 113, Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Pertambangan dan Peraturan Gubernur Kalimantan Selatan (Pergub Kalsel) Nomor 036, Tahun 2008 tentang Baku Mutu Limbah Cair (BLMC) bagi Kegiatan Industri, Hotel, Restoran, Rumah Sakit, Domestik dan Pertambangan. Proses penetralan AAT dengan memberikan kapur tohor yang sudah dicairkan dan diberikan langsung ke AAT yang telah

tertampung di danau pascatambang (Noor dkk., 2023; Suhernomo dkk., 2023) seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Penetrasi AAT dengan Pengolahan Aktif (Dokumentasi)

2 METODE PENELITIAN

2.1 Fungsi Sistem *Swampy Forest*

Sistem *Swampy Forest* merupakan bagian dari kegiatan reklamasi pascatambang dengan konsep hutan berawa buatan (HBB) yang dirancang untuk mengelola limpasan air permukaan dari danau pascatambang berupa AAT. Sistem *Swampy Forest* ini dirancang dengan mengandalkan pemanfaatan lahan pascatambang tersebut dengan membuat kolam pengolahan. Kolam pengolahan yang telah dibangun diisi dengan komponen utama berupa bahan organik untuk membantu kesuburan tanah dan meningkatkan jerapan untuk menaikkan pH air limpasan dan kemudian dilakukan penanaman tanaman bawah seperti beberapa jenis rumput dan beberapa jenis pohon berkayu daur panjang baik dari jenis lokal dan jenis non lokal.

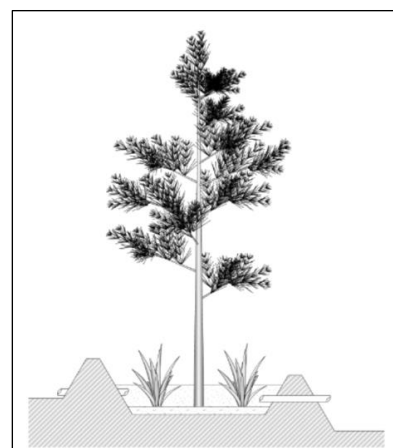
Bahan organik yang diberikan dan jumlah tanaman bawah berupa rumput dan pohon jenis berkayu disesuaikan dengan kebutuhan jumlah AAT yang akan dilakukan pengolahan karena AAT akan mengalir pada kolam pengolahan tersebut dan akan bereaksi dengan bahan organik yang diberikan dan penyerapan logam-logam berat yang ada dalam AAT tersebut oleh jenis rumput dan peran jenis pohon yang telah ditanam pada kolam sistem *Swampy Forest* tersebut dapat diajukan sebagai bagian dari

proses revegetasi pada lahan pascatambang (Noor dkk., 2024).

2.2 Peranan Bahan Organik, Rumput dan Pohon pada Sistem *Swampy Forest*

Bahan organik yang telah terpilih dalam sistem *Swampy Forest* adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Peranan TKKS dalam kolam pengolahan sistem *Swampy Forest* adalah untuk dapat menaikkan nilai pH dari pada AAT sehingga dapat berada pada nilai pH 6-9 untuk memenuhi nilai baku mutu limbah cair dari kegiatan pertambangan batubara (Noor dkk., 2020).

Kolam pengolahan yang sudah diberikan TKKS kemudian dilanjutkan dengan penanaman jenis rumput dan pohon. Jenis rumput dan pohon ditentukan agar dapat berperan untuk menyerap logam berat yang berada pada AAT yang pada umumnya adalah tinggi seperti Fe dan Mn. Fungsi rumput yang tumbuh pada kolam pengolahan dapat menahan kecepatan aliran permukaan untuk mengendap dan dapat menurunkan nilai Fe dan Mn yang berada dalam AAT. Pohon yang tumbuh dengan baik pada akhirnya dapat diajukan sebagai tanaman revegetasi pascatambang karena jenis pohon yang terpilih dalam sistem *Swampy Forest* adalah jenis pohon yang adaptif dan toleran pada kondisi asam dan tergenang (Noor dkk., 2021; Noor dkk., 2022). Gambaran pola penanaman jenis rumput dan pohon seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Cross section pola penanaman jenis rumput dan pohon pada Sistem *Swampy Forest*

2.3 Prosedur Pengolahan AAT

Mengalirkan AAT dari danau pascatambang dengan proses gravitasi memasuki sistem *Swampy Forest* hingga keseluruhan bagian terisi AAT hingga 30 hari inkubasi. Pembukaan kembali pintu air pada saluran masuk setelah masa inkubasi selesai dengan kapasitas rata-rata air tertentu (Noor dkk., 2020).

