

STUDI PENURUNAN KONSENTRASI AIR LIMBAH PENAMBANGAN BATUBARA PADA *SUMP PIT A2* DI PT. INDOMINING, SANGA-SANGA KUTAI KARTANEGARA

STUDY DECREASING OF COAL MINING WASTEWATER CONCENTRATION AT SUMP PIT A2 IN PT. INDOMINING, SANGA-SANGA, KUTAI KARTANEGARA

Henny Magdalena¹, Anysa Ariel Sitepu¹, Agus Winarno^{1*}

¹Department of Mining Engineering, Engineering Faculty, Mulawarman University
Jl. Sambaliung No. 9, Gunung Kelua, Samarinda, Indonesia

*email : corresponding a.winarno@ft.unmul.ac.id

(Received: 2023, 03, 28; Reviewed: 2024, 05, 14; Accepted: 2024, 05, 14)

Abstrak

Salah satu dampak negatif dari kegiatan penambangan batubara adalah timbulnya air limbah. Air yang di pompa dari tambang dianggap sebagai air limbah hasil penambangan karena air tersebut masih bercampur dengan partikel lumpur yang sangat halus dan terkadang belum sesuai dengan baku mutu air limbah batubara berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur. Oleh sebab itu perlu dilakukan penurunan konsentrasi khususnya pada penurunan besi (Fe) dan mangan (Mn) menggunakan koagulan Aluminium Sulfat $Al_2(SO_4)_3$, *Ferric Chloride* ($FeCl_3$) dan *Polly Aluminium Chloride*, (PAC) dalam skala laboratorium menggunakan *jar test* dengan variasi dosis 100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L dan 250 mg/L untuk mengetahui dosis optimum koagulan yang digunakan dan berapa efisiensi removal koagulan terhadap Fe dan Mn pada air limbah serta pH yang dihasilkan setelah penambahan koagulan Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis optimum yang diperoleh adalah 250 mg/L untuk koagulan $Al_2(SO_4)_3$ dan PAC, sedangkan dosis optimum untuk $FeCl_3$ adalah 100 mg/L. Efisiensi removal yang diperoleh untuk koagulan $Al_2(SO_4)_3$ adalah Fe (99,89%), Mn (31,60%), koagulan $FeCl_3$ Fe (60,65%), Mn (31,60%) dan koagulan PAC Fe (99,89%) Mn (27,88%). Berdasarkan hasil tersebut koagulan yang paling baik dalam penurunan konsentrasi Fe dan Mn pada air limbah batubara adalah $Al_2(SO_4)_3$, serta pH yang dihasilkan adalah (6,84).

Kata Kunci: limbah batubara, koagulan, *jar test*, Fe, Mn

Abstract

One of the negative impacts of coal mining is the discharging of wastewater. Water pumped from the mine is classified as mining wastewater because it contains fine mud particles and sometimes doesn't adhere to the quality standards for coal mine wastewater established by the Regional Regulation of East Kalimantan

Province. Therefore, it's important to decrease the concentration, especially in decreasing iron (Fe) and manganese (Mn) with coagulants such as Aluminum Sulphate $Al_2(SO_4)_3$, Ferric Chloride ($FeCl_3$), and Polly Aluminum Chloride (PAC) on a laboratory scale using jar tests with dose variations of 100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L, and 250 mg/L to determine the optimum dose of coagulant used and how many the efficacy of decrease on Fe and Mn levels in wastewater and resulting pH after the addition of coagulant. The results indicated that the optimum dose for $Al_2(SO_4)_3$ and PAC coagulants was 250 mg/L, and for $FeCl_3$ was 100 mg/L. The efficacy of decrease with $Al_2(SO_4)_3$ coagulants were Fe (99.89%), Mn (31.60%), $FeCl_3$ coagulant were Fe (60.65%), Mn (31.60%), and PAC coagulant were Fe (99.89%) Mn (27.88%). According to these results, $Al_2(SO_4)_3$ is the best coagulant in decreasing Fe and Mn in coal mine wastewater, and the consequences for pH are (6,84).

Keywords: coal wastewater, coagulant, jar test, Fe, Mn

1. PENDAHULUAN

Sistem tambang terbuka berpotensi menimbulkan kerusakan lingkungan, salah satunya adalah timbulnya air limbah yang berasal dari kegiatan penambangan batubara. Air limbah tersebut dapat menurunkan kualitas air permukaan jika dialirkan ke sungai akan berdampak terhadap masyarakat dan biota yang hidup di darat maupun di perairan.

