

## PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PADA *COAL STOCKPILE* DENGAN METODE KOAGULASI

Aysa Izzah Charissa Isuluqi<sup>1</sup>, Khalimatus Sa'diyah<sup>1</sup>, Erry Nabil<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

<sup>2</sup>PT YTL Jawa Timur Jl. Raya Surabaya-Situbondo No.Km. 141, Dusun Krajan, Sumberanyar, Kec.

Paiton, 67291, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur, Indonesia

[aysaizzah2103@gmail.com](mailto:aysaizzah2103@gmail.com); [[khalimatus.s@polinema.ac.id](mailto:khalimatus.s@polinema.ac.id)]

### ABSTRAK

*Coal stockpile* merupakan tempat penimbunan batu bara sementara sebelum digunakan sebagai bahan bakar. Limbah cair yang berasal dari *coal stockpile* mengandung padatan tersuspensi dengan kadar tinggi serta zat kimia yang berpotensi menjadi beban tambahan pada instalasi pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan, terutama saat volume air meningkat dengan padatan tersuspensi yang tinggi selama curah hujan tinggi. Metode untuk mengatasi padatan tersuspensi tinggi pada limbah cair salah satunya dengan proses kimia yaitu koagulasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan metode koagulasi pada pengolahan limbah cair dari *coal stockpile* terhadap parameter TSS dan kekeruhan. Metode koagulasi dilakukan pada skala laboratorium menggunakan simulator *coal retention basin* (alat simulasi tempat penampungan aliran limbah cair dari *coal stockpile*) dengan variabel yang digunakan *flow rate influent* (200 m<sup>3</sup>/jam dan 500 m<sup>3</sup>/jam), penggunaan *baffle* (4 dan 5), serta penambahan dosis PAC (20 ppm dan 30 ppm). Pada penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil parameter TSS dan kekeruhan yang telah memenuhi baku mutu berdasarkan keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Limbah Cair Kegiatan Pertambangan Batu Bara. Hasil penelitian menunjukkan penurunan kontaminan terbaik saat nilai TSS 120 mg/L dengan persentase penurunan 98,5% dan nilai kekeruhan 130 NTU dengan persentase penurunan 98,6%. Hasil penelitian tersebut didapatkan pada penerapan variabel *flow rate influent* 200 m<sup>3</sup>/jam, penggunaan 5 *baffle* dan penambahan dosis PAC 30 ppm.

**Kata kunci:** *coal stockpile*, koagulasi, limbah cair, retention basin

### ABSTRACT

*Coal stockpile* is a place where coal is temporarily stored before being used as fuel. Liquid waste from *coal stockpiles* contains high levels of suspended solids and chemicals that have the potential to become an additional burden on treatment plants before being discharged into the environment, especially when water volumes increase with high suspended solids during high rainfall. One method to overcome high suspended solids in wastewater is the chemical process of coagulation. This study aims to analyze the effect of applying the coagulation method to the treatment of liquid waste from the *coal stockpile* on TSS and turbidity parameters. The coagulation method is carried out on a laboratory scale using a retention basin simulator (simulation tool for collecting liquid waste streams from *coal stockpiles*) with variables used influent flowrate (200 m<sup>3</sup> / h and 500 m<sup>3</sup> / h), the use of *baffles* (4 and 5), and the addition of PAC doses (20 ppm and 30 ppm). In the research that has been carried out, the results obtained for TSS and turbidity parameters have met the quality standards based on the decision of the Minister of Environment No. 113 of 2003 concerning Quality Standards for Liquid Waste for Coal Mining Activities. The results showed the best contaminant reduction when the TSS value was 120 mg/L with a percentage reduction of 98.5% and a turbidity value of 130 NTU with a percentage reduction of 98.6%. The results were obtained in the application of influent flowrate variables of 200 m<sup>3</sup>/hour, the use of 5 *baffles* and the addition of a dose of PAC 30 ppm.