2.4 Sampling Air Pada Sistem *Swampy Forest*

Sampling air dilakukan pada *inlet* yaitu sebelum dialukan pengolahan dan pada *outlet* yaitu setelah dilakukan pengolahan. Pengamatan pH air data dilakukan pada minggu ke-1, 4, 8, 16, dan 32 dengan menambah parameter Fe dan Mn. Hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai baku mutu mengacu pada Peraturan Menteri

Lingkungan Hidup Nomor 113, Tahun 2003 dan Peraturan Gubernur Provinsi Kalimantan Selatan Nomor 036, Tahun 2008 yaitu pH 6–9, Fe < 7.0 mg L-1 dan Mn < 4,0 mg L-1 (Noor dkk., 2020).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Proses Perhitungan *Scale-up*

Rancangan sistem *Swampy Forest* dilakukan setelah mendapatkan data dasar pada percobaan simulasi laboratorium sebelumnya untuk mendapatkan data aplikasi untuk perancangan di lapangan (Noor et al., 2023). Perhitungan *scale up* mengacu pada tiga data dasar utama yaitu volume air pengolahan, debit air yang mengalir memasuki sistem pengolahan dan waktu retensinya. Perhitungan *scale up* untuk mendapatkan data rancangan aplikasi di lapangan seperti disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan *scale up* data dasar menjadi data rancangan di lapangan

Uraian	Data Dasar (a)	Scale Up (b)	Faktor Koreksi (c)	Rancangan di Lapangan (d = a x b x c)
Volume Air	3 x 1,2 m ³	1.000	1,00	900,0 m ³ (4 unit)

Rancangan untuk membuat sistem *Swampy Forest* di lapangan untuk melakukan pengolahan 900 m³ air setiap kolamnya diperlukan kolam pengolahan dengan dimensi panjang dan lebar adalah 4:1.

3.2 Analisis Efisiensi Biaya Produksi

AAT mengalir dari sumber panampungannya yaitu danau pascatambang, kemudian masuk ke inlet sistem *Swampy Forest*, mengisi dan menggenangi seluruh kolam pengolahan yang telah dilakukan penanaman jenis rumput dan pohon, dan terus mengalir hingga keluar melalui pintu air di *outlet* nya. Salah satu parameter penting pada peraturan yang berlaku adalah pH air karena salah satu parameter yang harus dipenuhi nilai baku mutunya, baik peraturan daerah maupun nasional, nilai pH air yang harus berada pada kisaran pH 6 - 9. Pemantauan pH air merupakan langkah awal untuk mengevaluasi

sistem *Swampy Forest* mengingat mudah diterapkan. AAT pada inlet diperoleh data rata-rata pH air adalah pH < 4, yang merupakan nilai yang tidak memenuhi baku mutu sesuai ketentuan yang berlaku. Pengamatan pada *outlet* diperoleh pH > 7. Pengamatan pH dilakukan hingga minggu ke-16 seperti disajikan pada Tabel 2. Rata-rata kenaikan pH air pada saat pengamatan adalah paling rendah adalah kenaikan 2,06 poin dan paling tinggi adalah 3,01 atau kalau rata-rata adalah 2,42 poin.

