



Pengaruh Karbon Aktif Ampas Tebu (*Adsorben*) terhadap Air Asam Tambang untuk Mengurangi Kadar Fe, Mn, dan TSS pada Sump PT Alreksa Bara Mitra

Brilliant Mercy Geometri ^{1*}, Shalaho Dina Devy ², Lucia Litha Respati ³, Harjuni Hasan ⁴, Rety Winonazada ⁵

¹⁻⁵ Universitas Mulawarman, Indonesia

Email : arcadial465@gmail.com *

Alamat: Jl. Kuaro, Gn. Kelua, Kec. Samarinda Ulu, Kota Samarinda, Kalimantan Timur 75119, Indonesia.

* Penulis Korespondensi

Abstract Acid mine drainage (AMD) is one of the major environmental problems arising from coal mining activities. AMD is formed through the oxidation of sulfide minerals, resulting in acidic water with high concentrations of dissolved heavy metals. This condition is characterized by elevated levels of Fe, Mn, and total suspended solids (TSS), which, if left untreated, can pollute nearby water bodies, damage aquatic ecosystems, and pose risks to human health. Therefore, effective, eco-friendly, and low-cost treatment methods are needed to minimize the negative impacts of AMD. This study aims to investigate the effect of activated carbon derived from sugarcane bagasse as an adsorbent for reducing Fe, Mn, and TSS levels in AMD at the sump of PT Alreksa Bara Mitra. The selection of sugarcane bagasse is based on its abundance as an agro-industrial waste and its high lignocellulosic content, making it a potential raw material for activated carbon. The research involved the preparation of activated carbon through carbonization and activation processes, followed by its application to AMD samples with variations in adsorbent dosage and contact time. Laboratory analyses were conducted to measure the concentrations of Fe, Mn, and TSS before and after treatment. The results showed that sugarcane bagasse-based activated carbon significantly reduced Fe, Mn, and TSS concentrations. The highest removal efficiencies were achieved under optimum conditions, reaching 93.14% for Fe, 95.05% for Mn, and 85.04% for TSS. These findings demonstrate that activated carbon from sugarcane bagasse has a strong adsorption capacity for dissolved metals and suspended solids in AMD. In conclusion, sugarcane bagasse-derived activated carbon has potential as an environmentally friendly and cost-effective alternative for AMD treatment, while simultaneously providing added value to agro-industrial waste. This research is expected to serve as a reference for the development of more sustainable mine wastewater treatment methods.

Keywords: Acid Mine Drainage, Activated Carbon, Adsorptin, Fe, Mn, Sugarcane Bagasse, TSS.

Abstrak. Air asam tambang (AAT) merupakan salah satu permasalahan lingkungan utama yang ditimbulkan oleh aktivitas penambangan batubara. AAT terbentuk akibat proses oksidasi mineral sulfida yang menghasilkan air dengan pH rendah serta kandungan logam berat terlarut yang tinggi. Kondisi tersebut ditandai dengan tingginya kadar ion logam seperti Fe, Mn, dan total suspended solid (TSS) yang apabila tidak ditangani dapat mencemari badan air di sekitar lokasi tambang, merusak ekosistem perairan, dan membahayakan kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan metode pengolahan yang efektif, ramah lingkungan, dan ekonomis untuk meminimalisasi dampak negatif AAT. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan karbon aktif berbahan dasar ampas tebu sebagai adsorben dalam menurunkan kadar Fe, Mn, dan TSS pada AAT di sump PT Alreksa Bara Mitra. Pemilihan ampas tebu didasarkan pada ketersediaannya yang melimpah sebagai limbah agroindustri serta kandungan lignoselulosa yang tinggi, sehingga potensial dijadikan bahan baku karbon aktif. Proses penelitian meliputi pembuatan karbon aktif melalui tahap karbonisasi dan aktivasi, kemudian diaplikasikan pada sampel AAT dengan variasi dosis adsorben serta waktu kontak tertentu. Analisis laboratorium dilakukan untuk mengukur perubahan konsentrasi Fe, Mn, dan TSS sebelum dan sesudah perlakuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif ampas tebu mampu menurunkan kadar logam Fe, Mn, dan TSS secara signifikan. Efisiensi penurunan tertinggi diperoleh pada kondisi optimum, yaitu sebesar 93,14% untuk Fe, 95,05% untuk Mn, dan 85,04% untuk TSS. Hal ini membuktikan bahwa karbon aktif dari ampas tebu memiliki kapasitas adsorpsi yang baik terhadap logam terlarut dan padatan tersuspensi dalam AAT. Dengan demikian, penggunaan karbon aktif ampas tebu dapat dijadikan alternatif teknologi sederhana, ramah lingkungan, serta ekonomis untuk pengolahan AAT, sekaligus