Perairan umum dalam kondisi asam akan bersifat korosif dan banyak kandungan logam berat serta tingginya kadar sulfat yang berasal dari batuan sekitarnya yang mengakibatkan defisiensi oksigen di perairan serta makhluk hidup yang ada tidak dapat berkembang (Mamede dan Senanhati, 2023). Logam yang awalnya terkandung di dalam perut bumi ini tidak berbahaya, namun ketika kegiatan penambangan terjadi, logam berat tersebut ikut terangkat bersama batuan-batuan yang ditambang (Metboki dkk (2019)).

Pengolahan air limbah yang umum digunakan untuk memenuhi baku mutu adalah pengendapan padatan tersuspensi dengan cara penambahan koagulan untuk menurunkan nilai kandungan logam dan pengaturan pH yang dilakukan setelahnya. Koagulan yang umum digunakan adalah koagulan yang berbasis aluminium sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) dan berbasis besi, seperti *ferric chloride* ($FeCl_3$) koagulan tersebut sering digunakan karena memiliki rentang pH cukup besar (Puspitasari, 2014).

Pada saat ini ditemukan pula koagulan yang bisa digunakan dalam pengolahan air limbah, yaitu koagulan *polly aluminium chloride* (PAC). Koagulan PAC lebih mudah bereaksi dengan partikel-partikel di dalam air dibandingkan dengan $Al_2(SO_4)_3$ karena senyawa PAC tersebut memiliki derajat polimerisasi yang tinggi artinya senyawa dalam PAC memiliki massa molekul yang besar sehingga lebih mudah bereaksi dengan partikel yang terdapat di dalam air (Nur dkk, 2016).

Proses pengolahan air tersebut dilakukan dengan cara koagulasi-flokulasi menggunakan alat *jar test*. Pengadukan cepat menggunakan *jar test* dapat membuat koagulan terdispersi dengan baik dan merata dalam air sampel sehingga potensi terjadinya tumbukan antar partikel dengan koagulan berjalan dengan baik sehingga membentuk flok (Hasma dkk, 2023).

Koagulasi-flokulasi adalah salah satu cara dalam pengolahan air limbah untuk menghilangkan partikel yang ada di dalam air sehingga air tersebut dapat memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Penelitian ini akan dilakukan proses koagulasi-flokulasi pada sampel air limbah yang berasal dari pertambangan batubara. Air yang dipompa dari tambang dianggap sebagai air limbah hasil penambangan karena air tersebut masih bercampur dengan partikel lumpur yang sangat halus dan terkadang belum sesuai dengan baku mutu air limbah batubara berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur.

Aprilia (2014) melakukan penelitian pengolahan limbah pertambangan batubara dengan penambahan koagulan $Al_2(SO_4)_3$ dan PAC. Hasil penelitian diperoleh dosis optimum sebesar 200 mg/L dan koagulan PAC adalah yang paling baik dalam pengolahan air limbah batubara.

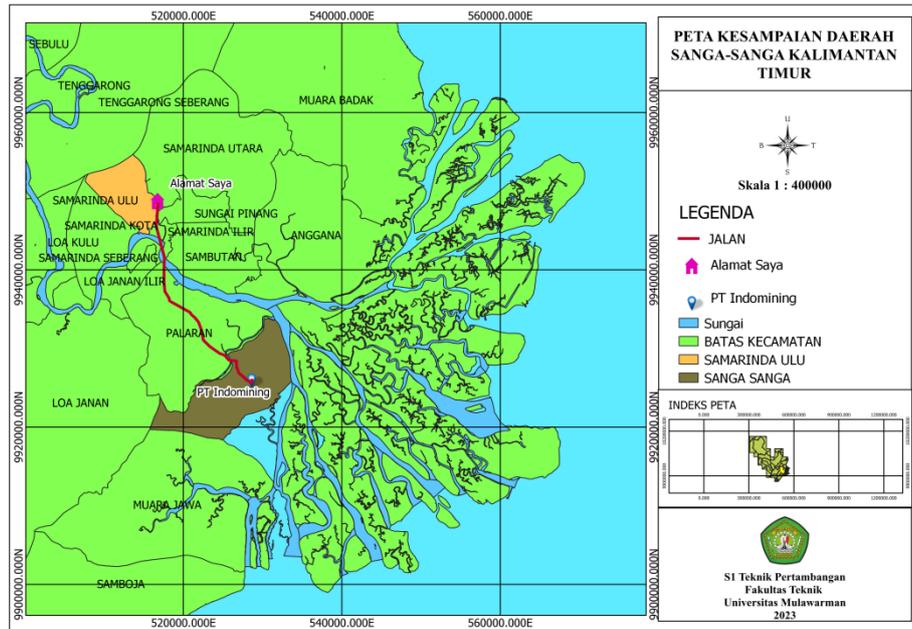
Wulan dkk (2010) melakukan penelitian pengolahan air limbah, yaitu dengan cara uji koagulasi air limbah batubara dengan alat *jar test* menggunakan koagulan $FeCl_3$, $Al_2(SO_4)_3$, PAC, dan *Nalco 8100*, hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa koagulan paling efektif dalam menurunkan kontaminan adalah *Nalco 8100*. Pada penelitian ini sampel air yang digunakan bukan berasal dari perusahaan tambang batubara, melainkan membuat model air limbah dalam skala laboratorium.