Tabel 2. Data pH Air pada *inlet* dan *outlet* pada minggu ke-1 hingga ke-16

Minggu	1	4	8	16
<i>Inlet</i>	4,33	4,47	4,46	4,25
<i>Outlet</i>	6,41	6,54	6,52	6,89
Kenaikan	2,08	2,07	2,06	2,64

AAT yang mendapat pengolahan pada sistem *Swampy forest* telah berubah dari

sebelumnya pH < 5 menjadi pH 6 – 9. Kenaikan pH air tersebut bertahan hingga 16 minggu berdasarkan pengamatan secara *online* yang menunjukkan kestabilan. Kenaikan pH air tersebut diikuti penurunan total besi dan mangan di dalam air pada minggu ke-16 seperti disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengamatan Fe dan Mn di *inlet* dan *outlet* pada hari ke-16

Lokasi Pengukuran	Fe (mg/Liter)	Mn (mg/Liter)
<i>Inlet</i>	9,85	11,91
<i>Outlet</i>	4,13	3,29
Penurunan (%)	41,39	72,38

Hasil pengolahan dengan sistem *Swampy Forest* menunjukkan peningkatan nilai pH artinya terjadi penurunan tingkat keasaman. Jika dibandingkan sebelum dan setelah pengolahan menunjukkan peningkatan rata-rata pH sekitar 2,42 poin bila perhitungan rata-rata debit limpasan yang diperoleh di lapangan adalah 1.000 m³/hari. Kisaran peningkatannya dapat diperkirakan dengan pola yang sama dalam jangka waktu yang lama. Untuk kandungan logam berat dalam air seperti Fe dan Mn menunjukkan penurunan hingga memenuhi nilai baku mutu yang telah ditentukan peraturan yang berlaku. Penurunan nilai Fe hingga mencapai 41,38% dan Mn adalah 72,38%.

AAT adalah air limbah dengan pH rendah dengan nilai konsentrasi karbon organik rendah. Oleh karena itu, diperlukan donor elektron dalam hidrogen dan senyawa organik untuk meningkatkan aktivitas bakteri. Reaksi oksidasi di dalam tanah menggunakan karbon anorganik; namun, reduksi ini dirangsang oleh karbon organik sebagai sumber karbon dan donor elektron (Nancucheo & Johnson, 2012). Penggunaan jenis rumput yang sesuai mengakibatkan terjadinya penyerapan logam berat. Jenis rumput *Typha* menurunkan kandungan Fe sebesar 25% dalam air (Zubair dkk., 2020) dan rumput *Purun* efektif menurunkan Fe dan Mn (Rahmatia dkk., 2019). Tumbuhan memiliki kemampuannya masing-masing dalam beradaptasi dan bertoleransi pada kondisi asam dan konsentrasi logam yang tinggi (Dhir, 2013; Skousen dkk.,

2019; Yan dkk., 2020).

Pengembangan dengan sistem *Swampy Forest* untuk mengolah limpasan AAT akan sangat membantu kegiatan pertambangan batubara mengelola limbah cair tersebut lebih murah dan efektif dengan proses alami yang berkelanjutan karena sekaligus membantu penyiapan lahan untuk reklamasi ketika penambangan berhenti.

4 KESIMPULAN

AAT yang dialirkan ke sistem *Swampy Forest* menunjukkan peningkatan nilai pH dengan membandingkan sebelum dan setelah pengolahan yang menunjukkan peningkatan rata-rata pH sekitar 2,42 poin yang diasumsikan dengan pola yang sama dalam jangka waktu yang lama.

Penurunan tingkat keasaman diikuti dengan penurunan jumlah kandungan logam berat seperti Fe dan Mn di dalam air. Pengolahan sistem *Swampy Forest* dapat menurunkan jumlah kandungan logam berat tersebut hingga memenuhi nilai baku mutu yang ditentukan sesuai ketentuan perundang-undangan yang berlaku.

