

Efektivitas Penggunaan Arang Batang Eceng Gondok Dalam Penurunan Kadar Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada Air Asam Tambang PT Anugerah Krida Utama

Effectiveness of Using Hyacinth Charcoal in Decreasing Levels Of Metal Iron (Fe) and Manganese (Mn) PT Anugerah Krida Utama

**Yafet Jaba*, Windhu Nugroho, Revia Oktaviani, Shalaho Dina Devy,
Albertus Juvensius Pontus**

*Program Studi S1 Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
yafetjaba99@gmail.com*

Abstrak

Air Asam Tambang (AAT) merupakan permasalahan lingkungan yang membutuhkan penanganan efektif karena dapat menimbulkan dampak bagi masyarakat serta dapat merusak lingkungan. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan arang aktif eceng gondok dalam menurunkan kadar logam besi (Fe) dan mangan (Mn) pada PT Anugerah Krida Utama. Penelitian dilakukan melalui metode adsorpsi dengan menggunakan arang aktif eceng gondok tanpa aktivasi dan aktivasi kimia yang divariasikan dengan perbedaan penggunaan massa yaitu 1, 2, 3, dan 5 gram dengan waktu kontak 60 menit, untuk ukuran 100 mesh serta kecepatan pengadukan 100 rpm. Hasil dari perlakuan digunakan untuk mengamati pengaruh massa arang aktif yang digunakan terhadap hasil penurunan kadar logam. Pengukuran kadar logam Fe dan Mn dilakukan sebelum dan setelah perlakuan konsentrasi awal logam Fe (90,57) dan konsentrasi awal logam Mn (31,516 mg/L). Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah arang aktif eceng gondok yang semakin bertambah mampu menurunkan kadar logam Fe dan Mn pada AAT. Hasil penurunan logam Fe terbaik pada arang aktif tanpa aktivasi sebesar 0,1827 mg/L dan logam Mn sebesar 20,138 mg/L hal ini dipengaruhi ketidakstabilan ikatan adsorben dengan ion logam, penyerapan antara adsorben itu sendiri yang memperebutkan dinding pori pada adsorben dan juga dinding pori yang tidak luas, sedangkan pada arang aktif aktivasi kimia penurunan logam Fe terbaik sebesar 0,2285 mg/L dan logam Mn sebesar 1,160 mg/L.

Kata Kunci: Adsorpsi, Air asam tambang, Arang Aktif, Kadar Logam.

Abstract

Acid Mine Drainage (AAT) is an environmental problem that requires effective handling because it can have an impact on society and can damage the environment. This study was conducted to evaluate the effectiveness of using water hyacinth activated charcoal in reducing iron (Fe) and manganese (Mn) metal levels at PT Anugerah Krida Utama. The research was conducted through the adsorption method using water hyacinth activated charcoal without activation and chemical activation which was varied with different mass usage of 1, 2, 3, and 5 grams with a contact time of 60 minutes, for a size of 100 mesh and a stirring speed of 100 rpm. The results of the treatment were used to observe the effect of the mass of activated charcoal used on the results of metal content reduction. Measurements of Fe and Mn metal levels were made before and after treatment of the initial concentration of Fe metal (90.57) and the initial concentration of Mn metal (31.516 mg/L). The results showed that the increasing amount of water hyacinth activated charcoal was able to reduce Fe and Mn metal levels in AAT. The best Fe metal reduction results in activated charcoal without activation of 0.1827 mg/L and Mn metal of 20.138 mg/L this is influenced by the instability of the adsorbent bond with metal ions, absorption between the adsorbent itself which fights over the pore wall on the adsorbent and also the pore wall is not wide. While in the chemical activation of activated charcoal, the best decrease in Fe metal is 0.2285 mg/L and Mn metal is 1.160 mg/L.

Keywords: Adsorption, Acid mine drainage, Activated Charcoal, Metal content

PENDAHULUAN

Permasalahan lingkungan akibat aktivitas penambangan batubara sangat meresahkan di lingkungan masyarakat yang berada tidak jauh dari lokasi pertambangan. Penambangan batubara umumnya dilakukan dengan cara tambang terbuka (*open pit mining*) sehingga akan memiliki dampak terhadap perubahan bentang alam. Dampak ini secara otomatis akan mengganggu ekosistem di atasnya termasuk pencemaran air. PT Anugerah Krida Utama merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan

batubara dengan metode *open pit*, yang merupakan salah satu metode penggalan yang dapat menimbulkan air asam.

