



Evaluasi Efektifitas Pengaruh Dosis Koagulan dan Flokulasi terhadap TSS dan pH Limbah Cair Stockpile Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Dea Raivani Claresta Hamzah^{1*}, Restu Hikmah Ayu Murti², Yubi Fatroh Harianto³

¹⁻⁵ Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Sains, UPN "Veteran" Jawa Timur, Indonesia

*Penulis Korespondensi: restu.hikmah.tl@upnjatim.ac.id

Abstract. This study aims to evaluate the effectiveness of various doses of 6.25% Poly Aluminium Chloride (PAC) and 0.1% polymer flocculant in reducing Total Suspended Solids (TSS) and assessing pH changes in coal stockpile wastewater at PT PLN Nusantara Power UP Paiton Unit 9. Stockpile wastewater typically contains high levels of suspended solids originating from water spray activities that carry fine coal particles. The coagulation-flocculation process was performed using the jar test method with PAC dosages of 35 ppm, 50 ppm, and 65 ppm, along with flocculant dosages of 6 ppm and 7 ppm. pH and TSS were analyzed before and after treatment to assess process effectiveness. The results indicate that a PAC dosage of 35 ppm combined with a 6 ppm flocculant achieved the highest TSS removal efficiency of 98.15%. Increasing PAC dosage resulted in reduced performance due to overdosing effects, leading to charge destabilization and impaired floc formation. These findings highlight the importance of optimizing coagulant dosage to improve stockpile wastewater quality for safe reuse in operational activities.

Keywords: Coagulation; PAC; pH; Stockpile Wastewater; TSS.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas variasi dosis koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC) 6,25% dan flokulasi polimer 0,1% dalam menurunkan Total Suspended Solids (TSS) serta mengamati perubahan pH pada limbah cair stockpile batubara di PT PLN Nusantara Power UP Paiton Unit 9. Limbah cair stockpile umumnya memiliki konsentrasi TSS yang tinggi akibat aktivitas *water spray* yang membawa partikel halus batubara. Proses koagulasi-flokulasi dilakukan menggunakan metode jar test dengan variasi dosis PAC 35 ppm, 50 ppm, dan 65 ppm, serta dosis flokulasi 6 ppm dan 7 ppm. Parameter pH dan TSS dianalisis sebelum dan sesudah perlakuan untuk menilai efektivitas proses. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis koagulan PAC 35 ppm dengan flokulasi 6 ppm memberikan efisiensi penurunan TSS tertinggi sebesar 98,15%, sementara peningkatan dosis PAC justru menurunkan efektivitas akibat kecenderungan kelebihan muatan (*overdosing*) yang mengganggu proses destabilisasi partikel. Temuan ini menegaskan pentingnya penentuan dosis optimum dalam proses koagulasi-flokulasi untuk meningkatkan kualitas limbah cair stockpile sehingga dapat dimanfaatkan kembali secara aman dalam kegiatan operasional.

Kata kunci: Air Limbah Stockpile; Koagulasi; PAC; pH; TSS.

1. LATAR BELAKANG

Seiring dengan pertambahan penduduk, peningkatan industri, dan modernisasi teknologi menyebabkan semakin meningkatnya kebutuhan energi di Indonesia, yang juga berpengaruh pada peningkatan penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang mana menjadi salah satu pemasok energi listrik di Indonesia. Industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menggunakan batu bara sebagai bahan bakar boiler yang nantinya menghasilkan uap untuk menggerakkan turbin sehingga dapat menghasilkan listrik. Batu bara ini didapatkan dari supplier yang diangkut melalui tongkang dan disimpan di tempat penyimpanan sementara sebelum nantinya didistribusikan untuk keperluan produksi. Tempat penyimpanan ini disebut *stockpile/coal yard*.

Adanya *stockpile* menghasilkan limbah cair yang berasal dari limpasan air hujan (*run off*) dan water spray. Water spray digunakan untuk menyiram batubara saat musim kemarau agar tidak timbul debu yang menyebabkan pencemaran udara. Limbah cair yang berasal dari stockpile ini secara signifikan dipengaruhi oleh curah air hujan yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh aliran air hujan yang mengalir di permukaan *stockpile* membawa berbagai zat kimia yang berasal dari tumpukan batubara dan dapat mencemari lingkungan. Selain mengandung zat kimia terlarut, limbah cair tersebut juga mengandung berbagai komponen seperti padatan tersuspensi tinggi, senyawa organik, dan senyawa mineral dari batubara serta memiliki tingkat kekeruhan dan intensitas warna yang tinggi, yaitu warna hitam kecoklatan.