Penelitian ini melakukan metode *jar test* untuk membandingkan beberapa koagulan yang akan digunakan, yaitu $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, PAC dengan menggunakan sampel air yang berasal dari *sump pit* A2 PT. Indominig dengan harapan untuk mendapatkan dosis optimum koagulan yang

digunakan, pH yang dihasilkan setelah penambahan koagulan, efisiensi *removal* koagulan yang diperoleh khususnya terhadap logam berat besi (Fe) dan mangan (Mn) serta menentukan koagulan yang paling baik dalam penurunan konsentrasi Fe dan Mn.

1.1 Lokasi Penelitian

Lokasi pengambilan sampel dilakukan di PT. Indomining, Sangasanga Kutai Kartanegara. Lokasi PT. Indomining secara administrasi terletak di Sangasanga Dalam, Kecamatan Sangasanga, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur, untuk mencapai lokasi PT. Indomining dapat melalui rute perjalanan darat Samarinda menuju Sangasanga dapat ditempuh menggunakan kendaraan roda empat dengan total jarak ± 31.6 km dan waktu tempuh ± 50 menit.



Gambar 1. Peta Kesampaian Daerah

2. METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan adalah metode *jar test* dalam skala laboratorium yang bertujuan untuk mengetahui dosis optimum koagulan. Proses *jar test* dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Mulawarman dengan bahan-bahan yang digunakan adalah air limbah yang berasal dari *sump pit*, koagulan ($Al_2(SO_4)_3$), ($FeCl_3$) (PAC) dan kapur ($CaCO_3$).

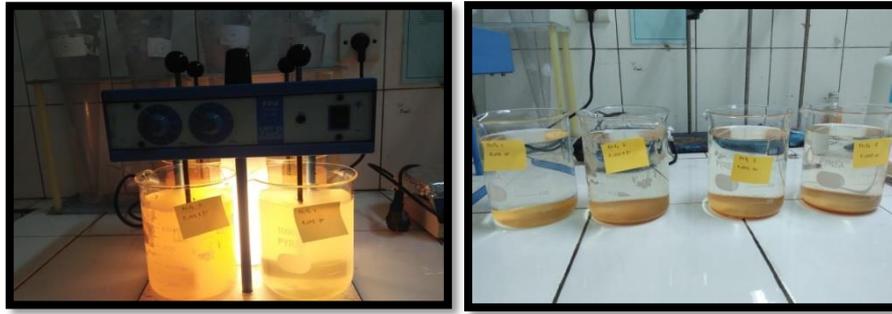
2.1 Penetralan Air Limbah

Air limbah yang dicampurkan dengan koagulan akan melalui tahap pendahuluan, yaitu proses penetralan air limbah dengan menggunakan Kapur ($CaCO_3$) tujuannya untuk menghasilkan nilai pH yang sesuai dengan baku mutu. Langkah penetralan air limbah, yaitu dengan cara menimbang kapur ($CaCO_3$) yang telah dihaluskan sebanyak 10 gram, menambahkan kapur ($CaCO_3$) 10 gram pada 1 liter sampel air, dilakukan pengadukan selama 30 menit untuk setiap limbah yang baru dan ukur nilai pH-nya. Kemudian limbah yang sudah diolah pada bagian ini dialirkan ke bak berikutnya untuk diolah dengan koagulan (Metboki dkk, 2018).

2.2 Percobaan Koagulasi Dengan *Jar Test*

Jar test dilakukan sesuai dengan SNI 19-6449-2000, dengan cara menyiapkan air limbah yang digunakan sebanyak 1 liter sampel air, lalu tambahkan variasi dosis koagulan yang digunakan, yaitu 100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L dan 250 mg/L ke dalam 1 liter sampel air tersebut, lalu melakukan pengadukan cepat dengan kecepatan 100 rpm selama 1 menit, 40 rpm selama 8 menit, dilanjutkan dengan melakukan pengadukan lambat dengan kecepatan 20 rpm selama 1 menit,

angkat air limbah dari alat *jar test* dan mendingkannya selama 60 menit untuk membiarkan flok mengendap, selanjutnya melakukan pengukuran pH, Fe dan Mn.