Salah satu akibat dari aktivitas pertambangan batubara bagi lingkungan yaitu air asam tambang (AAT). Air asam tambang adalah air pada kegiatan penambangan atau pengolahan yang bersifat asam yang memiliki tingkat keasaman tinggi dan terbentuk akibat teroksidasinya mineral sulfida yang disertai keberadaan air yang bercampur dan menghasilkan air asam tambang. Sumber pengoksidasian yang utama adalah oksigen dan air merupakan salah satu reaktan dalam proses pembentukan air asam tambang dan juga sebagai media yang “mencuci” atau melarutkan hasil oksidasi (Gautama, 2019).

Dampak air asam tambang tidak dirasakan secara langsung oleh masyarakat dan lingkungan sekitarnya, tetapi apabila dalam waktu panjang terus-menerus mengkonsumsi kandungan logam berat seperti besi (Fe), mangan (Mn) maka jumlah yang terakumulasi di dalam tubuh makhluk hidup akan semakin banyak dan dapat menyebabkan keracunan. Salah satu cara yang dapat diterapkan dalam menurunkan kadar logam dalam air yaitu adsorpsi. Adsorpsi diartikan sebagai peristiwa menempelnya molekul, ion, maupun atom pada permukaan dan merupakan proses penyerapan bahan dari komponen terikat di permukaan suatu zat (Fatimah, 2014).

Penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan bahan dasar eceng gondok sebagai adsorben dalam proses adsorpsi logam. Arang aktif eceng gondok memiliki sifat adsorpsi yang baik terhadap logam berat dan senyawa organik, sehingga dapat digunakan sebagai media penyerap untuk menghilangkan logam berat dalam air. Dengan mengetahui efektivitas penggunaan arang aktif eceng gondok, dapat dihasilkan informasi yang berguna serta dapat mengembangkan metode-metode baru dalam pengolahan air asam tambang yang efisien dan ramah lingkungan. Melalui penelitian ini, diharapkan juga dapat ditemukan solusi yang efektif dan efisien dalam menangani pencemaran air asam tambang.

METODOLOGI

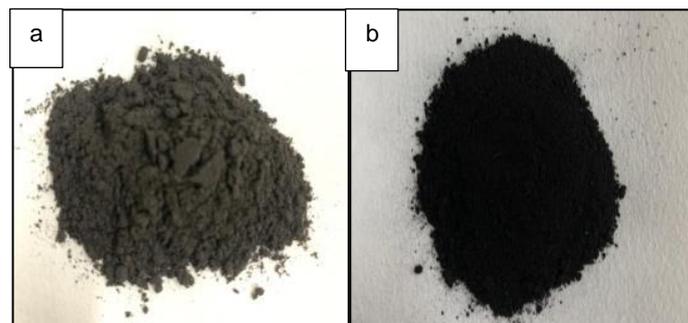
Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan pada penelitian adalah metode eksperimental dengan melakukan percobaan proses adsorpsi logam untuk memperoleh data melalui hasil penurunan kadar logam yang diuji. Dalam hal ini objek yang diamati yaitu pengaruh arang aktif aktivasi kimia dan tanpa aktivasi. Arang aktif dibuat dengan melalui tahap preparasi dengan dengan cara batang eceng gondok dibersihkan kemudian dipotong-potong dengan ukuran 0,5 - 1 cm lalu dikeringkan dibawah sinar matahari. Setelah itu batang eceng gondok dioven selama 24 jam pada suhu 105°C. Selanjutnya dilakukan proses karbonisasi dimana batang eceng gondok dimasukkan kedalam *furnace* pada suhu 300 - 350°C selama 60 menit, kemudian didinginkan dengan desikator lalu dihaluskan dan diayak dengan ukuran 100 mesh. Selanjutnya dilakukan aktivasi kimia dengan cara direndam arang aktif sebanyak 50 gram kedalam 250 ml larutan NaOH 2M selama 24 jam lalu dicuci hingga pH netral. Untuk mengetahui pengaruh dari arang aktif eceng gondok terhadap penurunan logam Fe dan Mn maka arang aktif aktif tanpa aktivasi dan aktivasi kimia dicampurkan dengan air asam tambang dengan variasi massa 1, 2, 3, dan 5 gram kedalam 250 ml limbah dengan kecepatan pengadukan 100 rpm selama waktu kontak 60 menit.