**Keywords:** *coal stockpile, coagulation, liquid waste, retention basin*

## 1. PENDAHULUAN

Pada industri pembangkit listrik yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar, manajemen air limbah dari *coal stockpile* merupakan aspek penting yang memerlukan penanganan teknis yang cermat. *Coal stockpile* merupakan tempat penyimpanan sementara batubara setelah mengalami proses pengangkutan yang panjang dari tempat distribusi ataupun tempat penggalian material pada industri pertambangan [1]. Penggunaan *coal stockpile* tentunya menghasilkan beberapa jenis limbah, salah satu diantaranya yaitu limbah cair. Limbah cair yang berasal dari *coal stockpile* secara signifikan dipengaruhi oleh volume limpasan air hujan yang meningkat saat terjadi curah hujan yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh aliran air hujan yang mengalir di permukaan *coal stockpile* dapat membawa berbagai zat kimia dan material terlarut, yang berpotensi mencemari lingkungan sekitarnya [2]. Limbah cair tersebut jatuh pada saluran air yang terletak dibawah *coal stockpile* dan kemudian mengalir pada satu tempat penampungan bernama *coal retention basin*. Limbah cair tersebut mengandung berbagai komponen seperti padatan tersuspensi tinggi, senyawa organik, dan senyawa mineral dari batubara serta memiliki tingkat kekeruhan dan intensitas warna yang tinggi, yaitu cenderung berwarna hitam kecoklatan [3]. Padatan tersuspensi yang berasal dari *run-off coal stockpile* berada pada kadar diatas 2000 mg/liter bahkan mencapai 10.000 mg/liter [4]. Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah untuk Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Batu Bara, terdapat batasan kadar maksimum padatan tersuspensi dalam air limbah pengolahan batu bara yakni sebesar 200 mg/liter [5].

Metode yang umum digunakan dalam pengolahan limbah cair yang mengandung padatan tersuspensi tinggi adalah proses koagulasi secara kimiawi [6]. Penggunaan metode koagulasi dalam pengolahan limbah cair dari *coal stockpile* di pembangkit listrik adalah salah satu cara untuk mengatasi pengurangan berbagai kontaminan pada padatan tersuspensi dalam air limbah batubara. Koagulasi merupakan teknologi pengolahan yang efektif untuk menghilangkan senyawa organik maupun anorganik yang tersuspensi dalam larutan dan tidak dapat disisihkan dengan proses fisik konvensional. Proses ini diperlukan untuk mengendapkan bahan-bahan yang membentuk suspensi atau koloid dalam air limbah. Partikel koloid memiliki ukuran sangat kecil, yaitu antara 1 nm sampai 0,1 mm, sehingga tidak dapat mengendap secara gravitasi. Proses penggumpalan (aglomerasi) partikel ke dalam kelompok-kelompok yang lebih besar diperlukan untuk meningkatkan ukuran partikel dan mempercepat pengendapan. Namun, sifat stabil dari partikel koloid yang sangat kecil tersebut sering kali mencegah terjadinya aglomerasi. Proses koagulasi tidak hanya meningkatkan efisiensi pengendapan padatan, tetapi juga secara signifikan mengurangi konsentrasi senyawa-senyawa terlarut yang dapat berpotensi berbahaya bagi lingkungan.

Dalam proses koagulasi pada pengolahan limbah cair diperlukan penggunaan bahan kimia yang disebut koagulan [7]. Penambahan bahan kimia koagulan harus dilakukan untuk menunjang terjadinya destabilisasi koloid dalam reaksi koagulasi. Terdapat beberapa macam koagulan yang sering digunakan dalam proses penjernihan air, pada penelitian ini digunakan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) karena mempunyai beberapa keuntungan yaitu korosivitas yang dihasilkan rendah, hasil pembentukan flok yang lebih mudah untuk