Kegiatan pembasahan batu bara di area *stockpile* merupakan salah satu proses awal untuk mencegah terjadinya kebakaran akibat gesekan batubara karena memiliki kalori tinggi. Air limpasan dari kegiatan tersebut berpotensi membawa partikel padat tersuspensi maupun bahan pencemar dari permukaan batubara. Air limpasan tersebut dialirkan menuju unit pengendapan awal berupa *Coal Yard Run Off Pond (Cyro Pond)*, yang berfungsi sebagai bak sedimentasi untuk mengurangi kandungan padatan tersuspensi. Pada kondisi tertentu ketika volume air di *Cyro Pond* mencapai batas kapasitas, air limpasan akan dipompa menuju *Wastewater Storage Pond* untuk dilakukan proses pengolahan lebih lanjut di *Wastewater Treatment Plant (WWTP)*. Setelah melalui tahapan pengolahan di WWTP, air hasil olahan dimanfaatkan kembali untuk kebutuhan operasional, seperti penyiraman batubara, *water spray silo ash handling*, dan *submerged scrapper conveyor (SSC)*. Dengan sistem ini, air limpasan dari *stockpile* tidak langsung dibuang ke badan air, namun dikelola lebih lanjut sebagai upaya efisiensi sumber daya air untuk mendukung *sustainable water management*.

Kandungan *Total Suspended Solids (TSS)* yang tinggi pada limbah cair *stockpile* batubara umumnya disebabkan oleh air *wet cleaning* atau penyiraman batubara yang membawa partikel-partikel halus batubara dari area penumpukan menuju kolam penampungan. Nilai TSS yang tinggi menunjukkan banyaknya material padat yang terbawa dalam air, sehingga dapat meningkatkan tingkat kekeruhan dan menurunkan kualitas perairan penerima. Kondisi ini menegaskan bahwa diperlukan upaya pengolahan yang efektif untuk menurunkan kadar TSS hingga memenuhi baku mutu yang berlaku agar pembuangan limbah cair tidak menimbulkan dampak pencemaran terhadap lingkungan. Berdasarkan menurut Persetujuan Teknis Pemenuhan Baku Mutu Air Limbah yang Dibuang ke Laut PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkitan Paiton No. S.250/F/F.5/PKL.62/13/5/2025 baku mutu pH adalah 6-9 dan TSS adalah 100 mg/L.

Padatan tersuspensi yang tinggi pada limbah cair *stockpile* umumnya sulit mengendap secara alami karena adanya stabilitas partikel koloid yang dipengaruhi oleh gaya elektrostatik, gaya Van der Waals, dan gerak Brown. Salah satu proses pengolahan air limbah secara fisika-kimia yang umum digunakan untuk menurunkan TSS adalah koagulasi dan flokulasi. Koagulasi bekerja dengan menetralkan muatan partikel koloid menggunakan bahan kimia (koagulan) sehingga terbentuk mikroflok, sedangkan flokulasi berfungsi untuk membentuk mikroflok menjadi flok yang lebih besar dengan penambahan flokulasi agar flok mudah mengendap. Keberhasilan proses ini sangat dipengaruhi oleh dosis koagulan dan flokulasi. Dosis yang terlalu rendah tidak efektif membentuk flok, sedangkan dosis berlebih dapat menyebabkan restabilisasi partikel atau pecahnya flok. Oleh karena itu, penentuan dosis optimum menjadi langkah penting untuk mencapai efisiensi penyisihan padatan tersuspensi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini akan menganalisis pH dan penurunan TSS pada limbah cair *stockpile* di PT PLN Nusantara Power UP Paiton menggunakan metode koagulasi-flokulasi dengan variasi dosis koagulan PAC dan flokulasi polimer. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan dosis pada unit koagulasi-flokulasi yang paling efektif dalam menurunkan TSS.

2. KAJIAN TEORITIS

Proses pengolahan air limbah yang umum digunakan untuk menurunkan padatan tersuspensi tinggi pada air limbah adalah proses koagulasi dan flokulasi. Pada pengolahan limbah cair dari area *stockpile*, kedua proses ini menjadi langkah penting karena air limpasan dari *stockpile* membawa partikel halus batubara dan material padat lainnya yang menyebabkan tingginya konsentrasi TSS. Partikel tersuspensi umumnya sulit mengendap secara alami dikarenakan adanya stabilitas suspensi koloid yang disebabkan oleh gaya elektrostatik, gaya Van der Waals, dan gerak Brown.