Metode Analisis Data

Analisis Karakteristik Arang Aktif Batang Eceng Gondok

Analisis karakteristik arang aktif batang eceng gondok dilakukan berdasarkan syarat mutu SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis yang mencakup analisis *proximat* yang meliputi pengujian kadar air (*moisture*), kadar abu (*ash content*), kadar uap (*volatile matter*), kadar karbon (*fixed carbon*).



Gambar 1. Arang aktif tanpa aktivasi (a) dan Arang aktif aktivasi kimia (b)

a. Kadar air (*moisture*)

Prosedur penentuan kadar air dilakukan dengan cara ditimbang 1 g contoh dalam cawan yang sudah diketahui beratnya. Kemudian dioven dengan suhu $115^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 3 jam setelah itu didinginkan dan timbang bobot setelah di oven

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{Kehilangan bobot contoh (g)}}{\text{Bobot contoh awal (g)}} \times 100\%$$

b. Kadar abu

Prosedur penentuan kadar abu dilakukan dengan cara timbang 2-3 g contoh kedalam cawan yang telah diketahui bobotnya. Kemudian dimasukkan kedalam *furnace* dengan suhu ($800-900^{\circ}\text{C}$) selama 2 jam. Selanjutnya sampel didinginkan dengan desikator dan ditimbang berat akhir contoh.

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{\text{Bobot abu (g)}}{\text{Bobot contoh awal (g)}} \times 100\%$$

c. Kadar zat menguap

Prosedur penentuan kadar abu dilakukan dengan cara timbang 1-2 g contoh kedalam cawan yang sudah diketahui bobotnya. Kemudian dimasukkan kedalam *furnace* dengan suhu 950°C , setelah suhu tercapai dinginkan pada desikator dan setelah dingin ditimbang bobot contoh akhir.

$$\text{Kadar zat menguap (\%)} = \frac{\text{Bobot contoh awal (g)} - \text{Bobot setelah pemanasan (g)}}{\text{Bobot contoh awal (g)}} \times 100\%$$

d. Karbon terikat

Karbon terikat ditentukan setelah menentukan kadar air, abu dan zat menguap yang dapat ditentukan dengan rumus:

$$\text{Kadar Karbon Terikat (\%)} = 100 - (\text{Kadar Air} + \text{Kadar abu} + \text{Kadar zat menguap})$$

Analisis Kadar Logam Fe dan Mn

Metode analisis yang digunakan dimulai dari deskripsi awal masing-masing konsentrasi kadar logam Fe dan Mn kemudian dilakukan analisis kembali setelah diberikan perlakuan menggunakan arang aktif tanpa aktivasi dan aktivasi kimia. Hasil uji laboratorium analisis Fe diukur dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA) dengan metode potensiometri spesifikasi dari SNI 6989.04-2009 dan analisis Mn diukur dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA) dengan metode potensiometri spesifikasi dari SNI 6989.05-2009. Hasil analisis akhir dari kadar logam Fe dan Mn akan dibandingkan dengan baku mutu air limbah kegiatan pertambangan KepMenLH No.113 Tahun 2003 dan Perda Kaltim No. 02 Tahun 2011.

Analisis Regresi Linear Sederhana

Menurut Siregar (2017) Regresi linier sederhana digunakan hanya untuk satu variabel bebas (*independent*) dan satu variabel tak bebas (*dependent*). metode ini digunakan untuk meramalkan atau memprediksi besaran nilai variabel tak bebas (*dependent*) yang dipengaruhi oleh variabel bebas (*independent*).

Rumus regresi linier sederhana:

$$Y = a + b.X$$

Dimana:

Y = Variabel terikat

X = Variabel bebas

a dan b = Konstanta

Analisis Korelasi

Analisis hubungan (korelasi) adalah suatu bentuk analisis data dalam penelitian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan atau bentuk arah hubungan di antara dua variabel atau lebih, dan besarnya pengaruh yang disebabkan oleh variabel yang satu (variabel bebas) terhadap variabel lainnya (variabel terikat). Pada penelitian ini koefisien korelasi ditentukan menggunakan nilai dari analisis regresi (Siregar, 2017).