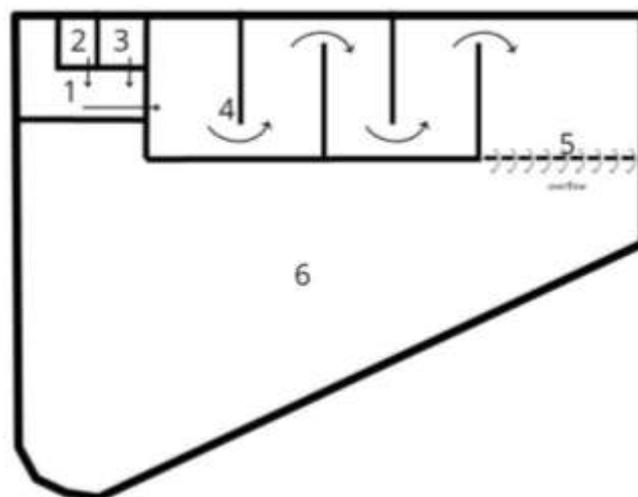
dipisahkan, dan pH air hasil pengolahan yang tidak terlalu rendah. Koagulan seperti PAC juga dimanfaatkan untuk menguraikan larutan yang keruh dan menggumpalkan partikel, sehingga memungkinkan untuk memisah dari medium larutannya [8]. Penggunaan PAC membantu menetralsisir muatan listrik pada partikel halus dalam air limbah, memungkinkan pembentukan gumpalan yang lebih besar yang dapat diendapkan dengan efektif. PAC umumnya lebih efektif dalam mengurangi kekeruhan dan meningkatkan efisiensi pengendapan dibandingkan dengan koagulan lain seperti aluminium sulfat, berkat struktur kimianya yang kompleks dan efisiensi koagulasi yang tinggi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini akan mengolah limbah cair pada *coal stockpile* di salah satu pembangkit listrik di Jawa Timur menggunakan metode koagulasi dengan koagulan PAC. Variasi yang akan dilakukan meliputi penambahan *flow rate influent*, penggunaan *baffle*, dan dosis PAC untuk mengkaji pengaruhnya terhadap parameter TSS dan turbiditas limbah cair *coal stockpile*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh penerapan metode koagulasi pada pengolahan limbah cair dari *coal stockpile* terhadap parameter TSS dan kekeruhan.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi eksperimental diterapkan untuk mengetahui efektivitas metode koagulasi dalam pengolahan limbah cair dari *coal stockpile*. Metode Koagulasi yang digunakan dalam penelitian ini memanfaatkan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) sebagai koagulan utama. *Polymer* juga digunakan pada penelitian ini sebagai tambahan dari koagulan yang bertujuan untuk meningkatkan efektifitas flokulasi, yang mengarah pada pembentukan flok yang lebih besar dan mudah terendapkan. Pengujian dilakukan menggunakan alat simulator *coal retention basin* yang dilengkapi dengan *baffle* internal. *Baffle* tersebut dirancang untuk memaksimalkan kontak antara flok dan air limbah serta memperlambat aliran air, sehingga memperpanjang waktu tinggal partikel dalam basin dan meningkatkan efisiensi proses pengendapan.

### 2.1. Alat dan Bahan



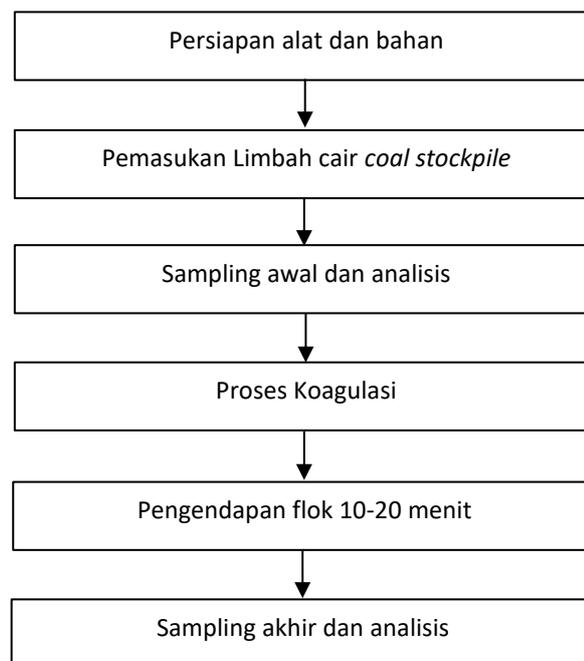
Keterangan:

1. *Inlet influent*
2. *Inlet koagulan*
3. *Inlet Polymer*
4. *Baffle*
5. *Overflow weir*
6. *Primari sedimentation zone*

**Gambar 1.** Simulator *coal retention basin*

Pada sistem pengolahan limbah cair pada *coal stockpile*, terdapat beberapa komponen utama yang penting untuk memastikan efisiensi proses. Pertama, *inlet influent* mengatur aliran masuk air limbah ke dalam sistem. Di samping itu, ada *inlet* khusus untuk koagulan *Poly Aluminium Chloride (PAC)* dan *Polymer*, yang berperan dalam proses pengendapan dan pemisahan partikel. *Baffle* atau dinding pembatas digunakan untuk mengarahkan aliran secara efisien, memperlambat aliran agar partikel tersuspensi dapat mengendap dengan baik. *Overflow weir* ditempatkan untuk mengatur tinggi air dan mencegah banjir serta kelebihan kapasitas dengan mengalirkan air yang melebihi batas ke bagian selanjutnya dalam sistem. Sedangkan zona sedimentasi utama berfungsi sebagai area utama untuk proses pengendapan partikel padat dari air limbah, di mana partikel berat akan mengendap ke dasar *basin*. Penelitian ini menggunakan alat simulator *coal retention basin*, neraca analitik, turbidimeter, *vacuum filter* dengan kertas 0,45  $\mu\text{m}$ , oven, dan desicator. Bahan utama yang dipakai adalah sampel limbah cair pada *coal stockpile*, koagulan *Poly Aluminium Chloride (PAC)*, *Polymer*, dan air demineralisasi.