(A)

(B)

Gambar 2. Pengadukan cepat *jar test* (A) dan Flok mengendap pada sampel

2.3 Analisis Data

Analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif dimana data disajikan dalam bentuk tabel dan divisualisasikan dengan grafik, yaitu grafik pengaruh koagulan terhadap pH, grafik pengaruh koagulan terhadap Fe dan grafik pengaruh koagulan terhadap Mn. Penentuan dosis optimum koagulan dapat dilihat dari hasil pengolahan dengan alat *jar test* selain itu dapat dilihat dari efisiensi removal masing-masing koagulan yang digunakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Konsentrasi Awal Sampel

Air limbah yang digunakan berasal dari *sump pit* A2 PT. Indominig. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara menggunakan wadah ukuran 5 liter. Pada saat sampel diambil dilakukan pengukuran awal pH secara langsung di lapangan, setelah itu sampel dibawa ke laboratorium Kualitas Air Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan untuk mendapatkan nilai konsentrasi awal sampel air limbah. Hasil uji pendahuluan ini dibandingkan dengan baku mutu air limbah kegiatan pertambangan berdasarkan Perda Kaltim No. 02 Tahun 2011.

Tabel 1. Hasil uji pendahuluan

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil	Metode
pH		6 - 9	2,87	SNI 6989.112019
Fe	mg/L	7	2,877	SNI 6989.4-2009
Mn	mg/L	4	6,484	SNI 6989.5-2009

Konsentrasi awal pada pH dan Mn belum sesuai dengan baku mutu, maka perlu dilakukan pengolahan untuk menurunkan konsentrasi Mn dan menetralkan pH pada sampel air limbah, sedangkan untuk konsentrasi awal Fe sudah berada di bawah baku mutu, untuk parameter Fe tetap diuji konsentrasinya untuk mengetahui pengaruh koagulan yang ditambahkan ke dalam air limbah.

3.2 Pengolahan pH Pada Sampel

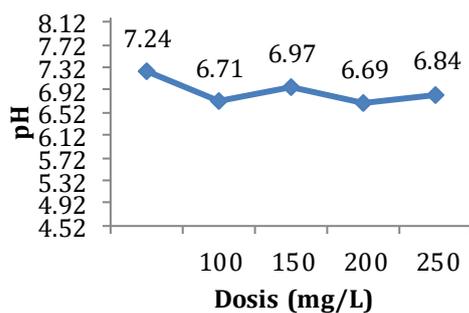
Air limbah yang telah dicampurkan dengan Kapur (CaCO_3), selanjutnya ditambahkan koagulan dengan menggunakan beberapa variasi dosis, yaitu 100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L dan 250 mg/L.

Tabel 2. Nilai pH pada sampel

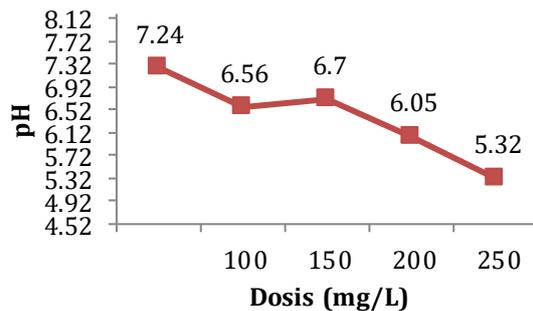
No.	Koagulan	pH sebelum ditambahkan CaCO ₃	pH setelah ditambahkan CaCO ₃ (10gr)	Dosis Koagulan (mg/L)	pH Akhir
1.	Al ₂ (SO ₄) ₃	2,87	7,24	100	6,71
				150	6,97
				200	6,69
				250	6,84
2.	FeCl ₃	2,87	7,24	100	6,56
				150	6,70
				200	6,05
				250	5,32
3.	PAC	2,87	7,24	100	6,62
				150	6,59
				200	6,69
				250	6,68

Sampel air ketika dicampurkan dengan koagulan Al₂(SO₄)₃ pada Grafik 1(A) mengalami perubahan pH yang tidak stabil, pada umumnya penggunaan koagulan akan menurunkan konsentrasi pH karena koagulan digunakan memiliki kandungan yang bersifat asam, artinya semakin besar dosis koagulan yang ditambahkan maka akan semakin besar penurunan pH, tetapi pada pengukuran pH yang dilakukan, diperoleh data pH yang tidak sesuai hal ini dapat disebabkan karena adanya faktor kesalahan dalam pengukuran, pada Grafik 1(B) pH yang dihasilkan setelah perlakuan dengan koagulan FeCl₃ mengalami penurunan yang cukup signifikan pada dosis 150 mg/L sampai 250 mg/L.

