



Efektivitas Campuran Karbon Aktif Daun Nanas–Batubara dalam Peningkatan pH dan Penurunan Fe, Mn, serta TSS Air Asam Tambang PT Alreksa Bara Mitra

Ayu Ningtias^{1*}, Lucia Litha Respati², Shalaho Dina Devy³, Harjuni Hasan⁴, Windhu Nugroho⁵

¹⁻⁵ Universitas Mulawaman, Indonesia

Email: ayungts01@gmail.com^{1*}, luciarespati@gmail.com²

*Penulis Korespondensi: ayungts01@gmail.com

Abstract. Acid mine drainage (AMD) is characterized by low pH and high concentrations of heavy metals such as iron (Fe) and manganese (Mn) that exceed environmental quality standards, thus requiring effective treatment to prevent environmental pollution. This study aims to evaluate the ability of a mixture of activated carbon derived from pineapple leaves mixed with coal to increase pH and reduce Fe, Mn, and Total Suspended Solids (TSS) levels in acid mine drainage at PT Alreksa Bara Mitra. The process to make activated carbon involved preparation, carbonization, and activation processes on the pineapple leaves and coal separately. The following step is to mix but pineapple leaves and coal the has been activated. The treatment was conducted using an adsorption method with variations in adsorbent mass of 4 g, 8 g, and 12 g and a contact time of 30 minutes. The parameters analyzed included pH, Fe, Mn, and TSS before and after treatment, and the results were compared with the quality standards stipulated in Minister of Environment and Forestry Regulation No. 05/2022. The results showed that the characteristics of the activated carbon mixture met the SNI 06-3730-1995 standard. Increasing the adsorbent mass contributed to the rise in pH from 5.5 to near the acceptable range of 6–9 and significantly reduced Fe, Mn, and TSS concentrations below the permitted limits. The findings indicate that the mixture of pineapple leaf- and coal-based activated carbon is an effective, economical, and environmentally friendly alternative adsorbent for acid mine drainage treatment.

Keywords: Acid Mine Drainage; Adsorption; Activated Carbon; Coal; Pineapple Leaves.

Abstrak. Air asam tambang (AAT) memiliki pH rendah serta kandungan logam berat seperti Fe dan Mn yang melebihi baku mutu, sehingga perlu dilakukan pengolahan yang efektif untuk mencegah pencemaran lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengetahui kemampuan campuran karbon aktif dari daun nanas dan batubara dalam meningkatkan pH serta menurunkan kadar Fe, Mn, dan TSS pada air asam tambang di PT Alreksa Bara Mitra. Proses pembuatan karbon aktif meliputi tahap preparasi, karbonisasi, dan aktivasi yang di lakukan secara terpisah pada daun nanas dan batubara. Kemudian proses selanjutnya adalah pencampuran dari daun nanas dan batubara yang sudah di aktivasi tersebut. Metode yang digunakan adalah proses adsorpsi dengan variasi massa adsorben 4 g, 8 g, dan 12 g serta waktu kontak 30 menit. Parameter yang dianalisis meliputi pH, Fe, Mn, dan TSS sebelum dan sesudah perlakuan, kemudian dibandingkan dengan baku mutu berdasarkan Permen LHK No. 05/2022. Hasil uji menunjukkan bahwa karakteristik campuran karbon aktif memenuhi standar mutu SNI 06-3730-1995. Peningkatan massa adsorben berpengaruh terhadap kenaikan pH dari 5,5 hingga mendekati kisaran 6–9 serta penurunan kadar Fe, Mn, dan TSS hingga berada di bawah ambang batas yang ditetapkan. Hasil penelitian membuktikan bahwa campuran karbon aktif daun nanas dan batubara efektif digunakan sebagai alternatif adsorben alami yang ekonomis dan ramah lingkungan dalam pengolahan air asam tambang.

Kata Kunci: Adsorpsi; Air Limbah Tambang Asam; Batubara; Carbon Aktif; Daun Nanas.