## 2.2. Koagulasi Limbah Cair



**Gambar 2.** Skema kerja proses koagulasi

Pada Gambar 2 sampel limbah cair *coal stockpile* diambil dari *coal retention basin* sebagai sampel utama menggunakan metode sampel sesaat (*grab sample*). Selanjutnya, dilakukan analisis/uji parameter seperti *Total Suspended Solids (TSS)* dan kekeruhan sebelum dimulainya proses pengolahan. Sample limbah cair *coal stockpile* yang telah diambil dituang ke dalam tangki air berkapasitas 60 liter dan dilakukan pengadukan secara manual agar homogen. Kemudian untuk pembuatan larutan koagulan, yakni dengan cara mengukur koagulan sesuai dengan perhitungan variasi 20 ppm dan 30 ppm dan melarutkan dalam air demineralisasi. *Polymer* disiapkan pada dosis 2 ppm. Setelah semua bahan siap digunakan, dilakukan penyetelan pompa untuk *flow rate influent* 200  $\text{m}^3/\text{jam}$  dan 500  $\text{m}^3/\text{jam}$ . Penyetelan dilakukan secara manual menggunakan gelas ukur dan stopwatch.

Simulator *coal retention basin* disiapkan sesuai variasi yang digunakan antara 4 *baffle* dan 5 *baffle*. Penelitian ini dilakukan dilakukan secara *batch* dengan sample limbah cair yang dimasukkan ke dalam simulator *coal retention basin* yang telah diadaptasi sesuai dengan kondisi eksperimen. Proses koagulasi diulang sebanyak delapan kali disesuaikan dengan variabel bebas yaitu, dosis *Poly Aluminium Chloride (PAC)*, *flow rate influent* serta perubahan *baffle*. Setelah limbah cair overflow dan memasuki *sedimentation zone*, limbah cair didiamkan selama 10-20 menit untuk memfasilitasi pengendapan flok yang terbentuk. Kemudian dilakukan sampling air yang telah diolah pada *sedimentation zone*. Air sampel yang telah diambil diuji dengan parameter *Total Suspended Solid (TSS)* dan *Turbidity*.

### 2.3. Analisis Limbah Hasil Olahan

Pada penelitian ini, dilakukan uji analisis terhadap *influent* dan *effluent* dari proses koagulasi untuk mengevaluasi efektivitas pengolahan air. Uji kekeruhan menggunakan metode daya serap adsorbansi digunakan untuk mengukur partikel tersuspensi dalam air. Selain itu, uji TSS (*Total Suspended Solid*) dengan metode gravimetri dilakukan menggunakan alat *vacuum filter* dan oven untuk mengukur jumlah padatan tersuspensi dalam air setelah pengolahan. Metode ini penting untuk memastikan bahwa proses koagulasi mampu mengurangi partikel-padatan dan memenuhi standar kualitas air yang ditetapkan.

#### a. Analisis kekeruhan

Analisis kekeruhan dilakukan untuk mengetahui nilai kekeruhan *influent* dan *effluent* hasil koagulasi. Analisis kekeruhan dilakukan menggunakan alat turbidimeter kemudian menekan tombol read untuk membaca nilai kekeruhan. Pada penelitian ini menggunakan turbidimeter merk HACH 2100Q *Portable Turbidimeter*.