memberikan nilai tambah pada limbah agroindustri. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan metode pengolahan limbah tambang yang lebih berkelanjutan

Kata kunci: adsorpsi, air asam tambang, ampas tebu, Fe, karbon aktif, Mn, TSS

1. LATAR BELAKANG

Kegiatan pertambangan batubara memberikan manfaat ekonomi, namun juga menimbulkan dampak lingkungan, salah satunya terbentuknya air asam tambang (AAT). AAT mengandung logam terlarut seperti Fe dan Mn serta total suspended solid (TSS) yang dapat mencemari perairan. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengolahan agar kandungan pencemar tersebut berkurang. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah adsorpsi dengan karbon aktif. Ampas tebu dipilih sebagai bahan baku karena melimpah, murah, serta mengandung lignoselulosa yang berpotensi menghasilkan luas permukaan besar setelah proses aktivasi. Pemanfaatan limbah ini tidak hanya efektif sebagai adsorben, tetapi juga mendukung pengelolaan lingkungan berkelanjutan. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji efektivitas karbon aktif ampas tebu dalam menurunkan kadar Fe, Mn, dan TSS pada air asam tambang di sump PT Alreksa Bara Mitra.

2. KAJIAN TEORITIS

Air asam tambang (AAT) terbentuk akibat oksidasi mineral sulfida, khususnya pirit (FeS_2), ketika terpapar udara dan air. Proses ini menghasilkan ion H^+ , sulfat, serta logam terlarut seperti Fe dan Mn yang meningkatkan keasaman. Jika tidak dikendalikan, AAT dapat mencemari perairan, menurunkan kualitas tanah, serta membahayakan ekosistem.

Salah satu alternatif penanganan AAT adalah melalui proses adsorpsi menggunakan karbon aktif. Karbon aktif memiliki luas permukaan besar dan pori-pori yang memungkinkan penyerapan logam berat maupun senyawa organik-anorganik. Efektivitas karbon aktif dipengaruhi oleh struktur pori, jenis bahan baku, serta metode aktivasi.

Ampas tebu (*bagasse*) merupakan limbah padat dari industri gula dan minuman yang mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Komponen ini menjadikan ampas tebu potensial sebagai bahan baku karbon aktif. Selain murah dan mudah diperoleh, pemanfaatan ampas tebu juga mendukung pengelolaan limbah dan prinsip ekonomi sirkular.

Adsorpsi merupakan fenomena penjerapan molekul pada permukaan padatan berpori. Untuk menggambarkan kesetimbangan adsorpsi digunakan model isoterm. Dua model yang umum digunakan adalah:

- Isoterm *Langmuir*

$$q_e = \frac{q_{max} b C_e}{1 + b C_e} \quad (1)$$

Keterangan:

q_e = jumlah adsorbat yang teradsorpsi (mg/g)

C_e = konsentrasi kesetimbangan (mg/l)

q_{max} = kapasitas maksimum adsorpsi (mg/g)

b = konstanta *Langmuir*

- Isoterm *Freundlich*

$$q_e = K f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (8)$$

Keterangan:

q_e = jumlah adsorbat yang teradsorpsi (mg/g)

C_e = konsentrasi kesetimbangan (mg/l)

Kf = kapasitas adsorpsi (mg/g)

$1/n$ = Intensitas adsorpsi

3. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Lokasi Penelitian PT. Alreksha Bara Mitra.