Koagulan FeCl₃ bekerja berdasarkan sifat kelarutannya di dalam air untuk mendestabilisasi partikel koloid pada air limbah batubara, dimana penurunan pH dengan menggunakan koagulan FeCl₃ cukup besar (Wulan dkk, 2010).



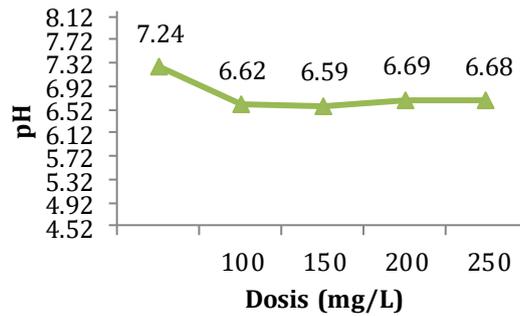
(A)



(B)

Grafik 1. Koagulan Al₂(SO₄)₃ terhadap pH (A) dan Koagulan FeCl₃ terhadap pH (B)

Aprilia (2014) menyatakan bahwa koagulan PAC memiliki sifat asam dimana ikatan polimer dalam PAC bereaksi dengan ion hidroksida dalam air limbah, tetapi jika dilihat pada Grafik 2 pH yang dihasilkan cenderung tidak stabil sama halnya dengan penambahan koagulan Al₂(SO₄)₃, hal ini dapat terjadi karena adanya faktor kesalahan dalam melakukan pengukuran pH.



Grafik 2. Koagulan PAC terhadap pH

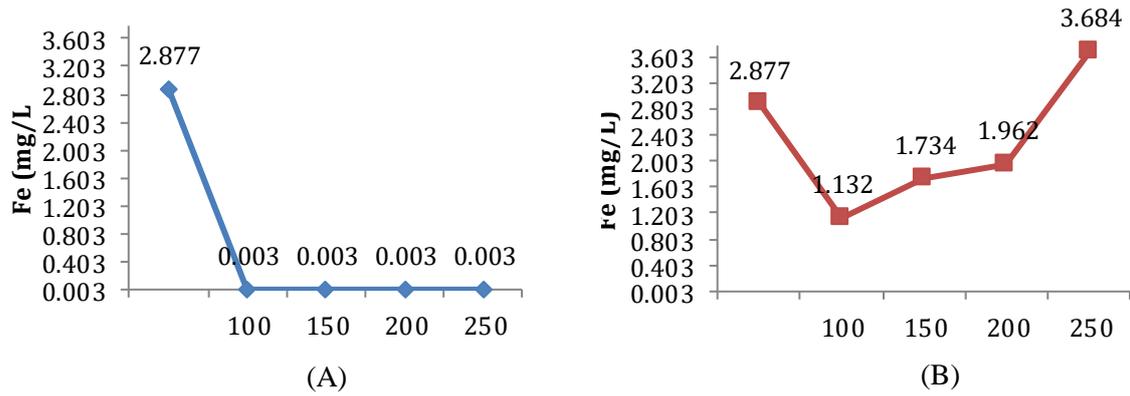
3.3 Pengolahan Konsentrasi Fe Dalam Sampel

Pengolahan konsentrasi Fe dilakukan dengan menggunakan variasi dosis koagulan, yaitu 100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L, 250 mg/L.

Tabel 3. Konsentrasi Fe sebelum dan sesudah ditambahkan koagulan

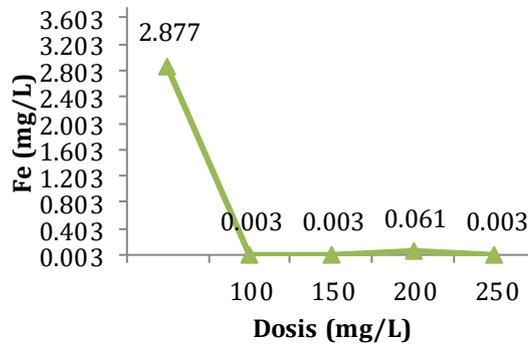
No.	Koagulan	Dosis (mg/L)	Fe Awal (mg/L)	Fe Akhir (mg/L)
1.	Al ₂ (SO ₄) ₃	100	2,877	<0,003
		150	2,877	<0,003
		200	2,877	<0,003
		250	2,877	<0,003
2.	FeCl ₃	100	2,877	1,132
		150	2,877	1,734
		200	2,877	1,962
		250	2,877	3,684
3.	PAC	100	2,877	<0,003
		150	2,877	<0,003
		200	2,877	0,061
		250	2,877	<0,003