#### b. Analisis TSS

Analisis TSS dilakukan untuk mengetahui jumlah padatan tersuspensi di dalam sampel *influent* dan *effluent* hasil koagulasi. Analisis TSS dilakukan dengan metode gravimetri. Sampel sebanyak 30 ml disaring menggunakan *vacuum filter*. Nilai TSS dapat dihitung dengan Persamaan (1).

$$TSS \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(\text{berat kertas saring} + \text{residu} - \text{berat kertas saring kosong}) \times 1000}{\text{volume sampel}} \quad (1)$$

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

**Tabel 1.** Hasil analisa *Total Suspended Solids* dan kekeruhan pada air limbah *coal stockpile*

Baffle	Variabel		Parameter					
	Flow rate influent (m3/jam)	Dosis PAC (ppm)	TSS			Turbidity		
			Awal (ppm)	Akhir (ppm)	% Penurunan	Awal (NTU)	Akhir (NTU)	% Penurunan
4	200	20	2890	280	90,3%	9495	340	96,4%
		30	2890	110	96,2%	9495	105	98,9%
	500	20	3220	190	94,1%	9495	123	98,7%

Baffle	Variabel		Parameter					
	Flow rate influent (m <sup>3</sup> /jam)	Dosis PAC (ppm)	TSS			Turbidity		
			Awal (ppm)	Akhir (ppm)	% Penurunan	Awal (NTU)	Akhir (NTU)	% Penurunan
5	200	30	3220	170	94,7%	9495	113	98,8%
		20	7970	140	98,2%	9495	146	98,5%
		30	7970	120	98,5%	9495	130	98,6%
	500	20	7720	130	98,3%	9495	138	98,5%
		30	7720	120	98,4%	9495	122	98,7%

### 3.1. Pengaruh Penggunaan *Baffle* terhadap Parameter Nilai TSS (*Total Suspended Solids*) dan Nilai *Turbidity*

*Baffle* merupakan salah satu teknik dalam pengadukan hidrolisis yang menggunakan gerakan air sebagai tenaga pengadukan dengan memanfaatkan energi hidrolik dari aliran air [9]. Teknik pengadukan hidrolisis merupakan metode koagulasi dan flokulasi yang paling efisien untuk meningkatkan efisiensi penyisihan TSS dan turbidity. Penggunaan *baffle* dalam penelitian ini memiliki pengaruh yang signifikan terhadap parameter nilai TSS dan turbidity. Pada penelitian ini *baffle* di design dengan bentuk zig zag yang bertujuan untuk mengoptimalkan pencampuran koagulan dan flokulan dengan air limbah dari *coal stockpile* [10]. *Baffle* yang digunakan dalam proses koagulasi flokulasi berfungsi untuk mengurangi kandungan kontaminan seperti TSS dan kekeruhan di dalam air limbah. Peningkatan jumlah *baffle* dari 4 menjadi 5 cenderung meningkatkan efisiensi pengurangan TSS dan kekeruhan. Hal ini terlihat dari penurunan yang lebih signifikan pada kedua parameter saat menggunakan 5 *baffle* dibandingkan dengan 4 *baffle*. Berdasarkan Tabel 1. ketika menggunakan 4 *baffle* pada *flow rate influent* 200 m<sup>3</sup>/jam dengan dosis PAC 20 ppm, penurunan parameter TSS menunjukkan presentase sebesar 90,3% dan nilai parameter turbidity sebesar 96,4%. Berbeda dengan penggunaan 5 *baffle* pada variasi *flow rate influent* dan dosis PAC yang sama, presentase penurunan TSS menunjukkan hasil yang lebih efektif yakni sebesar 98,2% dan presentase penurunan turbidity 98,5%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyaknya penggunaan *baffle* maka penurunan kontaminan pada limbah cair yang dihasilkan juga semakin tinggi.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Rosariawari, dkk. (2019) penggunaan *baffle* sebagai pengaduk dengan memanfaatkan loncatan hidraulis (*hydraulic jump*) dan tumbukan air dengan sekat, tercatat memiliki efisiensi penyisihan TSS sebesar 84% dan turbidity sebesar 93% [10]. Pada penelitian terkait instalasi WWTP, *baffle* digunakan untuk mencampurkan air limbah dengan koagulan dan flokulan. Proses koagulasi terjadi secara terjunan, sedangkan proses flokulasi terjadi secara hidraulisis melalui lubang pada *baffle*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *baffle* efektif dalam menurunkan TSS dan turbidity dalam air limbah [11]. Pada pengolahan air limbah industri tekstil menggunakan metode elektrokoagulasi, *baffle* digunakan untuk meningkatkan efisiensi penyisihan TSS dan turbidity. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan COD sebesar 94% dan turbiditas sebesar 96% yang dicapai dengan waktu proses 30 menit [12]. Penggunaan *baffle* dalam beberapa penelitian telah terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi

penyisihan TSS dan turbidity dalam pengolahan limbah cair. Oleh karena itu, *baffle* menjadi komponen penting dalam upaya meningkatkan kualitas air limbah.