Penelitian ini dilaksanakan selama tiga bulan (April–Juni) dengan pengambilan sampel air asam tambang di sump PT. Alreksha Bara Mitra dan ampas tebu dari penjual es tebu lokal di Balikpapan. Proses pembuatan dan karakterisasi karbon aktif dilakukan di Laboratorium Teknologi Mineral dan Batubara Universitas Mulawarman, sedangkan analisis logam Fe dan Mn dilakukan di PT. Global Environment Laboratory. Ampas tebu dikeringkan, dikarbonisasi pada suhu 300 °C, diayak 100 mesh, kemudian diaktivasi menggunakan larutan Na_2CO_3 , dicuci dengan aquadest, dan dikeringkan hingga diperoleh karbon aktif siap pakai. Uji adsorpsi

dilakukan dengan mencampurkan variasi dosis karbon aktif (3, 6, dan 9 g) ke dalam 1000 ml sampel AAT dengan waktu kontak 6, 12, dan 18 jam. 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.5 Tahun 2022
1	Derajat Keasaman (pH)		3,86	6-9
2	Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/l	421	200
3	Besi (Fe) Total	mg/l	8,02	7
4	Mangan (Mn) Total	mg/l	6,07	4

Diketahui bahwa air asam tambang tidak memenuhi baku mutu lokal sesuai peraturan daerah provinsi kalimantan timur No 2 Tahun 2011. Pada permen LHK batas besaran parameter TSS sebesar 200 mg/L, kandungan Besi (Fe) sebesar 7 mg/L, mangan (Mn) sebesar 4 mg/L dan pH sebesar 6-7.

Analisi Karakteristik Karbon Aktif

Tabel 2. Hasil Analisis Karbon Aktif.

No	Parameter Pengujian	Syarat Mutu Arang Aktif %	Hasil Pengujian
1	berat yang hilang 950°	maks 25%	20%
2	kadar air	maks 15%	5%
3	kadar abu	maks 10%	10%
4	karbon aktif murni	min 60%	70%

Dapat dilihat pada tabel dua bahwa karbon aktif ampas tebu telah memenuhi syarat mutu dari SNI arang aktif teknis. Sehingga dapat disimpulkan bahwa karbon aktif ampas tebu layak atau dapat digunakan sebagai media penyerapan logam berat.

Analisi Isoterm Adsorpsi Besi

Tabel 3. Hasil Persamaan *Freundlich* dan *Langmuir* Besi.

Persamaan Freundlich	Nilai	Persamaan Langmuir	Nilai
persamaan	$y = 0,8312x - 0,1094$	persamaan	$y = -0,0233x + 0,1637$
slope (1/n)	0,8312	slope (1/n)	-0,0233
intercept (ln K)	-0,1094	intercept (ln K)	0,1637
Regresi (R)	0,5667	Regresi (R)	0,5406
Persamaan	$x/m = 0,896$	Persamaan	$x/m = -42,918 - 0,142.c$
Adsorpsi	$Ce^{1/1,203}$	Adsorpsi	

Berdasarkan Tabel 3 diperoleh model persamaan adsorpsi *Freundlich* Dimana nilai $\frac{x}{m} 0,896 Ce^{1/1,203}$, Dimana nilai Kf adalah 0,896 dan nilai 1/n 1,203. Sementara itu untuk adsorpsi *Langmuir*, persamaannya sebagai berikut $\frac{x}{m} = \frac{-53,191 - 0,0001.c}{1 - 0,0001.c}$ dimana nilai qm - 42,918 dan nilai b -0,142.

Berdasarkan tabel 3 didapatkan bahwa nilai persamaan regresi dari persamaan *Freundlich* lebih mendekati satu dibandingkan dengan persamaan *Langmuir* sehingga persamaan yang digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi adalah persamaan *Freundlich*

Analisi Isoterm Adsorpsi Mangan

Tabel 4. Hasil Persamaan *Freundlich* dan *Langmuir* Mangan.