Konsentrasi awal parameter Fe sudah berada pada *range* baku mutu, tetapi parameter Fe tetap diuji konsentrasinya untuk mengetahui pengaruh koagulan yang ditambahkan ke dalam air limbah. Hasil pengujian pada Tabel 3 terlihat bahwa koagulan yang digunakan dalam penelitian ini mampu menurunkan konsentrasi Fe pada sampel air. Grafik 3(A) terlihat bahwa koagulan Al₂(SO₄)₃ pada dosis 100 mg/L sampai 250 mg/L dapat menurunkan konsentrasi Fe dari 2,877 mg/L menjadi <0,003 mg/L, pada Grafik 3(B) koagulan FeCl₃ juga dapat menurunkan konsentrasi awal Fe, tetapi pada dosis 250 mg/L konsentrasi Fe mengalami kenaikan yang cukup tinggi hal ini disebabkan karena kelebihan dosis yang dapat menyebabkan kation logam Fe dari koagulan membentuk padatan terlarut bukan partikel flok. Berdasarkan hasil yang diperoleh dosis optimum koagulan FeCl₃ adalah 100 mg/L.



Grafik 3. Koagulan Al₂(SO₄)₃ terhadap Fe (A) dan Koagulan FeCl₃ terhadap Fe (B)

Konsentrasi Fe dalam sampel air terjadi penurunan pada Grafik 4 ketika ditambahkan koagulan PAC dengan dosis yang berbeda disebabkan oleh gugus aktif aluminat bekerja efektif dalam mengikat koloid sehingga dapat membentuk gumpalan flok yang lebih besar.



Grafik 4. Koagulan PAC terhadap Fe

3.4 Pengolahan Konsentrasi Mn Dalam Sampel

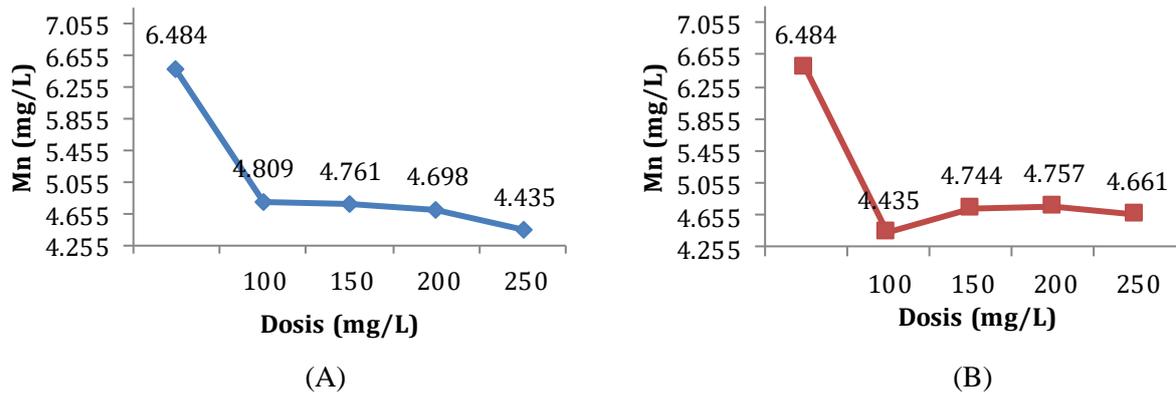
Pengolahan konsentrasi Mn dilakukan dengan menambahkan variasi dosis koagulan, yaitu 100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L, 250 mg/L pada sampel air limbah.