### **3.2. Pengaruh *Flow rate influent* terhadap Parameter Nilai TSS (*Total Suspended Solids*) dan Nilai *Turbidity***

Efisiensi reduksi atau penurunan nilai TSS dan turbidity pada limbah cair *coal stockpile* dapat dilihat berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 1. yang menunjukkan variasi *flow rate influent* yang digunakan yaitu 200 m<sup>3</sup>/jam dan 500 m<sup>3</sup>/jam. Variasi *flow rate influent* tersebut memiliki dampak yang signifikan terhadap efisiensi pengurangan TSS dan turbiditas. Hal ini dapat dilihat dari data yang menunjukkan bahwa penggunaan *flow rate influent* 200 m<sup>3</sup>/jam dengan *baffle* 4 dan dosis PAC 30 ppm mempunyai presentase nilai TSS dan turbidity berturut-turut yakni 96,2% dan 98,9%. Sedangkan pada penerapan flowrate 500 m<sup>3</sup>/jam dengan variasi *baffle* dan dosis PAC yang sama didapatkan presentasi nilai TSS yaitu 94,7 dan nilai turbidity 98,8%. Secara keseluruhan pengaruh variasi flowrate terhadap nilai TSS dan turbidity memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan namun, penggunaan *flow rate influent* 200 m<sup>3</sup>/jam memiliki presentase nilai penurunan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan penggunaan *baffle* 500 m<sup>3</sup>/jam. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *flow rate influent* yang rendah terbukti lebih efektif dalam menurunkan kontaminan yang terkandung dalam limbah cair pada *coal stockpile*. Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Sofyan, dkk. (2017), dimana semakin tinggi laju alir maka semakin rendah efisiensi reduksi yang diperoleh [13]. Hal ini berarti laju alir berbanding terbalik dengan efisiensi reduksi TSS dan turbidity. Pada penelitian lain menyatakan bahwa hujan dapat mempengaruhi kualitas air dengan menghasilkan hubungan antara laju aliran air masuk dan konsentrasi TSS. Ketika laju aliran limbah cair meningkat saat hujan, konsentrasi TSS dan turbidity dalam air yang keluar juga cenderung naik yang berarti bahwa kenaikan *flow rate influent* dapat meningkatkan nilai konsentrasi TSS dan turbidity [14].

Faktor kecepatan aliran bahwa semakin tinggi *flow rate influent*, maka semakin cepat partikel-partikel yang terkoagulasi bergerak dalam sistem, yang dapat mengurangi waktu kontak antar partikel. Hal ini mengurangi kemungkinan partikel untuk mengendap atau terserap flok, sehingga efisiensi pengurangan TSS dan turbiditas menurun. Oleh karena itu, dalam perencanaan dan operasi unit pengolahan air limbah, penting untuk mempertimbangkan secara seksama pengaturan *flow rate influent* untuk mencapai keseimbangan yang optimal pada efisiensi pengurangan TSS dan turbiditas. Upaya untuk mengoptimalkan proses koagulasi dengan mempertimbangkan variabel seperti *flow rate influent* merupakan langkah kritis untuk mencapai standar pengolahan yang diinginkan secara efektif.

### **3.3. Pengaruh Penambahan Dosis PAC terhadap Parameter Nilai TSS (*Total Suspended Solids*) dan Nilai *Turbidity***

Pada analisis sampel awal limbah cair dari *coal stockpile* untuk parameter TSS, didapatkan nilai mula-mula berkisar antara 2000 hingga 8000 mg/liter dan untuk parameter turbidity mempunyai nilai mula-mula yakni 9495 NTU. Pada penelitian ini dengan variasi dosis PAC 20 ppm dan 30 ppm, terlihat bahwa peningkatan dosis PAC secara konsisten menghasilkan penurunan yang signifikan terhadap nilai awal TSS dan turbidity. Sebagai contoh, berdasarkan Tabel 1 pada penggunaan dosis PAC 20 ppm