Persamaan Freundlich	Nilai	Persamaan Langmuir	Nilai
persamaan	$y = 0.294x + 0.001$	persamaan	$y = -0.0109x + 0.2098$
slope (1/n)	0.294	slope (1/n)	-0.0109
intercept (ln K)	0.001	intercept (ln K)	0.2098
Regresi (R)	0.8247	Regresi (R)	0.8464

Persamaan	$x/m = 1.001$	Persamaan	$x/m = -91,743 -$
Adsorpsi	$Ce^{1/3.401}$	Adsorpsi	$0.002.c / 1 - 0.002.c$

Berdasarkan Tabel 4 diperoleh model persamaan adsorpsi *Freundlich* Dimana nilai $\frac{x}{m} 1,001 Ce^{1/3,401}$, Dimana nilai Kf adalah 1,001 dan nilai 1/n 3,401. Sementara itu untuk adsorpsi *Langmuir*, persamaannya sebagai berikut $\frac{x}{m} = \frac{-91,743 - 0,002.c}{1 - 0,002.c}$ dimana nilai qm -91,743 dan nilai b -0,002.

Berdasarkan tabel 4 didapatkan bahwa nilai persamaan regresi dari persamaan *Langmuir* lebih mendekati satu dibandingkan dengan persamaan *Freundlich* sehingga persamaan yang digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi adalah persamaan *Langmuir*.

Analisi Isoterm Adsorpsi TSS

Tabel 5. Hasil Persamaan *Freundlich* dan *Langmuir* TSS.

Persamaan <i>Freundlich</i>	Nilai	Persamaan <i>Langmuir</i>	Nilai
persamaan	$y = 0.385x + 1.2398$	persamaan	$y = -0.0188x + 0.0033$
slope (1/n)	0.385	slope (1/n)	-0.0188
intercept (ln K)	1.2398	intercept (ln K)	0.0033
Regresi (R)	0.6452	Regresi (R)	0.7771
Persamaan	$x / m = 3.455$	Persamaan	$x / m = -53,191 -$
Adsorpsi	$Ce^{1/2.597}$	Adsorpsi	$0.0001 c / 1 - 0.0001 c$

Berdasarkan Tabel 5 diperoleh model persamaan adsorpsi *Freundlich* Dimana nilai $\frac{x}{m} 3,455 Ce^{1/2,597}$, Dimana nilai Kf adalah 3,455 dan nilai 1/n 2,597. Sementara itu untuk adsorpsi *Langmuir*, persamaannya sebagai berikut $\frac{x}{m} = \frac{-53,191 - 0,0001.c}{1 - 0,0001.c}$ dimana nilai qm -53,191 dan nilai b -0,0001.

Berdasarkan tabel 5 didapatkan bahwa nilai persamaan regresi dari persamaan *Langmuir* lebih mendekati satu dibandingkan dengan persamaan *Freundlich* sehingga persamaan yang digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi adalah persamaan *Langmuir*.

Analisi kemampuan adsorpsi

Untuk menentukan kemampuan adsorpsi karbon aktif ampas tebu pada besi digunakan persamaan isoterm *Freundlich*. Hasil perhitungan kemampuan adsorpsi dapat dilihat pada tabel 6 .

Tabel 6. Hasil Kemampuan Adsorpsi Fe.

Konsentrasi Awal (mg/L)	Waktu Kontak (jam)	Konsentrasi Adsorben (gr)	Konsentrasi Akhir Fe (mg/L)	Massa Adsorbat Yang Teradsorpsi (g/L)
8.02	6	3	1.96	1.46
8.02	12	3	1.41	1.05
8.02	18	3	1.08	0.8
8.02	6	6	1.4	1.04
8.02	12	6	0.99	0.74
8.02	18	6	0.82	0.61
8.02	6	9	0.78	0.58
8.02	12	9	0.54	0.4
8.02	18	9	0.45	0.34

Untuk menentukan kemampuan adsorpsi karbon aktif ampas tebu pada mangan digunakan persamaan isoterm *Langmuir*. Hasil perhitungan kemampuan adsorpsi dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil Kemampuan Adsorpsi Mn.