1. LATAR BELAKANG

Air asam tambang yang di hasilkan dari proses penambangan dapat menyebabkan korosif karena sifatnya yang sangat asam sehingga berdampak pada kerusakan lingkungan dan dapat menimbulkan berbagai masalah kesehatan yang serius pada manusia serta dampaknya tergantung pada tingkat paparan dan cara manusia terpapar. Oleh karena itu, dilakukan penelitian Efektivitas Campuran Karbon Aktif Dari Daun Nanas Dan Batubara Untuk Meningkatkan pH Serta Mengurangi Kadar Fe, Mn Dan TSS Pada Air Asam Tambang Di PT Alreksa Bara Mitra sekaligus menangani permasalahan lingkungan, yaitu menangani permasalahan air asam tambang yang diakibatkan karena adanya kegiatan penambangan.

2. KAJIAN TEORITIS

Air asam tambang (AAT) adalah air yang terbentuk sebagai hasil dari aktivitas penambangan, yang memiliki sifat sangat asam atau tingkat keasaman yang tinggi. Kondisi ini muncul karena adanya proses oksidasi mineral sulfida ketika mineral tersebut terpapar dengan air dan udara. Pemanfaatan tanaman nanas selama ini hanya sebatas pada buahnya saja sedangkan daun nanas relatif belum banyak dimanfaatkan. Adanya senyawa-senyawa karbon seperti selulosa dan lignin yang terdapat didalam daun nanas, sehingga berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan dasar adsorben.

Pemanfaatan batu bara muda merupakan salah satu cara dengan menjadikannya batubara muda sebagai karbon aktif, karena dalam batu bara muda terdapat kandungan karbon yang tinggi yaitu sebesar 61,7%. Adsorpsi adalah proses pemisahan berdasarkan perbedaan afinitas atau difusivitas suatu senyawa terhadap suatu spadatan, pada umumnya merupakan padatan berpori. dan adsorpsi sebenarnya adalah suatu *surface phenomena*.

3. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Lokasi Penelitian *PT Alreksa Bara Mitra*.

Penelitian ini dilaksanakan selama tiga bulan (Juni–September 2025) dengan pengambilan sampel air asam tambang dan batubara muda di PT. Alreksa Bara Mitra. Proses pembuatan dan karakterisasi karbon aktif dilakukan di Laboratorium Teknologi Mineral dan Batubara dan Laboratorium Rekayasa Teknik Kimia Universitas Mulawarman, sedangkan analisis logam Fe dan Mn dilakukan di Laboratorium Perikanan dan Kelautan Universitas Mulawarman. Daun nanas dikeringkan, dikarbonisasi pada suhu 400 °C, diayak 100 mesh, kemudian diaktivasi menggunakan larutan NaOH 2M, dicuci dengan aquadest, dan dikeringkan hingga diperoleh karbon aktif siap pakai. Batubara muda dikeringkan, dikarbonisasi pada suhu 500°C, diayak 100 mesh, kemudian diaktivasi menggunakan larutan NaOH 2M dan HCl 2M, dicuci dengan aquadest, dan dikeringkan hingga diperoleh karbon aktif siap pakai. Selanjutnya Uji adsorpsi, dilakukan dengan mencampurkan variasi dosis karbon aktif (4, 8, dan 12 g) ke dalam 250 ml sampel AAT dengan waktu kontak 30 menit. Selanjutnya kadar Fe, Mn, TSS, dan pH dianalisis menggunakan spektrometer serapan atom (SSA) dan pH meter. Efisiensi penurunan logam dihitung menggunakan persamaan efisiensi, kemudian hasilnya dianalisis menggunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Karakteristik Sampel Air Asam Tambang

Tabel 1. Hasil Awal Sampel Air Asam Tambang.

No	Parameter	Satuan	Hasil	Permen LHK No.05 tahun 2022
1	pH	-	5,5	6-9
2	Besi total (Fe)	mg/L	12,160	7
3	Mangan Total (Mn)	mg/L	9,348	4
4	TSS	mg/L	500	400

Berdasarkan tabel didapatkan karakteristik air asam tambang dengan nilai pH sebesar 5,5, kadar Fe sebesar 12,160 mg/L, kadar Mn sebesar 9,348 mg/L, dan TSS sebesar 500 mg/L. Jika berpedoman pada permen LHK No.05 Tahun 2022 hasil uji tersebut tidak memenuhi standar baku mutu air limbah penambangan batubara. Karena tidak memenuhi standar baku mutu maka dilakukan uji adsorpsi menggunakan campuran karbon aktif dari daun nanas dan batubara.