Tabel 4. Konsentrasi Mn sebelum dan sesudah ditambahkan koagulan

No	Koagulan	Dosis (mg/L)	Mn Awal (mg/L)	Mn Akhir (mg/L)
1.	Al ₂ (SO ₄) ₃	100	6,484	4,809
		150	6,484	4,761
		200	6,484	4,698
		250	6,484	4,435
2.	FeCl ₃	100	6,484	4,435
		150	6,484	4,744
		200	6,484	4,757
		250	6,484	4,661
3.	PAC	100	6,484	4,860
		150	6,484	4,725
		200	6,484	4,724
		250	6,484	4,676

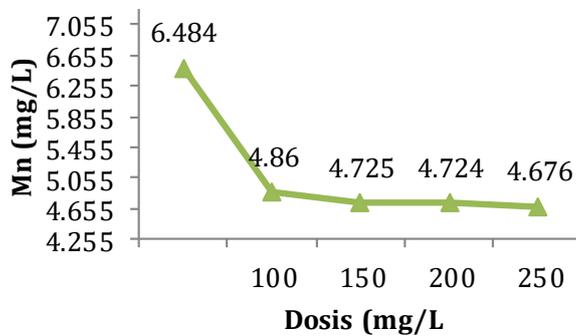
Konsentrasi awal Mn pada Tabel 4 melebihi *range* baku mutu, maka perlu dilakukan pengolahan dengan menggunakan koagulan untuk menurunkan konsentrasi Mn. Konsentrasi awal Mn pada

sampel adalah 6,484 mg/L, ketika diberi perlakuan menggunakan koagulan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dengan dosis yang berbeda terlihat terjadinya penurunan konsentrasi Mn pada Grafik 5(A). Hasil akhir yang diperoleh pada dosis 250 mg/L dapat menurunkan konsentrasi Mn dari 6,484 mg/L menjadi 4,435 mg/L mendekati angka *range* baku mutu berdasarkan Perda Provinsi Kalimantan Timur. Grafik 5(B) terjadi penurunan konsentrasi Mn awal ketika ditambahkan koagulan FeCl_3 dengan dosis 100 mg/L. Konsentrasi Mn awal 6,484 mg/L turun menjadi 4,435 mg/L hasil akhir ini mendekati *range* baku mutu, tetapi penambahan koagulan pada dosis 150 mg/L sampai 250 mg/L terjadinya peningkatan, hal ini terjadi karena kelebihan dosis yang menyebabkan kation logam Mn membentuk padatan terlarut.



Grafik 5. Koagulan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ terhadap Mn (A) dan Koagulan FeCl_3 terhadap Mn (B)

Koagulan PAC pada Grafik 6 mampu menurunkan konsentrasi Mn hingga mendekati angka baku mutu. Hasil yang diperoleh pada dosis 250 mg/L mampu menurunkan konsentrasi Mn awal 6,484 mg/L menjadi 4,676 mg/L. Tidak berbeda dengan koagulan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, PAC juga memiliki kemampuan membentuk flok lebih cepat dibandingkan dengan koagulan FeCl_3 .



Grafik 6. Koagulan PAC terhadap Mn

3.5 Efisiensi *Removal* Koagulan

Pengujian yang telah dilakukan di laboratorium dengan penambahan koagulan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , PAC ke dalam sampel air selanjutnya melakukan perhitungan persentase *removal* terhadap konsentrasi Fe dan Mn.

Tabel 5. Efisiensi *removal* koagulan

Koagulan	Dosis	Parameter	
		Fe (%)	Mn (%)
Al ₂ (SO ₄) ₃	100	99,89%	25,83%
	150	99,89%	26,57%
	200	99,89%	27,54%
	250	99,89%	31,60%
FeCl ₃	100	60,65%	31,60%
	150	39,72%	26,83%
	200	31,80%	26,63%
	250	-28,05%	28,11%
PAC	100	99,89%	25,04%
	150	99,89%	27,12%
	200	97,87%	25,14%
	250	99,89%	27,88%

Dosis optimum untuk koagulan Al₂(SO₄)₃ dan PAC yang digunakan adalah 250 mg/L, sedangkan untuk koagulan FeCl₃ adalah 100 mg/L dosis tersebut diperoleh pada saat melakukan pengujian di laboratorium dengan menggunakan alat *jar test*. Efisiensi penurunan Fe pada koagulan Al₂(SO₄)₃ sebesar 99,89% dan Mn sebesar 31,60%. Pada koagulan FeCl₃ efisiensi penurunan Fe sebesar 60,65% dan Mn 31,60% dan untuk penggunaan koagulan PAC efisiensi penurunan Fe sebesar 99,89%, Mn sebesar 27,88%. Koagulan yang digunakan berpengaruh terhadap penurunan kandungan Fe dan Mn, artinya kualitas sampel air yang telah diberi perlakuan dengan koagulan bekerja dengan baik dibandingkan dengan konsentrasi awal sampel sebelum diberi perlakuan, maka dapat dikatakan bahwa koagulan Al₂(SO₄)₃, FeCl₃ dan PAC mampu menghilangkan konsentrasi besi dan mangan hingga mendekati pada range baku mutu.