Konsentrasi Awal (mg/L)	Waktu Kontak (jam)	Konsentrasi Adsorben (gr)	Konsentrasi Akhir Mn (mg/L)	Massa Adsorben Yang Teradsorpsi (g/L)
6.07	6	3	1.21	0.22
6.07	12	3	1.15	0.21
6.07	18	3	1.08	0.2
6.07	6	6	1.08	0.2
6.07	12	6	0.98	0.18

6.07	18	6	0.97	0.17
6.07	6	9	0.86	0.16
6.07	12	9	0.82	0.15
6.07	18	9	0.82	0.15

Untuk menentukan kemampuan adsorpsi karbon aktif ampas tebu pada TSS digunakan persamaan isoterm *Langmuir*. Hasil perhitungan kemampuan adsorpsi dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil Kemampuan Adsorpsi TSS.

Konsentrasi Awal (mg/L)	Waktu Kontak (jam)	Konsentrasi Adsorben (gr)	Konsentrasi Akhir TSS (mg/L)	Massa Adsorbat Yang Teradsorpsi (g/L)
421	6	3	105	0.56
421	12	3	98	0.53
421	18	3	97	0.52
421	6	6	98	0.53
421	12	6	94	0.5
421	18	6	92	0.49
421	6	9	67	0.36
421	12	9	63	0.34

Berdasarkan ketiga perhitungan sebelumnya, dapat diketahui bahwa kapasitas adsorpsi tertinggi ada pada variasi konsentrasi adsorben 3 gr dengan waktu kontak 6 jam. Sehingga semakin tinggi konsentrasi dan juga semakin lama waktu kontakannya. Maka semakin rendah kemampuan adsorpsi dari adsorbennya.

Analisi Efisiensi Removal

Tabel 9. Hasil Removal Besi.

No sampel	Masa Adsorben (g/L)	Waktu Kontak (jam)	Nilai Fe Awal (mg/L)	Nilai Fe Akhir (mg/L)	Efisiensi Removal Fe (%)
sampel awal	-	0	8,02	8,02	0

sampel 3/6	3	6	8,02	1,96	75,56
sampel 3/12	3	12	8,02	1,41	82,42
sampel 3/18	3	18	8,02	1,08	86,53
sampel 6/6	6	6	8,02	1,40	82,54
sampel 6/12	6	12	8,02	0,88	89,67
sampel 6/18	6	18	8,02	0,40	89,78
sampel 9/6	9	6	8,02	0,26	90,27
sampel 9/12	9	12	8,02	0,54	93,27
sampel 9/18	9	18	8,02	0,45	94,39

Pada tabel 9 Diketahui bahwa pada masa adsorben 3g/L Efisiensi *Removal* Fe tertinggi ada pada waktu tinggal 18 jam sebesar 86,53%. Lalu pada masa adsorben 6g/L Efisiensi *Removal* Fe tertinggi ada pada waktu tinggal 18 jam sebesar 89,78%. Pada masa adsorben 9g/L Efisiensi *Removal* Fe tertinggi ada pada waktu tinggal 18 jam sebesar 94,39%. Pada hasil pengujian dapat diartikan bahwa semakin tinggi massa adsorben dan waktu tinggalnya, maka semakin tinggi Efisiensi *Removal* Fe-nya.

Tabel 10. Hasil Removal Mangan.