dengan variasi *baffle* 5 dan *flow rate influent* 200 m<sup>3</sup>/jam, mendapatkan hasil penurunan TSS dan turbidity dengan nilai presentase masing-masing yaitu 98,2% dan 98,5%. Sedangkan, untuk penggunaan dosis PAC 30 ppm dengan variasi *baffle* dan *flow rate influent* yang sama menghasilkan penurunan nilai presentase yang lebih baik yaitu nilai TSS 98,5% dan nilai turbidity 98,6%. Hasil ini menunjukkan bahwa dosis PAC yang lebih tinggi, efektif dalam mengurangi TSS dan turbiditas yang terkandung dalam limbah cair pada coal stockpile. Hal ini sejalan dengan pernyataan Budiman (2021) yaitu semakin tinggi atau besar kadar PAC yang digunakan maka semakin rendah nilai turbiditas yang didapatkan [8]. Peningkatan kejernihan limbah cair disebabkan oleh penambahan koagulan PAC yang mengandung muatan positif. Koagulan ini bereaksi dengan partikel koloid dalam limbah cair, membentuk flok yang kemudian dapat mengendap, sehingga membuat limbah cair menjadi lebih jernih [8].

Penurunan yang signifikan ini dapat dijelaskan dengan mekanisme koagulasi yang ditingkatkan oleh PAC, di mana partikel-partikel padat dalam air limbah diaglomerasi menjadi flok yang lebih besar dan mudah diendapkan atau dihilangkan dalam proses pengolahan selanjutnya. Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan Sisnayati, dkk. (2021) terkait penambahan PAC sebesar 20 ppm berhasil menurunkan kekeruhan air baku di bawah Baku Mutu Lingkungan, yakni 4,15 NTU, dengan penurunan mencapai 91,13% [15]. Semakin banyak penambahan PAC akan semakin mengurangi nilai kekeruhan air baku. Hal ini terjadi karena PAC memiliki derajat polimerisasi tinggi, yang mengindikasikan bahwa senyawa dalam PAC memiliki massa molekul besar sehingga mudah bereaksi dengan partikel-partikel di dalam air. Dari hasil penelitian Kusuma (2022) menyimpulkan bahwa dengan bertambahnya massa koagulan PAC, maka semakin tinggi juga penurunan kontaminannya karena semakin banyak partikel koloid yang menggumpal dan mengendapkan zat-zat organik sehingga kontaminan yang terendapkan juga banyak. Secara ilmiah, peningkatan dosis PAC meningkatkan efisiensi pengurangan TSS dan turbiditas karena adanya peningkatan jumlah ion aluminium (Al<sup>3+</sup>) dalam larutan, yang meningkatkan kemampuan untuk membentuk flok yang stabil dan menangkap partikel-partikel yang tersuspensi. Selain itu, adanya dosis yang lebih tinggi juga dapat meningkatkan interaksi antara PAC dengan partikel-partikel air limbah, sehingga mempercepat proses pengendapan dan pengurangan nilai TSS serta turbiditas. Dengan demikian, penambahan dosis PAC secara signifikan mempengaruhi kualitas air limbah dengan mengurangi konsentrasi TSS dan turbiditas, sehingga hasil percobaan ini dapat menjadi dasar untuk pengoptimalan penggunaan PAC dalam sistem pengolahan air limbah untuk mencapai standar yang diinginkan.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian pengolahan limbah cair pada *coal stockpile* dengan menggunakan metode koagulasi didapatkan kombinasi optimal pada penggunaan variasi *baffle* 5, *flow rate* 200 m<sup>3</sup>/jam, dan dosis PAC 30 ppm dengan presentase penurunan TSS dan turbidity masing-masing adalah 98,5% dan 98,6%. Variasi tersebut memberikan hasil yang optimal dalam hal efisiensi pengolahan dalam penurunan kontaminan terhadap limbah cair pada *coal stockpile* dengan menggunakan metode koagulasi. Dengan mengurangi TSS dan turbiditas secara signifikan, pengolahan air limbah menjadi lebih efisien dan meminimalkan

dampak negatif terhadap proses operasional lainnya, seperti pemeliharaan peralatan dan penggunaan energi. Penerapan strategi pengelolaan air limbah yang efektif tidak hanya meningkatkan kualitas lingkungan tetapi juga mendukung efisiensi ekonomis dalam operasi industri. Integrasi teknologi yang tepat dalam pengolahan limbah membantu mengoptimalkan sumber daya dan mengurangi biaya operasional jangka panjang, yang merupakan langkah penting menuju keberlanjutan industri yang lebih baik.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah mengimplementasikan penggunaan agitator dalam proses pengolahan air limbah batubara. Selain itu, dianjurkan juga untuk meningkatkan jumlah sampling pada setiap variabel guna memperoleh data yang lebih representatif dan pemahaman yang lebih mendalam mengenai proses pengendapan dan pemisahan partikel dalam sistem tersebut. Kombinasi dari penggunaan agitator dan peningkatan sampling dapat memberikan wawasan yang lebih komprehensif terhadap efisiensi dan hasil akhir dari proses pengolahan air limbah batubara.