4. KESIMPULAN

Dosis optimum dari penggunaan koagulan Al₂(SO₄)₃ dan PAC dalam pengolahan air limbah batubara adalah 250 mg/L, sedangkan untuk FeCl₃ adalah 100 mg/L dengan hasil yang diperoleh pada koagulan Al₂(SO₄)₃ adalah Fe (<0,003 mg/L), Mn (4,435 mg/L), pH (6,84), koagulan FeCl₃ Fe (1,132 mg/L), Mn (4,435 mg/L), pH (6,56) dan PAC adalah Fe (<0,003 mg/L), Mn (4,676 mg/L), pH (6,68). Efisiensi penurunan pada koagulan Al₂(SO₄)₃ Fe (99,89%), Mn (31,60%), pada koagulan FeCl₃ Fe (60,65%), Mn (31,60%) dan pada koagulan PAC Fe (99,89%) Mn (27,88%). Berdasarkan hasil tersebut koagulan yang paling baik adalah Aluminium Sulfat (Al₂(SO₄)₃).

DAFTAR PUSTAKA

- Aprilia, S. (2014). Pengaruh Koagulan Aluminium Sulfat Poly Alumunium Chloride (PAC) dan Serbuk Biji Asam Jawa (*Tamarindus Indica*) Dalam Pengolahan Air Limbah Batu Bara. Universitas Mulawarman.
- Badan Standardisasi Nasional. (2009a). Standar Nasional Indonesia - Air dan Air Limbah - Bagian 5: Cara Uji Mangan (Mn) Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) - Nyala. <https://doi.org/SNI 6989.5:2009>
- Badan Standardisasi Nasional. (2009b). Standar Nasional Indonesia - Air dan Air limbah – Bagian 4: Cara Uji Besi (Fe) Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – nyala.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Standar Nasional Indonesia - Air dan Air Limbah – Bagian 11: Cara Uji Derajat Keasaman (pH) dengan Menggunakan pH Meter.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). Standar Nasional Indonesia - Metode Pengujian Koagulasi-Flokulasi dengan Cara Jar.

- Hasma, N. Y., Ruslan, M., Indrayatie, E. R., Fauzana, N. A., & Saputra, A. (2023). Analisis Penurunan Kadar Logam Besi (Fe) & Mangan (Ma) Dengan Penggunaan Koagulan Terhadap Air Tambang Batubara PT. Adaro Indonesia. *Enviro Sciencetea*, 19(1), 193–203.
- Mamede, M., & Senanhati. (2023). Analisis Air Asam Tambang Untuk Mengurangi Kadar Sulfur. *Cokroaminoto Journal of Chemical Science*, 5(1), 15–19.
- Metboki, M., Ernawati, R., & Pertambangan, J. T. (2019). Analisis Kandungan Logam Berat Pada Tailing Pencucian Mangan PT . Anugerah Nusantara Sejahtera Di Kabupaten. 2019(November), 54–58.
- Metboki, M., Kedua, P., & Lake, Y. (2018). Analisis Masa Pakai Kapur (CaCO_3) dan Zeolit Alam Sebagai Bahan Penetral Air Asam dan Penyerap Kadar Logam Fe pada Kolam Pengendapan (Settling Pond) PT . SAG KSO PT . Semen Kupang. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi XIII*, November, 117–123. <https://doi.org/ISSN 1907-5995>
- Ningsih, S., & Harmawan, T. (2022). Pengaruh Penambahan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ Terhadap Derajat Keasaman Air Baku pada Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Keumueneng Langsa. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 4(1), 20–23. <https://doi.org/10.33059/jq.v4i1.4317>
- Nur, A., Anugrah, R., & Farnas, Z. (2016). Efektivitas Dan Efisiensi Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC) Terhadap Performance IPA KTK PDAM Solok. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Lingkungan II*, 128–131.
- Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur Nomor 02 Tahun 2011 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, (2011).
- Puspitasari, M. (2014). Efektifitas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dan FeCl_3 Dalam Pengolahan Air Menggunakan Gravel Bed Flocculator Ditinjau Dari Paramater Kekeruhan dan Total Coli. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Wulan, P. P., Dianursanti, Gozan, M., & Nugroho, W. A. (2010). Optimasi Penggunaan Koagulan pada Pengolahan Air Limbah Batu Bara. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”*, *Jurnal Teknik Kimia Universitas Indonesia*, F06-1-F06-5. <https://doi.org/ISSN 1693 – 4393>