DAFTAR RUJUKAN

- Abfertiawan, Gautama, R. S., Kusuma, S. B., & Notosiswoyo, S. (2016). Hydrology simulation of Ukud river in lati coal mine. Evergreen. <https://doi.org/10.5109/1657737>
- Apriyanto, D., & Harini, R. (2012). Dampak Kegiatan Pertambangan Batubara Terhadap Kondisi Sosial-Ekonomi Masyarakat. *Jurnal Bumi Indonesia*.
- Dhir, B. (2013). Phytoremediation: Role of aquatic plants in environmental clean-up. In *Phytoremediation: Role of Aquatic Plants in Environmental Clean-Up*. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-1307-9>
- Izuangbe, E. P., Ogbeide, S., & Olafuyi, O. A. (2015). A Comparative Study of the Performance of Water Hyacinth (*Eichhornia Crassipes*) and Water Lettuce (*Pistias Stratiotes*) in the Remediation of Produced Water. *Journal of Energy*

- Technologies and Policy, 5(3), 1–9.
- Kepmen ESDM 1827. (2018). Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827/K/30/MEM/2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknis Pertambangan Yang Baik. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Nancucheo, I., & Johnson, D. B. (2012). Selective removal of transition metals from acidic mine waters by novel consortia of acidophilic sulfidogenic bacteria. *Microbial Biotechnology*. <https://doi.org/10.1111/j.1751-7915.2011.00285.x>
- Noor, I., Arifin, Y. F., Priatmadi, B. J., & Saidy, A. R. (2020). Development of the Swampy forest system for passive treatment of acid mine drainage during post mining land reclamation: A new concept review. *Ecology, Environment & Conservation - EM International*, 26(2), 901–909.
- Noor, I., Arifin, Y. F., Priatmadi, B. J., & Saidy, A. R. (2021). Role of the Selected Grass Species in Developing of Swampy Forest System for Passive Treatment of Acid Mine Drainage. *Material Science Forum Journal*, 1025(March 2021), 273–278.
- Noor, I., Arifin, Y. F., Priatmadi, B. J., & Saidy, A. R. (2023). Laboratory simulation of the Swampy forest system for the passive treatment of acid mine drainage in coal mine reclamation areas. *Scientific Reports*, 13(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32990-x>
- Noor, I., Arifin, Y. F., Priatmadi, B. J., Saidy, A. R., & Mansur, I. (2022). Role of the Tree Species Selected in Developing Swampy Forest System for Passive Treatment of Acid Mine Drainage. *Technium Sustainability*, 2(1), 46–53. <https://doi.org/https://doi.org/10.47577/sustainability.v2i1.5889>
- PP 78. (2010). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 78 Tahun 2010 Tentang Reklamasi dan Pascatambang. Presiden Republik Indonesia.
- Rahmatia, C., Hilwan, I., Mansur, I., & Noor, I. (2019). Analysis of Constructed Swamp Forest Vegetation as A Phytoremediation Agent in Coal Mining, South Kalimantan. *Media Konservasi*, 24(1), 29–39. <https://doi.org/10.29244/medkon.24.1.29-39>
- RoyChowdhury, A., Sarkar, D., & Datta, R. (2015). Remediation of Acid Mine Drainage-Impacted Water. *Current Pollution Reports*. <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0011-3>
- Skousen, J., Zipper, C. E., McDonald, L. M., Hubbart, J. A., & Ziemkiewicz, P. F. (2019). Sustainable reclamation and water management practices. In *Advances in Productive, Safe, and Responsible Coal Mining*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101288-8.00015-8>
- Suhermono, S., Fatah, L., Saidy, A. R., Priatmadi, B. J., Noor, I., & Triwibowo, D. (2023). Strategies of water flow treatment of Paringin Pit Lake to meet wastewater discharge compliance. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 10(4), 4683–4695. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2023.104.4683>
- Suryaningtyas, D. T., & Gautama, R. S. (2008). Acid Mine Drainage Treatment of Overburden for the Removal of Cation Metals. *Mine Water and the Environment, Proceedings*, 341–344.
- Yan, A., Wang, Y., Tan, S. N., Mohd Yusof, M. L., Ghosh, S., & Chen, Z. (2020). Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal-Polluted Land. *Frontiers in Plant Science*, 11(April), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00359>
- Zubair, A., Abdullah, N. O., Ibrahim, R., & Rachma, A. R. D. (2020). Effectivity of constructed wetland using *Typha angustifolia* in analyzing the decrease of heavy metal (Fe) in acid mine drainage. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/419/1/012160>