## REFERENSI

- [1] A. A. M. Itsnani SM, A. A., Riansyah, & Sutaji, "Perhitungan Tonase Stockpile Batubara Metode Cut and Fill Menggunakan Aplikasi Minescape," *Journal of Geomatics Engineering Technology and Science*, vol. 2, no. 2, hal. 41–49, 2024.
- [2] R. Fitriyanti, "Karakteristik Limbah Cair Stockpile Batubara," *Jurnal Media Teknik*, vol. 11, no. 1, hal. 12–17, 2014.
- [3] W. Stumm, S. Gherini, dan M. Forsberg, "Water: Properties, Structure, and Occurrence in Nature". 2006.
- [4] Kiswanto, H. Susanto, dan Sudarno, "Karakteristik Air Asam Batubara Di Kolam Bekas Tambang Batubara PT. Bukit Asam (PTBA)," *Seminar dan Konferensi Nasional IDEC*, hal. 7–8, 2018.
- [5] R. Fitriyanti, "Penggunaan Aluminium Sulfat Untuk Menurunkan Kekeruhan Dan Warna Pada Limbah Cair Stockpile Batubara Dengan Metode Koagulasi Dan Flokulasi," *Paper Knowledge Toward a Media History Documents*, hal. 12–26, 2020.
- [6] S. Widiawati, dkk. "Perbandingan Tawas Dan Poly Aluminium Chloride (PAC) Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tempe," *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, hal. 1–8, 2024.
- [7] D. P. A. Kusuma, "Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Dengan Metode Koagulasi-Flokulasi (Studi Kasus Desa Soropadan, Kecamatan Pringsurat, Kabupaten Temanggung)," *G-Smart*, vol. 5, no. 2, hal. 99–103, 2022.
- [8] A. Budiman, dkk. "Kinerja Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC) Dalam Penjernihan Air Sungai Kalimas Surabaya," *Widya Teknik*, vol. 7, no. 1, hal. 25–34, 2008.
- [9] Y. I. Pratama dan M. P. Nursiana, "Aplikasi Baffled Channel Sebagai Alternatif Optimasi Pengolahan Kualitas Air," *Prosiding Temu Profesi Tahunan Perhimpunan Ahli Tambang Indonesia*, vol. 1, no. 1, hal. 723–730, 2020.
- [10] F. Rosariawari, E. M. Wijayanto, dan A. U. Farahdiba, "Penyisihan Total Suspended Solid (TSS) Air Sungai Dengan Hidraulis Koagulasi Flokulasi," *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, vol. 1, no. 2, hal. 53–59, 2019.
- [11] W. Wibowo, dkk. "Instalasi Waste Water Treatment Plant (WWTP) Untuk Menurunkan Total Suspended Solid Sesuai Baku Mutu Pada Air Sump Yang Berkadar Silika Tinggi,"

- Prosiding Temu Profesi Tahunan Perhimpunan Ahli Tambang Indonesia*, hal. 271–280, 2020.
- [12] R. P. Sihombing dan Y. T. Sarungu, “Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil dengan Metoda Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Besi (Fe) dan Aluminium (Al),” *Journal Cis-Trans: Jurnal Kimia dan Terapannya*, vol. 6, no. 2, hal. 11–18, 2022.
- [13] H. Muchtar, dkk. “Pengaruh Laju Alir Inlet Reaktor MSL terhadap Reduksi BOD, COD, TSS, dan Minyak/Lemak Limbah Cair Industri Minyak Goreng,” *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Industri*, vol. 7, no. 1, hal. 41–51, 2017.
- [14] R. O. Mines, L. W. Lackey, dan G. H. Behrend, “The Impact of Rainfall on Flows and Loadings at Georgia’s Wastewater Treatment Plants,” *Journal of Georgia Enviromental Protection Division*, vol. 179, no. 1–4, hal. 135–157, 2007.
- [15] Sisnayati, “Perbandingan Penggunaan Tawas dan PAC Terhadap Kekeruhan Dan pH Air Baku PDAM Tirta Musi Palembang,” *Jurnal Redoks*, vol. 6, no. 2, hal. 107–116, 2021.