Koagulasi bekerja dengan cara menetralkan muatan partikel tersuspensi (koloid) hingga partikel-partikel tersebut kehilangan stabilitas elektrostatiknya dengan penambahan koagulan menggunakan pengadukan cepat. Penambahan koagulan ini berfungsi untuk menetralkan atau mengurangi muatan negatif dengan penambahan koagulan yang bermuatan positif sehingga gaya elektrostatik melemah dan tidak stabil. Pada momen ini, gaya tarik van der waals akan menjadi dominan dan memungkinkan partikel untuk mendekat dan membentuk mikroflok. Setelah mikroflok terbentuk, dilanjutkan ke proses flokulasi dimana terjadi penambahan flokulasi dengan pengadukan lambat. Fungsi penambahan flokulasi untuk menghubungkan mikroflok melalui gugus aktif polimer yang diaduk dengan lambat agar flokulasi merata dan

tidak merusak flok yang sudah terbentuk (Tom D. Reynolds, 1996).

Pada proses ini, dosis koagulan dan flokulasi akan mempengaruhi pembentukan flok. Dosis koagulan yang terlalu rendah (*underdose*) tidak cukup untuk menetralkan muatan negatif yang ada pada air limbah sehingga mikroflok tidak terbentuk dengan baik. Sebaliknya, jika dosis terlalu tinggi (*overdose*) akan menyebabkan muatan positif yang berlebih sehingga gaya yang tidak imbang dari muatan positif yang berlebih ini akan membuat partikel mengalami gaya tolak-menolak elektrostatik kembali yang menyebabkan flok yang sudah terbentuk dapat pecah atau terdispersi kembali. Dosis flokulasi yang rendah juga akan membuat polimer tidak cukup untuk mengikat mikroflok yang sudah terbentuk, akibatnya flok yang terbentuk akan sangat kecil dan memerlukan waktu yang lebih lama untuk partikel mengendap. Dosis flokulasi yang tinggi akan mengakibatkan rantai polimer yang berlebih akan menyebabkan restabilisasi partikel, kondisi dimana polimer menutupi seluruh permukaan partikel sehingga mikrofolok tidak bisa saling terhubung sehingga suspensi bisa kembali stabil. Pada kondisi yang cukup berlebih bahkan dapat meningkatkan kekentalan (viskositas) air. Hal-hal tersebut menunjukkan bahwa dosis sangat mempengaruhi hasil akhir proses sehingga penting untuk menentukan dosis yang optimal untuk proses koagulasi-flokulasi. (Sheng et al., 2023)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di PT PLN Nusantara Power UP Paiton Unit 9, yang terletak di Jl. Raya Surabaya-Situbondo No.Km.142, Area Sawah, Bhinor, Kec. Paiton, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur 67291. Dalam penelitian ini, limbah cair stockpile tidak dianalisis berdasarkan baku mutu buangan karena air hasil olahan tidak dibuang ke badan air, melainkan digunakan kembali untuk kebutuhan operasional (penyiraman batubara, *water spray silo ash handling*, dan *submerged scrapper conveyor/ SSC*). Oleh karena itu, penelitian difokuskan pada penentuan dosis koagulan optimum berdasarkan efektivitas penurunan TSS dan kestabilan pH sebagai parameter utama yang mempengaruhi kualitas air untuk pemanfaatan ulang.

Penelitian ini adalah penelitian eksperimental yang ditujukan untuk mengetahui efektivitas dosis koagulan dan flokulasi yang digunakan dalam mengolah limbah cair dari *stockpile* PT Nusantara Power UP Paiton. Penelitian dilakukan menggunakan pendekatan observasi langsung pada *coal yard run off pond*, literasi terkait data teoritis penelitian terdahulu, diskusi dan wawancara dengan staff operator yang berkaitan, serta analisis data dari hasil uji laboratorium dan dokumentasi. Studi ini berfokus pada limbah cair *stockpile* di PLTU PT PLN Nusantara Power UP Paiton. Penelitian ini memanfaatkan koagulan *Poly Aluminium*

Chloride (PAC) 6,25% dan flokulasi polimer dengan 0,1% untuk meningkatkan efektivitas flokulasi dengan membentuk flok yang lebih besar sehingga mudah diendapkan.

Proses pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui serangkaian percobaan jar test menggunakan sampel air limbah sebanyak 1 liter untuk setiap perlakuan. Percobaan dirancang untuk mengevaluasi efektivitas koagulasi-flokulasi dalam menurunkan kadar padatan tersuspensi (TSS) pada limbah cair stockpile yang memiliki konsentrasi awal TSS cukup tinggi. Variasi dosis koagulan PAC 6,25% (v/v) yang digunakan adalah 35 ppm, 50 ppm, dan 65 ppm, sedangkan flokulasi 0,1% diberikan pada dosis 6 ppm dan 7 ppm untuk mengamati pengaruh penambahan polimer terhadap pembentukan flok yang lebih stabil.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil dari pengujian di laboratorium menggunakan metode jar test, setelah itu dilakukan observasi dan analisis data. Kegiatan observasi dilakukan untuk mengamati perubahan pada air sampel yang diberi perlakuan yang berbeda sesuai dengan variasi dosis yang telah ditentukan. Sumber air sampel yang digunakan merupakan air limpasan dari *stockpile* PT PLN Nusantara Power UP Paiton Unit 9.