Analisis Karakteristik Karbon Aktif Daun Nanas

Tabel 2. Hasil Analisis Karbon Aktif Daun Nanas.

No	Parameter Pengujian	Syarat Mutu Arang Aktif %	Hasil Pengujian
1	Zat Terbang	Maks 25%	10%
2	Kadar air	Maks 15%	10%
3	Kadar abu	Maks 10%	4,71%
4	Karbon Aktif Murni	Min 65%	75,29%

Berdasarkan tabel hasil uji kualitas karbon aktif dari daun nanas telah memenuhi syarat mutu arang aktif teknis SNI 06-3730-1995, dengan nilai zat terbang yang di peroleh 10% sedangkan standar mutu menetapkan batas maksimum 25%, kadar air 10% lebih rendah dari batas maksimum 15% sesuai standar, kadar abu 4,71% berada jauh di bawah batas maksimum 10%, karbon aktif murni 75,29% melebihi batas minimum 65% sesuai ketentuan.

Analisis Karakteristik Karbon Aktif Batubara

Tabel 3. Hasil Analisis Karbon Aktif Batubara.

No	Parameter Pengujian	Syarat Mutu Arang Aktif %	Hasil Pengujian
1	Zat Terbang	maks 25%	10%
2	Kadar Air	Maks 15%	10%
3	Kadar Abu	Maks 10%	10%
4	Karbon Aktif Murni	Min 65%	70,29%

Berdasarkan tabel hasil uji kualitas karbon aktif dari daun nanas telah memenuhi syarat mutu arang aktif teknis SNI 06-3730-1995, dengan nilai zat terbang 10% masih lebih rendah daripada batas maksimum 25%, kadar air 10% sementara standar menetapkan batas maksimum 15%, kadar abu 10% tepat pada batas maksimum yang telah di tetapkan standar yaitu 10% tidak seperti parameter lainnya yang berada di bawah standar maksimum, karbon aktif murni 70,29% lebih tinggi dari batas minimum standar yaitu 65%.

Analisis Karakteristik Campuran Karbon Aktif Daun Nanas dan Batubara

Tabel 4. Hasil Analisis Karbon Aktif Daun Nanas dan Batubara.

No	Parameter	Syarat Mutu Arang Aktif %	Hasil Pengujian
1	Zat Terbang	maks 25%	10%
2	Kadar Air	maks 15%	10%
3	Kadar Abu	maks 10%	6,24%
4	Karbon Aktif Murni	min 65%	73,76%

Berdasarkan tabel hasil uji kualitas karbon aktif dari campuran daun nanas dan batubara telah memenuhi syarat mutu arang aktif teknis SNI 06-3730-1995 yaitu zat terbang 10% masih berada di bawah batas maksimum 25% yang telah di tentukan, kadar air 10% juga masih berada

lebih rendah dari dari batas maksimum 15%, kadar abu 6,24% berada jauh di bawah batas maksimum 10%, dan karbon aktif murni 73,76% sudah melebihi batas minimum 65%. Berikut hasil uji karakteristik dari campuran karbon aktif daun nanas dan batubara:

Analisis Effisiensi Removal pH

Tabel 5. Perbandingan Hasil pH.

No sampel	Masa Adsorben (mg/L)	Nilai pH		Kenaikan pH (%)
		Awal	Akhir	
sampel awal	0	5,5	5,5	0
sampel 1	4000	5,5	6,1	9,84
sampel 2	8000	5,5	6,3	12,70
sampel 3	12000	5,5	6,5	15,38

Berdasarkan hasil ketiga variasi massa adsorben tersebut memenuhi standar Permen LHK No.5 Tahun 2022. Pada pemberian massa adsorben 4 gram menghasilkan kenaikan pH sebesar 6,1 dari pH awal 5,5. Proses adsorpsi masih kurang karena jumlah adsorben yang relatif sedikit sehingga adsorpsi ion asam belum optimal. Nilai pH yang meningkat menjadi 6,1 menunjukkan bahwa proses netralisasi sudah terjadi, namun belum maksimal. Ketika massa adsorben yang diberikan di naikkan menjadi 8 gr kenaikan pH meningkat menjadi 6,3 yang disebabkan jumlah pori adsorben lebih banyak sehingga adsorpsi ion asam berlangsung lebih efektif dari sebelumnya. Kemudian pada massa adsorben 12 gram, adsorpsi ion asam berlangsung semakin efektif sehingga kenaikan pH menjadi 6,5. Dapat disimpulkan banyaknya massa adsorben yang diberikan pada setiap sampel air asam tambang berpengaruh pada kenaikan pH.

Analisis Effisiensi Removal Fe

Tabel 6. Perbandingan Hasil Fe.

No sampel	Masa Adsorben (mg/L)	Nilai Fe		Efisiensi Removal Fe (%)
		Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	
sampel awal	0	12,160	12,160	0
sampel 1	4000	12,160	0,603	95,04
sampel 2	8000	12,160	0,352	97,11
sampel 3	12000	12,160	0,184	98,49

Berdasarkan pengujian telah memenuhi standar Permen LHK No.5 tahun 2022. Pada massa adsorben 4 gram didapatkan hasil penurunan kadar Fe sebesar 0,603 mg/L didapatkan *persentase efisiensi removal* 95,04% yang pada awalnya memiliki kandungan Fe sebesar 12,16

mg/L. ketika massa adsorben dinaikan menjadi 8 gram jumlah pori lebih meningkat dan adsorpsi ion Fe berlangsung lebih optimal sehingga kadar Fe turun menjadi 0,352 mg/L didapatkan *persentase efisiensi removal* 97,11%. Pada massa adsorben 12 gram semakin menurun menjadi 0,184 mg/L didapatkan *persentase efisiensi removal* 98,49% proses adsorpsi mencapai tingkat paling optimal, dengan jumlah pori yang lebih banyak dan hampir seluruh ion Fe dalam larutan teradsorpsi oleh adsorben.

Analisis Efisiensi Removal Mn

Tabel 7. Perbandingan Hasil Mn.

No sampel	Masa Adsorben (mg/L)	Nilai Mn		Efisiensi <i>Removal</i> Mn (%)
		Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	
sampel awal	0	9,348	9,348	0
sampel 1	4000	9,348	5,31	43,20
sampel 2	8000	9,348	3,661	60,84
sampel 3	12000	9,348	0,136	98,55

Pada massa adsorben 4 gram, jumlah pori adsorben masih sedikit yang tersedia, sehingga proses adsorpsi belum berlangsung optimal. Sebagian besar ion mangan masih tersisa di dalam larutan, yang menyebabkan kadar akhir masih cukup tinggi, yaitu 5,31 mg/L dengan *efisiensi removal* 43,20%. Ketika massa adsorben dinaikkan menjadi 8 gram, kemampuan adsorpsi meningkat karena jumlah pori aktif bertambah. Hal ini menyebabkan kadar Mn turun menjadi 3,661 mg/L dengan efisiensi 60,84%. Pada massa adsorben 12 gram, proses adsorpsi berlangsung paling efektif karena jumlah permukaan aktif mencapai titik maksimum. Sebagian besar ion Mn berhasil terjepit, sehingga kadar mangan turun drastis menjadi 0,136 mg/L, dengan efisiensi penurunan mencapai 98,55%.

Analisis Efisiensi Removal TSS

Tabel 8. Perbandingan Hasil TSS.

No sampel	Masa Adsorben (mg/L)	Nilai TSS		Efisiensi <i>Removal</i> TSS (%)
		Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	
sampel awal	0	500	500	0
sampel 1	4000	500	461	7,80
sampel 2	8000	500	441	11,80
sampel 3	12000	500	400	20,00

Pada massa adsorben 4 gram, penurunan TSS masih relatif kecil karena jumlah partikel aktif yang tersedia belum cukup banyak untuk mengikat semua partikel padat di dalam larutan. Ketika massa adsorben ditingkatkan menjadi 8 gram, jumlah pori dan luas permukaan

aktif meningkat, sehingga proses adsorpsi menjadi lebih efektif dan nilai TSS menurun lebih signifikan. Sementara pada massa 12 gram, jumlah situs aktif yang tersedia mencapai kondisi hampir optimal, sehingga partikel padat tersuspensi lebih banyak teradsorpsi oleh adsorben. Hasilnya, kadar TSS turun hingga 400 mg/L dan telah memenuhi Standar Permen LHK 05 Tahun 2022, dengan efisiensi penurunan mencapai 20%.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Massa adsorben berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi logam besi (Fe), mangan (Mn), peningkatan nilai pH, dan TSS pada air asam tambang. Pada adsorben penurunan konsentrasi logam besi, mangan, TSS, dan peningkatan pH terbaik terjadi pada massa adsorben 12 gram, di mana menurunkan Fe dari 12,160 mg/L menjadi 0,184, mg/L, Mn dari 9,348 mg/L menjadi 0,136 mg/L, peningkatan pH dari 5,5 menjadi 6,5, dan TSS dari 500 menjadi 400 mg/L.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak dan Ibu dosen yang telah membimbing, mengarahkan serta memberi saran kepada penulis dalam penyusunan jurnal ini. Terima kasih juga kepada PT Alreksa Bara Mitra yang telah mengizinkan penulis selama melaksanakan penelitian serta kepada semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis disebutkan satu persatu.

DAFTAR REFERENSI

- Astuti, W. (2018). *Adsorpsi menggunakan material berbasis lignoselulosa*. Semarang: Unnes Press. ISBN 978-602-285-124-0.
- Effendi, H. (2003). *Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumberdaya dan lingkungan perairan*. Kanisius. ISBN 978-972-21-0613-8.
- Fatimah, I. S. (2014). *Adsorpsi dan katalisis menggunakan material clay*. Graha Ilmu. ISBN 978-602-262-127-0.
- Gautama, R. S. (2019). *Pembentukan, pengendalian dan pengelolaan air asam tambang*. ITB Press.
- Gumelar, D., Yusuf, H., & Rini, Y. (2015). Pengaruh aktivator dan waktu kontak terhadap kinerja arang aktif berbahan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) pada penurunan COD limbah cair laundry. *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 3(1).
- Hidayat, P. (2008). Teknologi pemanfaatan serat daun nanas sebagai alternatif bahan baku tekstil. *Teknoin*, 13(2), 31-35. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol13.iss2.art7>
- Kusuma, I. D. G. D. P., Wiratini, N. M., & Wiratma, I. G. L. (2017). Isoterm adsorpsi Cu²⁺ oleh biomassa rumput laut. *Journal Pendidikan Kimia Undiksha*, 1(1).

- Laos, L. E., & Selan, A. (2016). Pemanfaatan kulit singkong sebagai bahan baku karbon aktif. *Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika*, 1(1). <https://doi.org/10.26737/jipf.v1i1.58>
- Lubis, R. A. F. (2020). Production of activated carbon from natural sources for water purification. *IJCST-UNIMED*, 3(2), 67-73. <https://doi.org/10.24114/ijcst.v3i2.19531>
- Novananda, A., Rahmawati, I., Sani, S., Astuti, D. H., & Suprianti, L. (2020). Karbon aktif dari batu bara lignit dengan proses aktivasi menggunakan hidrogen fluorida. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(1), 8-14. https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v15i1.2297
- Novianti. (2017). Identifikasi sebaran material PAF/NAF berdasarkan litologi batuan pada area timbunan overburden. *Jurnal GEOSAPTA*, 3(2). <https://doi.org/10.20527/jg.v3i2.3907>
- Onggo. (2005). Pengaruh sodium hidroksida dan hidrogen peroksida terhadap rendemen dan warna pulp dari serat daun nanas. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 3(1), 37-43.
- Paranita, D., Donda, & Sebayang, M. (2023). Blending arang aktif cangkang kemiri dan cangkang sawit dalam perjernih minyak goreng bekas. *Jurnal Al Ulum LPPM Universitas Al Washliysh Medan*, 11(1), 17. <https://doi.org/10.47662/alulum.v11i1.433>
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia nomor 5 tahun 2022 tentang pengolahan air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan pertambangan dengan menggunakan metode lahan basah buatan.
- Rinawati. (2016). Penentuan kandungan zat padat (total dissolve solid dan total suspended solid) di perairan Teluk Lampung. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 1(1), 36-46.
- Safrianti, L., Nelly, W., & Titin, A. Z. (2012). Adsorpsi timbal (II) oleh selulosa limbah jerami padi teraktivasi asam nitrat: Pengaruh pH dan waktu kontak. *Jurnal JKK*, 1(1), 1-7. ISSN 2303-1077.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995. *Arang aktif teknis*.