No sampel	Masa Adsorben (g/L)	Waktu Kontak (jam)	Nilai Mn Awal (mg/L)	Nilai Mn Akhir (mg/L)	Efisiensi Removal Mn (%)
Sampel awal	-	0	6,07	6,07	0
sampel 3/6	3	6	6,07	6,07	80,07
sampel 3/12	3	12	6,07	1,15	81,05
sampel 3/18	3	18	6,07	1,08	82,21
sampel 6/6	6	6	6,07	1,08	82,21
sampel 6/12	6	12	6,07	0,98	83,86
sampel 6/18	6	18	6,07	0,84	84,84
sampel 9/6	9	6	6,07	0,88	85,83
sampel 9/12	9	12	6,07	0,82	86,49
sampel 9/18	9	18	6,07	0,82	86,49

Pada tabel 10 Diketahui bahwa pada masa adsorben 3g/L efisiensi *Removal* Mn tertinggi ada pada waktu tinggal 18 jam sebesar 82,21%. Lalu pada masa adsorben 6g/L

efisiensi *Removal* Mn tertinggi ada pada waktu tinggal 18 jam sebesar 84,84%. Pada masa adsorben 9g/L efisiensi *Removal* Mn tertinggi ada pada waktu tinggal 12 jam sebesar 86,49%. Pada hasil pengujian dapat diartikan bahwa semakin tinggi massa adsorben dan waktu tinggalnya, maka semakin tinggi efisiensi *Removal* Mn-nya.

Tabel 11. Hasil Removal TSS.

No sampel	Masa Adsorben (g/L)	Waktu Kontak (jam)	Nilai TSS Awal (mg/L)	Nilai TSS Akhir (mg/L)	Efisiensi Removal TSS (%)
sampel awal	-	-	421	421	-
sampel 3/6	3	6	421	105	75.06
sampel 3/12	3	12	421	98	76.72
sampel 3/18	3	18	421	92	78.07
sampel 6/6	6	6	421	98	76.96
sampel 6/12	6	12	421	92	78.07
sampel 6/18	6	18	421	94	77.69
sampel 9/6	9	6	421	98	76.96
sampel 9/12	9	12	421	63	85.04
sampel 9/18	9	18	421	63	85.04

Pada tabel 11 Diketahui bahwa pada masa adsorben 3g/L efisiensi *Removal* TSS tertinggi ada pada waktu tinggal 18 jam sebesar 76,96%. Lalu pada masa adsorben 6g/L persentase *Removal* TSS tertinggi ada pada waktu tinggal 18 jam sebesar 78,15%. Pada masa adsorben 9g/L efisiensi *Removal* TSS tertinggi ada pada waktu tinggal 12 jam sebesar 85,04%. Pada hasil pengujian dapat diartikan bahwa semakin tinggi massa adsorben dan waktu tinggalnya, maka semakin tinggi efisiensi *Removal* TSS-nya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, model isoterm adsorpsi terbaik ditentukan dari nilai regresi yang paling mendekati satu, di mana parameter Fe sesuai dengan model Freundlich, sedangkan parameter Mn dan TSS mengikuti model Langmuir. Kondisi optimum adsorpsi diperoleh pada konsentrasi adsorben 3 g/L dan waktu tinggal 6 jam, dengan kemampuan adsorpsi masing-masing Fe 1,46 g/L; Mn 0,22 g/L; dan TSS 0,56 g/L serta efisiensi removal sebesar 75,56% untuk Fe, 80,07% untuk Mn, dan 75,06% untuk TSS. Hasil ini menunjukkan

bahwa karbon aktif dari ampas tebu efektif digunakan sebagai adsorben dalam pengolahan air asam tambang karena memiliki kapasitas adsorpsi yang baik, ramah lingkungan, serta berpotensi sebagai alternatif media filtrasi yang berkelanjutan.

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 mewadahi penulis selama melaksanakan penelitian serta kepada semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis disebutkan satu persatu.