Tabel 1. Tingkat korelasi dan kekuatan hubungan

No	Nilai Korelasi (r)	Tingkat Hubungan
1	0.00 – 0.199	Sangat lemah
2	0.20 – 0.399	Lemah
3	0.40 – 0.599	Cukup
4	0.60 – 0.799	Kuat

5	0.80 – 0.100	Sangat Kuat
---	--------------	-------------

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kualitas Arang Aktif Batang Eceng Gondok

Penelitian ini dilakukan dengan menguji kualitas dari arang aktif eceng gondok yang telah dibuat baik arang aktif tanpa aktivasi dan arang aktif aktivasi kimia. Analisis kualitas arang aktif berupa analisis *proximat* yang meliputi pengujian kadar air (*moisture*), kadar abu (*ash content*), kadar uap (*volatile matter*), kadar karbon (*fixed carbon*) yang disesuaikan dengan SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis.

Tabel 2. Hasil uji kualitas arang aktif eceng gondok

No	Parameter (%)	Tanpa Aktivasi	Aktivasi Kimia	Standar Kualitas Arang Aktif Teknis 06-3730-1995
1	Kadar Air	2,78	3,89	Maks. 15%
2	Kadar Abu	5,48	8,68	Maks. 10%
3	<i>Volatile Matter</i>	18,30	22,94	Maks. 25%
4	<i>Fixed Carbon</i>	73,43	64,49	Min. 65%

Hasil Uji Awal Kadar Logam Fe dan Mn

Berdasarkan uji awal yang dilakukan pada limbah air asam tambang diperoleh konsentrasi logam besi (Fe) dan mangan (Mn) yang tinggi. Hasil dari uji awal dari limbah air asam tambang ini tidak memenuhi standar baku mutu air limbah kegiatan pertambangan. Nilai kadar logam Fe dan Mn limbah air asam tambang yang telah diuji dan dibandingkan dengan baku mutu limbah pertambangan yang diperbolehkan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Baku mutu air limbah kegiatan pertambangan

Parameter	Kadar Awal Sampel	PerMen LHK No. 05 Tahun 2022	Perda Kaltim No.02 Tahun 2011	Keterangan
		Kadar Maksimal		
Besi (Fe) mg/L	90,57	7	7	Tidak Memenuhi Syarat
Mangan (Mn) mg/L	31,516	4	4	

Pengaruh Massa Arang Aktif Batang Eceng Gondok Terhadap Penurunan Logam Fe

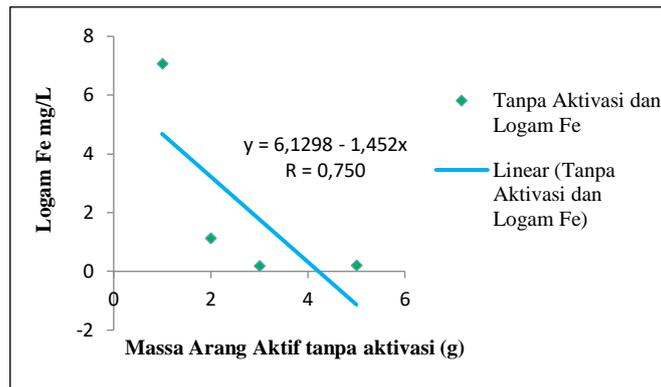
Percobaan adsorpsi logam Fe dilakukan pada limbah air asam tambang dengan menggunakan dua jenis arang aktif yaitu arang aktif tanpa aktivasi dan aktivasi kimia NaOH 2M. dengan perlakuan yang sama dan volume yang sama hasil adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji adsorpsi logam besi (Fe)

Jenis Arang Aktif	Konsentrasi Awal Fe (mg/L)	Waktu Kontak (menit)	Volume AAT (ml)	Massa Arang Aktif (g)	Konsentrasi Akhir Fe (mg/L)
Tanpa Aktivasi	90,57	60	250	1	7,0549
				2	1,117
				3	0,1827
				5	0,1924
				1	0,6236
Aktivasi Kimia	90,57	60	250	2	0,336
				3	0,3189
				5	0,2285