Kualitas air pada dasarnya dipengaruhi oleh berbagai parameter fisik, kimia, dan biologi. Namun, dalam penelitian ini tidak seluruh parameter dianalisa untuk mengevaluasi pengaruh penambahan koagulan. Parameter yang dipilih adalah pH dan Total Suspended Solids (TSS), karena keduanya merupakan indikator utama yang menentukan efektivitas proses koagulasi serta relevan dalam menilai peningkatan kualitas air untuk pemanfaatan ulang.

Sebelum jar test, sampel terlebih dahulu dianalisis untuk menentukan karakteristik awalnya. Parameter yang diukur meliputi pH menggunakan pH meter terkalibrasi dan konsentrasi TSS menggunakan Multiparameter Portable Colorimeter DR900. Pengukuran awal ini penting sebagai acuan dalam menilai perubahan kualitas air setelah proses koagulasi-flokulasi. Didapatkan parameter TSS pada sampel awal mencapai 1.460 mg/L dan pH awal 6,97.

Tahap koagulasi dilakukan melalui pengadukan cepat (rapid mixing) pada kecepatan 130 rpm selama 3 menit. Pada tahap ini, koagulan PAC dicampurkan secara homogen sehingga reaksi hidrolisis dan destabilisasi muatan partikel dapat berlangsung secara optimal. Setelah itu, proses dilanjutkan ke tahap flokulasi dengan pengadukan lambat (slow mixing) pada kecepatan 50 rpm selama 10 menit untuk memungkinkan partikel terdestabilisasi saling berinteraksi dan membentuk agregat yang lebih besar dan mudah mengendap.

Tabel 1. Hasil Perhitungan %Efisiensi Penurunan TSS.

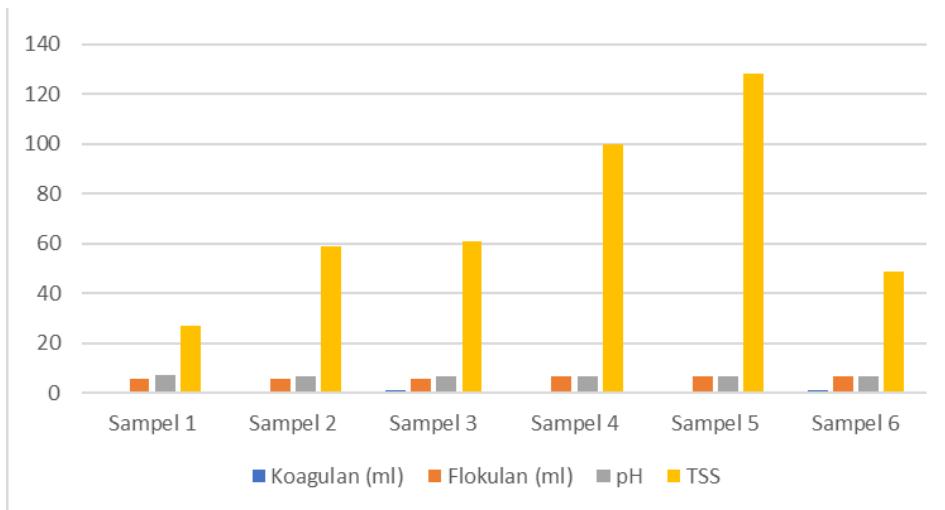
Sampel	Dosis Koagulan		Dosis Flokulasi		pH		TSS	
	(ppm)	(ml)	(ppm)	(ml)	Awal = 6,97	Awal = 1.460 mg/L	% Penurunan	
1	35	0,56	6	6	7,06	27 mg/L	98,15%	
2	50	0,8	6	6	6,94	59 mg/L	95,96%	
3	65	1,2	6	6	6,77	61 mg/L	95,82%	
4	35	0,56	7	7	6,85	100 mg/L	93,15%	
5	50	0,8	7	7	6,9	128 mg/L	91,23%	
6	65	1,2	7	7	6,69	49 mg/L	96,64%	
Baku Mutu					6-9	100 mg/L		

Berdasarkan tabel 1. terdapat perbedaan hasil pH dan TSS pada variasi dosis koagulan dan flokulasi. