

Efektivitas Tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam Menurunkan Kadar Logam Fe dan Mn pada Air Asam Tambang Batu Bara Berdasarkan *Literatur Review*

Effectiveness of Water Hyacinth Plant (*Eichhornia crassipes*) in Reducing Fe and Mn Metal Levels in Acid Mine Drainage from Coal Mining Based on Literature Review

Mela Faradika^{1*} dan Maria Paulina²

¹ Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Bengkulu

² Program Studi Kehutanan Universitas Bengkulu

*Corresponding Author: melafaradika@unib.ac.id

ABSTRACT

Acid mine drainage (AMD) is one of the important issues of concern due to mining activities. It is considered a pollutant due to its high acidity, toxic metal ions, dissolved anions, hardness, and suspended solids. If AMD is directly released into the environment without any treatment process, it will have a negative impact on the environment, especially in reducing water quality. AMD treatment is generally classified into 2 methods, namely active treatment and passive treatment. One of the most effective passive treatments used is constructed wetland with phytoremediation method using aquatic plants such as water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) is known for its ability to absorb and accumulate heavy metals such as iron (Fe) and manganese (Mn), thus reducing the concentration of heavy metals in water. Several studies have shown that the effectiveness of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) can reduce Fe by 92% and Mn by 73% in acid mine drainage. Increasing the effectiveness in absorption can be done by combining water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) plants with other hyperaccumulator aquatic plants, organic substrates, and alkaline materials.

Keywords: acid mine drainage, water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), metal, iron (Fe), manganese (Mn)

ABSTRAK

Air Asam tambang (AAT) merupakan salah satu isu penting yang menjadi perhatian karena kegiatan penambangan. Air ini dianggap sebagai polutan karena memiliki sifat asam yang tinggi, kandungan ion logam beracun, anion terlarut, kesadahan, dan padatan tersuspensi. Apabila AAT langsung dilepaskan ke lingkungan tanpa proses pengolahan terlebih dahulu, maka memberikan dampak negatif pada lingkungan terutama pada penurunan kualitas air. Pengolahan AAT umumnya digolongkan menjadi 2 yaitu metode *active treatment* dan *passive treatment*. Salah satu *passive treatment* yang paling efektif digunakan adalah lahan basah buatan (*constructed wetland*) dengan metode fitoremediasi menggunakan tanaman air seperti Enceng

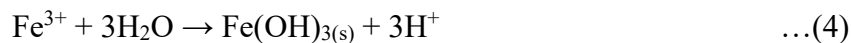
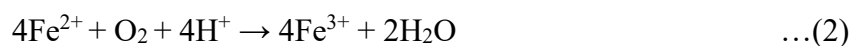
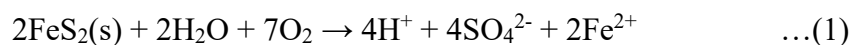
Gondok (*Eichhornia crassipes*). Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dikenal karena kemampuannya untuk menyerap dan mengakumulasi logam berat seperti besi (Fe) dan mangan (Mn), sehingga dapat mengurangi konsentrasi logam berat dalam air. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa efektivitas Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dapat menurunkan kandungan logam Fe mencapai 92% dan Mn mencapai 73% pada Air Asam Tambang. Peningkatan efektivitas dalam penyerapan dapat dilakukan dengan mengkombinasikan tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan tanaman air hiperakumulator lainnya, substrat organik, dan bahan alkali.

Kata kunci: air asam tambang, enceng gondok (*Eichhornia crassipes*), logam, besi (Fe), mangan (Mn)

PENDAHULUAN

Air Asam tambang (AAT) merupakan salah satu isu penting yang menjadi perhatian karena kegiatan penambangan. Air asam tambang pembentukannya tidak dapat dicegah, misalnya dari *mine* pit, pengotor hasil pencucian batubara, dan *stockpile* batubara (Gautama, 2012). Air ini dianggap sebagai polutan karena memiliki sifat asam yang tinggi, kandungan ion logam beracun (Fe, Mn, Zn, Cd, Al, Cu, Pb), anion terlarut (sulfat, nitrat, klorida, arsenat, dan lain-lain), kesadahan, dan padatan tersuspensi (Tsukamoto dan Miller, 1999). Air Asam Tambang (AAT) memiliki kisaran pH sekitar 2-4 (Neculita et al., 2007). Konsentrasi sulfat berkisar antara 100 - 5000 mgL⁻¹ (Kolmertdan dan Johnson, 2001). Komponen pembentuk AAT adalah air, mineral sulfida, dan oksigen. Air asam tambang (AAT) bahkan masih bisa terbentuk walaupun tambang tersebut tidak beroperasi lagi.

Sifat Asam yang terbentuk disebabkan karena mineral sulfida logam seperti pirit (FeS₂) yang mengalami proses oksidasi (Wiryo et al., 2017). Oleh karena itu, perlu diketahui jenis mineral sulfida yang terdapat pada batuan tambang. Adapun jenis mineral sulfida yang terdapat di alam diantaranya *pyrite* (FeS₂), *molybdenite* (MoS₂), *marcasite* (FeS₂), *chalcopirit* (CuFeS₂), *pyrrhotite* (Fe_xS_x), *galena* (PbS), *chalcocite* (Cu₂S), *sphalerite* (ZnS), *covellite* (CuS), *arsenopirit* (FeAsS) (Gautama, 2012). Adapun reaksi pembentukan AAT adalah sebagai berikut:



Jika pirit (FeS_2) bereaksi dengan oksigen (O_2) dan air (H_2O) akan membentuk asam sulfat (H_2SO_4) yang menyebabkan terjadinya penurunan pH dan pembebasan ion Fe^{2+} (fero) ke dalam air. Akibatnya, kemasaman air dan padatan terlarut total (*total dissolved solids*, TDS) akan meningkat. Selanjutnya, ion-ion Fe^{2+} teroksidasi menjadi ion Fe^{3+} (yang kemudian akan mengalami hidrolisis membentuk endapan besi (III) hidroksida $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$). Warna kekuningan yang mengendap di dasar saluran tambang atau pada dinding kolam pengendap lumpur merupakan gambaran visual dari endapan besi hidroksida atau yang dikenal dengan istilah *yellow boy* (Fitrah, 2019).

Apabila AAT langsung dilepaskan ke lingkungan tanpa proses pengolahan terlebih dahulu, maka memberikan dampak negatif pada lingkungan terutama pada penurunan kualitas air. Kandungan logam yang masuk ke dalam ekosistem perairan dapat mengubah sifat fisik dan kimia air, mengurangi jumlah oksigen yang tersedia untuk organisme air, dan membentuk endapan logam (besi hidroksida, aluminium hidroksida, dll.) yang menyebabkan berkurangnya ketersediaan cahaya bagi ekosistem akuatik (Sutrisno et al., 2024). Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan AAT terlebih dahulu sebelum dilepaskan ke perairan.

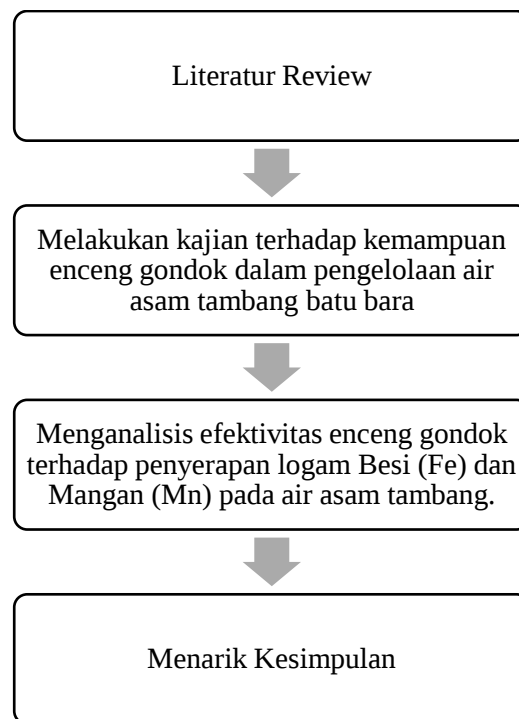
Pengolahan AAT umumnya digolongkan menjadi 2 yaitu metode *active treatment* dan *passive treatment* (Wiryono et al, 2017). Metode *active treatment* dilakukan dengan penambahan bahan-bahan kimia dengan tahapan proses oksidasi, netralisasi dan koagulasi atau flokulasi. Meskipun metode ini sangat efektif dan cepat mengurangi pencemaran tetapi metode ini cukup mahal dan perlu penanganan khusus. Metoda merupakan proses pengolahan yang tidak memerlukan operasi atau perawatan oleh manusia secara regular dengan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan *active treatment*. Beberapa teknologi *passive treatment* untuk AAT yang dapat digunakan adalah lahan basah alami (*natural wetland*), lahan basah buatan (*constructed wetland*), saluran anoksik batu kapur (*anoxic limestone drain*), sistem aliran vertikal (*vertical flow system*), saluran batu kapur terbuka (*open limestone channel*) dan bioreaktor.

Salah satu *passive treatment* yang paling efektif digunakan adalah lahan basah buatan (*constructed wetland*) dengan metode fitoremediasi menggunakan tanaman air seperti Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dikenal karena kemampuannya untuk menyerap dan mengakumulasi logam berat seperti besi (Fe) dan mangan (Mn), sehingga dapat mengurangi konsentrasi logam berat dalam air. Berdasarkan uraian

tersebut, maka akan dilakukan kajian mengenai efektivitas tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam pengelolaan AAT terutama dalam penurunan kandungan logam Fe dan Mn.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan yaitu *literatur review* atau studi literatur. *Literatur review* adalah proses kritisi yang mendalam dan evaluasi terhadap penelitian sejenis yang dilakukan sebelumnya (Shuttleworth, 2009). Pada penelitian ini dilakukan pengumpulan literatur berupa jurnal sebagai bahan review. Tujuan dari penelitian ini, yaitu sebagai acuan dalam menganalisis kemampuan atau efektivitas tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam pengelolaan air asam tambang batu bara. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Tahapan Penelitian

PEMBAHASAN

Tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan salah satu tanaman yang efektif dalam fitoremediasi, terutama dalam menurunkan konsentrasi logam seperti Fe dan Mn pada AAT. Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) mampu mengadsorbsi atau menyerap ion-ion

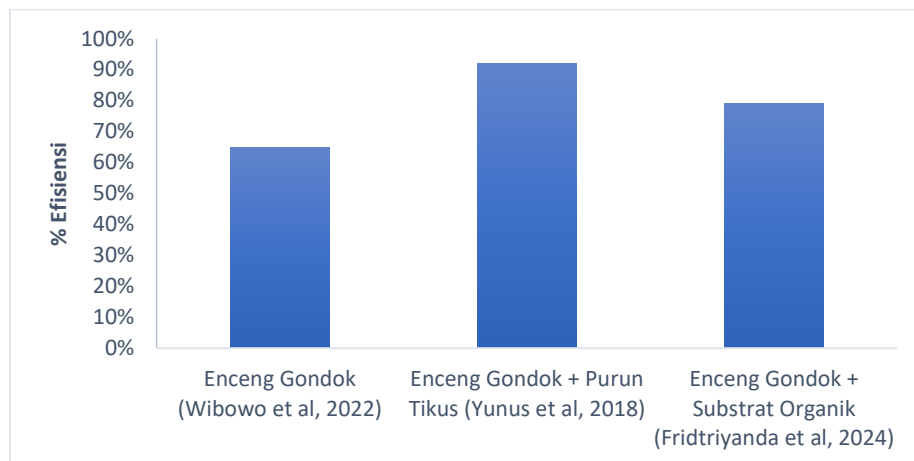
logam melalui akar dan mengakumulasikan logam-logam tersebut di dalam jaringannya. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa efektivitas Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dapat menurunkan kandungan logam Fe mencapai 92% dan Mn mencapai 73% pada AAT.

Efektivitas Tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menurunkan kandungan logam Fe

Berdasarkan *literatur review*, data kemampuan tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) terhadap penyerapan logam Fe dapat dilihat pada Gambar 2. Dari hasil penelitian Wibowo et al., (2022), tanpa dikombinasikan dengan apapun tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) mampu menurunkan kandungan logam Fe dengan efisiensi sebesar 65%. Adanya kombinasi tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) serta dengan substrat organik berupa kotoran kambing dalam pengelolaan AAT dapat meningkatkan efisiensi tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menyerap logam Fe.

Penelitian Yunus & Prihatini, (2018) menunjukkan kombinasi tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) mampu memberikan pengaruh terbaik, yaitu dapat meningkatkan efisiensi dalam penyerapan logam Fe mencapai 93%. Hal ini disebabkan karena tanaman Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) sendiri memiliki kemampuan dalam menurunkan kandungan logam Fe dengan efisiensi sebesar 78% (Prihatini, 2014). Dengan mengkombinasikan kedua tanaman hiperakumulator Fe tersebut, maka dapat meningkatkan efisiensi penyerapan logam Fe dengan signifikan. Menurut Penelitian Riwardi dan Munawar (2007) bahan organik dapat meremediasi AAT.

Remediasi air asam tambang dengan kulit kayu, kompos dan serbuk gergaji memberikan hasil yang terbaik dalam meremediasi air asam tambang. pH air asam tambang secara keseluruhan meningkat pH kadar Fe terlarut menurun hingga menjadi ± 2 mg/L (Riwardi & Munawar, 2007). Dari hasil penelitian Fridtriyanda et al (2024), Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) yang dikombinasikan dengan substrat organik memiliki efisiensi sebesar 79% dalam mengurangi kadar logam Fe dalam AAT.



Gambar 2. Efisiensi tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menyerap logam Fe

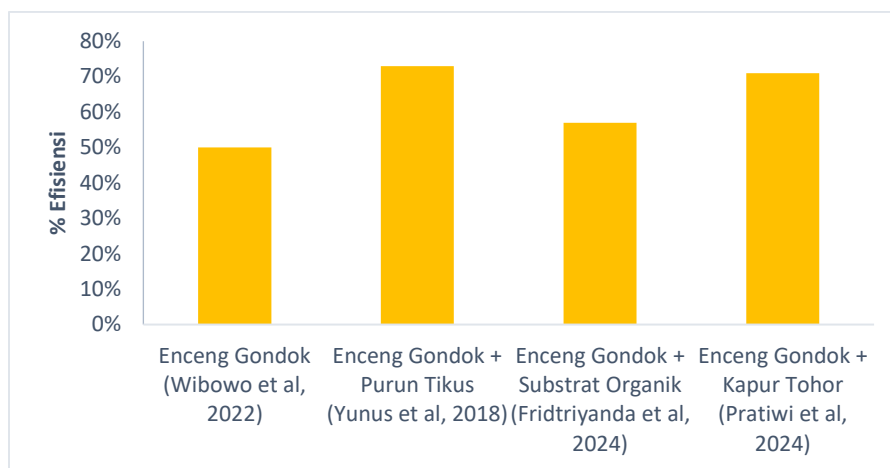
Efektivitas Tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menurunkan kandungan logam Mn

Berdasarkan beberapa penelitian, efektivitas tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menurunkan kandungan logam Mn pada AAT dapat dilihat pada Gambar 3. Tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) memiliki efisiensi sebesar 50% dalam menyerap logam Mn pada AAT (Wibowo et al, 2022). Dalam pengendalian AAT, kombinasi tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*), substrat organik seperti kotoran kambing, dan kapur tohor dapat meningkatkan efisiensi penyerapan logam.

Menurut penelitian yang dilakukan Yunus et al (2018), tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) yang dikombinasikan dengan tanaman Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) memiliki nilai efisiensi sebesar 73%. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai efisiensi sebesar 23%. Tanaman Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) merupakan salah satu vegetasi tumbuhan air yang dapat tumbuh dan berkembang di daerah rawa dan tergolong sebagai hiperakumulator logam berat. Oleh karena itu, dengan adanya kombinasi 2 tanaman hiperakumulator maka dapat meningkatkan taraf efisiensi dengan hasil yang cukup baik.

Penambahan substrat organik dan kapur tohor juga dapat meningkatkan efisiensi terhadap penyerapan logam Mn. Berdasarkan penelitian Fridtriyanda et al (2024) dan Pratiwi et al (2024) tingkat efisiensi penyerapan logam Mn berturut-turut sebesar 57% dan 71% Substansi yang terdapat pada substrat organik (kotoran kambing) mengandung asam humat dan fulvat yang

memiliki kemampuan mengadsorpsi logam berat karena gugus fungsi pada kedua substansi tersebut. Substansi humus (asam fulvat, asam humat dan humin) mampu mengadsorpsi kompleks logam berat melalui pertukaran kation, pembentukan kelat, dan ikatan elektrostatik (Hermana dan Nurhayati, 2010). Pengolahan AAT secara kimia dapat dilakukan dengan pemberian bahan alkali untuk peningkatan pH dan penurunan logam berat (Said, 2014).



Gambar 3. Efisiensi tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menyerap logam Mn

Berdasarkan uraian diatas, tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) memiliki tingkat penyerapan yang lebih tinggi terhadap logam Fe dibandingkan dengan logam Mn. Hal ini dapat disebabkan karena ukuran jari-jari ion Fe yang lebih kecil dibandingkan dengan Mn. Ion Fe^{2+} dan Fe^{3+} memiliki jari-jari ion berturut-turut sebesar 0,75 Å dan 0,69 Å, sedangkan ion Mn^{2+} dan ion Mn^{3+} memiliki jari-jari ion berturut-turut sebesar 0,81 Å dan 0,72 Å. Hasil penelitian Jasmadi et al (2002), ion yang berukuran lebih kecil akan berinteraksi lebih kuat dengan ligan karena mempunyai kemampuan polarisasi yang tinggi. Oleh sebab itu, Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) akan lebih mudah untuk mengikat logam Fe dibandingkan Mn.

KESIMPULAN

Secara keseluruhan tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) memiliki potensi sebagai hiperalumulator logam Fe dan Mn pada AAT. Peningkatan efektivitas dalam penyerapan

dapat dilakukan dengan mengombinasikan tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan tanaman air hiperakumulator lainnya, substrat organik, dan bahan alkali. Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) memiliki tingkat penyerapan yang lebih baik terhadap logam Fe yang mencapai 90% dibandingkan dengan logam Mn yang hanya mencapai 70%. Hal ini dapat disebabkan karena ukuran ion Fe yang lebih kecil dibandingkan dengan ion Mn, sehingga tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) lebih mudah mengikat logam Fe dibandingkan dengan logam Mn.

DAFTAR PUSTAKA

- Fridtriyanda, A., Sukmawatie, N., & Lashania, Y. (2024). *THE EFFECTIVENESS OF HYACINTH PLANTS (EICHORNIA CRASSIPES) AND ORGANIC SUBSTRATES IN MANAGING THE ACIDIC WATER QUALITY OF COAL* Penambangan dengan sistem tambang terbuka memberikan dampak terhadap lingkungan seperti Air Asam Tambang . *Air Asam Tambang te.* 24(1), 83–91.
- Gautama RS. 2012. Pengelolaan Air Asam Tambang. Bandung: ITB.
- Hermana JE, dan Nurhayati. 2010. *Removal of Cr³⁺ and Hg²⁺ using Compost Derived From Muncipal Solid Waste Sustain.* Environ. Res 20: 257-261.
- Jasmidi, E. Sugiharto, dan Mudjiran. 2002. *Pengaruh Lama dan Kondisi Penyimpanan Biomassa terhadap Biosorpsi Timbal (II) dan Seng (II) Biomassa Saccharomyces cerevisiae.* Indonesian J. of Chemi. 11-15
- Neculita C-M, Zagury G-J, Bussi re B: Passive treatment of acid mine drainage in bioreactors using sulphate-reducing bacteria: critical review and research needs, *J Environ Qual* 36:1–16, 2007.
- Nurhayati I, dan Sutrisno J. 2011. *Limbah Ampas Tebu sebagai Penyerap Logam Berat Pb.* Paper presented pada seminar nasional Pengembangan Teknologi Ramah Lingkungan Menuju Keberlanjutan Lingkungan Hidup. Surabaya.
- Pratiwi, D., Asrifah, R. D., Utami, A., & Yudono, A. R. A. (2024). Efektivitas Penyisihan Mangan (Mn) Dengan Kombinasi Pengolahan Secara Aktif Dan Pasif Pada Air Asam Tambang. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumian SATU BUMI*, 5(1), 125–135. <https://doi.org/10.31315/psb.v5i1.11644>
- Prihatini, N.S., 2014. *Potensi Lahan Basah Buatan dengan Purun Tikus (Eleocharis dulcis(Burm.f.) Trin. ex Hensch) Untuk Mengolah Air Asam Tambang Batubara: Penyisihan Besi (Fe) dan Peningkatan pH.* [Disertasi]. Malang: Universitas Brawijaya.

- Riwandi dan Ali M. 2007. *Remediasi Air Asam Tambang Dengan Limbah Organik*. Ilmu Tanah Fakultas Pertanian UNIB.
- Said, N. I. (2014). Teknologi Pengolahan Air Asam Tambang Batubara “Alternatif Pemilihan Teknologi.” *Jurnal Air Indonesia*, 7(2), 119–138.
- Sutrisno, E., Sari, A. N., Faradika, M., Noviana, L., Mohamad, E., Sari, S. P., Indrawanto, D., Theresia, & Tangio, J. S. (2024). *Toksikologi Lingkungan* (M. J. F. Sirait (ed.); 1st ed.). Yayasan Kita Menulis.
- Tsukamoto T-K, Miller G-C: Methanol as a carbon source for microbiological treatment of acid mine drainage, *Water Res* 33:1365–1370, 1999.
- Wibowo, Y. G., Safitri, H., Malik, I. B. I., Sudibyo, & Priyanto, S. (2022). Alternative Low-Cost Treatment for Real Acid Mine Drainage: Performance, Bioaccumulation, Translocation, Economic, Post-Harvest, and Bibliometric Analyses. *Sustainability (Switzerland)*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/su142215404>
- Wiryono, Munawar, A., & Suhartoyo, H. (2017). *Restorasi Ekosistem Hutan Pasca Penambangan Batubara* (1st ed.). Pertelon Media.
- 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*, VII(1), 73–85. <http://ojs.unm.ac.id/index.php/sainsmat>