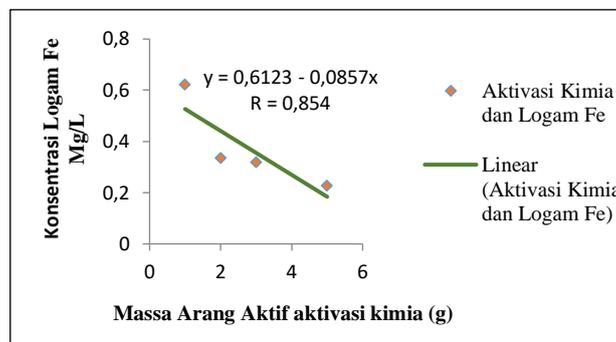
Berdasarkan Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa hasil adsorpsi menunjukkan hasil yang baik. massa arang aktif batang eceng gondok yang digunakan sangat berpengaruh pada penurunan kadar logam besi (Fe) baik arang aktif tanpa aktivasi maupun aktivasi kimia. Seiring dengan peningkatan massa adsorben, terlihat bahwa nilai adsorpsi logam Fe pada arang aktif tanpa aktivasi dinyatakan penurunannya (7,0549, 1,117, 0,1827 dan 0,1924mg/L) hal ini menunjukkan hasil adsorpsi mengalami penurunan yang konsisten. Sama halnya yang terjadi pada arang aktif aktivasi kimia dengan hasil adsorpsi yang dinyatakan sebagai 0,6236, 0,336, 0,3189, dan 0,2285 mg/L penurunan konsentrasi juga konsisten. Fenomena ini menunjukkan adanya kecenderungan bahwa peningkatan massa adsorben berkontribusi pada efisiensi penurunan

konsentrasi logam, yang dapat dianggap sebagai hasil yang positif. Observasi ini dapat diartikan bahwa adanya korelasi negatif antara massa adsorben dan konsentrasi logam yang tersisa setelah proses adsorpsi yang dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Analisis regresi pengaruh massa arang tanpa aktivasi terhadap logam Fe

Berdasarkan hasil dari Gambar 2 pada analisis regresi menunjukkan antara massa arang aktif eceng gondok tanpa aktivasi dengan konsentrasi logam Fe memiliki nilai korelasi linear yang negatif yang berarti semakin banyak jumlah massa arang aktif yang digunakan maka semakin turun konsentrasi logam Fe. Kemudian nilai koefisien korelasi (R) yang diperoleh yaitu 0,750 menunjukkan hubungan yang kuat dari massa arang aktif eceng gondok tanpa aktivasi untuk menurunkan konsentrasi logam Fe.



Gambar 3. Analisis regresi pengaruh massa arang aktivasi kimia terhadap logam Fe

Berdasarkan Gambar 2 berikut mendeskripsikan pada analisis regresi antara massa arang aktif aktivasi kimia dengan konsentrasi logam Fe juga menunjukkan korelasi linear yang negatif dimana hubungan antara massa arang aktif aktivasi kimia dengan konsentrasi logam Fe bertolak belakang. Jika massa arang aktif aktivasi kimia yang digunakan meningkat maka konsentrasi logam Fe akan menurun. Selanjutnya nilai koefisien korelasi (R) yang diperoleh yaitu 0,9829 artinya menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara arang aktif tanpa aktivasi dengan konsentrasi logam Fe.

Pengaruh Massa Arang Aktif Batang Eceng Gondok Terhadap Penurunan Logam Mn

Percobaan adsorpsi logam Mn dilakukan pada limbah air asam tambang dengan menggunakan dua jenis arang aktif yang berbahan dasar eceng gondok yaitu arang aktif tanpa aktivasi dan aktivasi kimia NaOH 2M. dengan perlakuan yang sama dan volume yang sama hasil adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 5.