DAFTAR REFERENSI

- Ade, A, (2010), Pemanfaatan Arang Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu dan Pb dalam air Limbah, Departemen Pertambangan dan Energi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Annisa, N., Muhammad, M., Masrullita, M., Zulnazri, Z. & Dewi, R. (2023) 'Pemanfaatan limbah ampas tebu sebagai adsorben penyerapan logam dan kesadahan pada air sumur', *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 3(1), 139
- Asdak, C, (2002), Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Astuti, W, (2018), Adsorpsi Menggunakan Material Berbasis Lignoselulosa, UNNES PRESS, Semarang.
- Barkatullah, A. H. (2019), Buku Ajar Hukum Pertambangan: Sub Sistem Hukum Sumber Daya Alam. Nusa media, Bandung. ISBN: 978-602-6913-37-1.
- Batdjedelik, A. N, dan Sumardiyono, (2024), Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Sebagai Adsorben Pemurnian Minyak Jelantah, *Jurnal Kimia Dan Rekayasa*, 4(2).
- Faucut, S. (2018). Pembuatan arang aktif dari limbah ampas tebu sebagai adsorben ion Fe^{2+} dan Co^{2+} . *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 4(2).
- Herniawanti, (2020), Pengelolaan Limbah Air Asam Tambang (AAT), Forum Pemuda Aswaja, NTB.
- Imani, A., Sukwika, T., & Febrina, L. (2021). Karbon aktif ampas tebu sebagai adsorben penurun kadar besi dan mangan limbah air asam tambang. *Jurnal Teknologi*, 13(1), 33–42.
- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2022). 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. Jakarta: Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI

Laos dan Selan, L. E, dan Selan, A, (2016), Pemanfaatan Kulit Singkong Sebagai Bahan Baku Karbon Aktif, Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika, 1(1).

Larasati, I, A (2015), Adsorpsi Logam Berat Pada Air Lindi TPA Tlekung Batu Menggunakan Media Karbon Aktif, Zeolit, dan Silika Gel, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya, Malang..

Nunung, N, (2013), Pencemaran Lingkungan, Yrama Widja Bandung, Bandung. Pasymi, 2008, Batubara, Bung Hatta University Press, Padang.

Paramitha, Dwi. M, & Noor, R. (2021). Pemanfaatan arang aktif ampas tebu sebagai adsorben COD pada limbah cair Sasirangan. Jernih: Jurnal Tugas Akhir Mahasiswa, 4(2), 61–70.

Ravindran, A., Singh, A., Raichur, A. M., Chandrasekaran, N., & Mukherjee, A. (2009). *Studies on interaction of colloidal Ag nanoparticles with Bovine Serum Albumin (BSA). Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 76(1), 32–37

Rengga, W. D. P. (2020), Karbon Aktif: Perpanjangan Masa Pakai Minyak Goreng. Depublish Publisher, Yogyakarta. ISBN: 978-623-021-837-8.

Rusmani Tasanif, Ishak Isa, Wiwin Rewini Kunusa (2020). Potensi Ampas Tebu Sebagai Adsorben Logam Berat Cd, Cu dan Cr. Jambura Journal of Chemistry, 2(1), 35–45.

Sari, I. H., Widya, L., & Rahmawati, N. (2023). Penambahan ampas tebu sebagai media filtrasi untuk menurunkan kadar Fe pada air sumur gali. Jurnal Sanitasi Lingkungan, 3(2), 45–52.

SNI 06-3730-1995, Arang Aktif Teknis.

Sudarmadji, Hadi, P, dan Widiyastuti, M, (2022), Pengelolaan Sumberdaya Air Terpadu, Gadjha Mada University Press, Yogyakarta.

Tasanif, R, Isa, I dan Kunusa, W. R., (2020), Potensi Ampas Tebu Sebagai Asorben Logam Berat Cd, Cu dan Cr, Jurnal Teknik Kimia, 2(1).

Wulandari, U dan Simon, H. J, (2019), Pengaruh Efektivitas Kerja Pegawai Terhadap Kualitas Pelayanan Publik Di Keluaran Sidorame Barat 1 Kecamatan Medan Perjuangan, Jurnal Publik Reform UNDHA, MEDAN.

Yani, M. (2023). Unit Koagulasi-Flokulasi dalam Pengolahan Air. Surabaya: ITATS.

Yoseva, P. L., Muchtar, A., & Sophia, H. (2015). Pemanfaatan limbah ampas tebu sebagai adsorben untuk peningkatan kualitas air gambut. JOM FMIPA, 2(1),