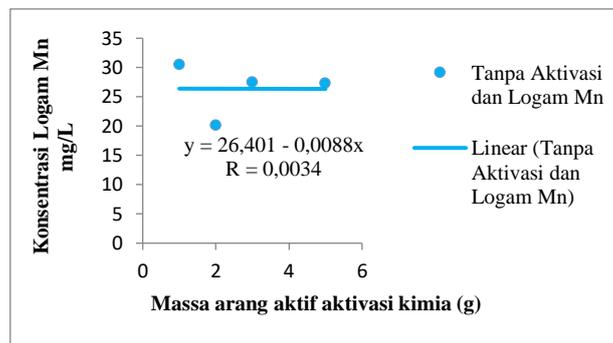
Tabel 5. Hasil uji adsorpsi logam mangan (Mn)

Jenis Arang Aktif	Konsentrasi awal Mn (mg/L)	Waktu kontak (menit)	Volume AAT (ml)	Massa Arang Aktif (g)	Konsentrasi Akhir Mn (mg/L)
Tanpa Aktivasi	31,516	60	250	1	30,488
				2	20,138
				3	27,551
				5	27,330
Aktivasi Kimia	31,516	60	250	1	24,433
				2	6,337

3	4,465
5	1,160

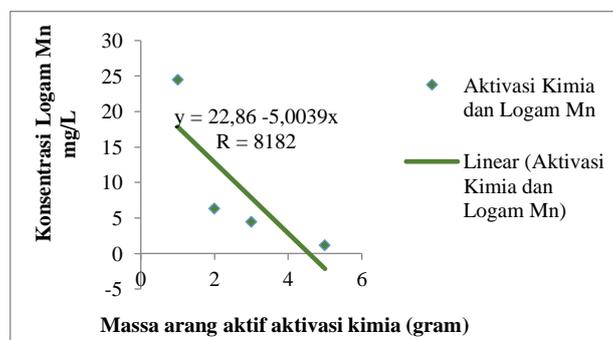
Berdasarkan Tabel 5 dapat disimpulkan bahwa pada penelitian dengan menggunakan massa arang aktif yang bervariasi memiliki tingkat adsorpsi yang berbeda. Penurunan kadar logam mangan (Mn) pada arang aktif tanpa aktivasi memiliki hasil penurunan yang kurang maksimal. Konsentrasi awal logam mangan (Mn) sebesar 31,516 mg/L pada massa 1 gram terjadi penurunan 30,488 mg/L, massa 2 gram penurunan mencapai 20,138 mg/L, lalu pada massa 3 dan 5 terjadi penurunan konsentrasi yaitu 27,551 mg/L dan 27,330 mg/L untuk menunjukkan hasil adsorpsi logam Mn tidak maksimal. Menurut Rojikhi (2011), Pengaruh massa adsorben terhadap efisiensi adsorpsi tidak selalu berbanding lurus hal ini disebabkan karena ketidakstabilan ikatan adsorben dengan ion logam sehingga sebagian kecil logam terlepas kembali, kedua dapat terjadi karena adanya interaksi antara adsorben sebagai akibat dari jumlah massa yang besar sehingga tidak hanya adsorbat yang dapat diserap melainkan terjadi penyerapan antara adsorben itu sendiri, ketiga dapat disebabkan karena terjadi kompetisi antar logam dalam memperebutkan dinding pori pada adsorben.

Arang aktif aktivasi kimia menunjukkan hasil penurunan yang signifikan dengan kenaikan massa. Konsentrasi awal logam Mn (31,516 mg/L) pada massa 1 gram turun hingga 24,433 mg/L, massa 2 gram 6,337 mg/L, massa 3 gram 4,465 mg/L dan massa 5 gram 1,160 mg/L. Hasil adsorpsi dari arang aktif aktivasi kimia NaOH 2M membuktikan dengan bertambahnya massa yang digunakan konsentrasi logam Mn semakin menurun hingga mencapai 1,160 mg/L. Hasil ini juga menunjukkan arang aktif aktivasi kimia NaOH 2M lebih memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi dibandingkan dengan arang aktif tanpa aktivasi.



Gambar 4. Analisis regresi pengaruh massa arang tanpa aktivasi terhadap logam Mn

Berdasarkan hasil dari Gambar 4 pada analisis regresi menunjukkan antara massa arang aktif batang eceng gondok tanpa aktivasi dengan konsentrasi logam Mn memiliki nilai korelasi linear yang negatif yang berarti semakin banyak massa arang aktif yang digunakan maka semakin turun nilai dari konsentrasi logam Mn yang terkandung dalam limbah air asam tambang. Kemudian nilai koefisien korelasi (R) yang diperoleh yaitu 0,0034 menunjukkan hubungan yang sangat lemah dari massa arang aktif eceng gondok tanpa aktivasi dengan konsentrasi logam Mn.



Gambar 5. Analisis regresi pengaruh massa arang aktivasi kimia terhadap logam Mn

Berdasarkan Gambar 5 mendeskripsikan pada analisis regresi antara massa arang aktif aktivasi kimia dengan konsentrasi logam Mn juga menunjukkan korelasi yang negatif dimana hubungan antara massa arang aktif aktivasi kimia dengan konsentrasi logam Mn bertolak belakang. Jika korelasi hubungan yang bertolak belakang maka jika massa arang aktif aktivasi kimia yang digunakan meningkat maka konsentrasi

logam Mn menurun. Selanjutnya nilai koefisien korelasi R yang diperoleh yaitu 0,8182 artinya menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara arang aktif aktivasi kimia dengan konsentrasi logam Mn.

KESIMPULAN

Massa arang aktif batang eceng gondok tanpa aktivasi berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi logam besi (Fe) hingga mencapai penurunan 0,1827 mg/L akan tetapi terhadap konsentrasi logam mangan (Mn) memiliki pengaruh yang lemah dari konsentrasi awal Mn 31,516 mg/L penurunan konsentrasi Mn hanya mencapai 20,138 mg/L dan tidak memenuhi standar mutu. Sedangkan arang aktif aktivasi kimia terhadap penurunan konsentrasi Fe dan Mn memiliki pengaruh yang signifikan dengan penambahan jumlah massa arang aktif konsentrasi logam Fe dan Mn juga menurun.

Perbedaan dua jenis arang aktif yang digunakan memiliki kemampuan adsorpsi yang berbeda. Perbedaan ini dipengaruhi karena adanya perlakuan aktivasi terhadap arang aktif yang mampu memperluas dan membuka pori-pori pada arang aktif sehingga dapat melakukan adsorpsi yang lebih banyak. Hasil adsorpsi menunjukkan arang aktif aktivasi kimia lebih baik dibandingkan dengan arang aktif tanpa aktivasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam penelitian ini. Terima kasih PT Anugerah Krida Utama dan kepada rekan-rekan yang dengan antusias berkontribusi dalam setiap tahap penelitian. Juga, ucapan terima kasih kepada mereka yang memberikan masukan berharga dan dukungan teknis. Semua ini tidak mungkin tercapai tanpa kerjasama dan kontribusi positif dari setiap individu yang terlibat. Terima kasih atas dedikasi dan upaya bersama dalam menjalankan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2004). Standar Nasional Indonesia Air dan air limbah- Bagian: Cara uji mangan (Mn) dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2009). Standar Nasional Indonesia Air dan air limbah- Bagian 4: Cara uji besi (Fe) secara Spektrofotometri Serapan Atom
- Fatimah, Is. 2014. Adsorpsi dan Katalisis Menggunakan Material Clay. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Gautama, Rudy Sayoga. 2019. Pembentukan Pengendalian dan Pengelolaan Air Asam Tambang. Bandung: ITB Press.
- Kementerian LHK. (2022). Peraturan Menteri LHK No. 5 Tahun 2022.
- Oktaviani, Tessa. 2016. Penggunaan Arang Eceng Gondok Sebagai Adsorben Terhadap Fe, Mn, dan pH pada Air Asam Tambang. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Teknik Lingkungan. Fakultas Teknik Universitas Mulawarman.
- Pemda Kalimantan Timur. (2011). PERDA Provinsi Kalimantan Timur 2011 PPA PPK.
- Rojikhi. 2011. 'Pemanfaatan Hasil Pirolisis Bulu Ayam Sebagai Adsorben ION Na Dan Fe Dalam Larutan Simulasi', Teknik Kimia. Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Siregar, Syofian. (2017). Statistika Terapan untuk Perguruan Tinggi. KENCANA. Jakarta. SNI 06-3730-1995, *Arang Aktif Teknis*, BSN.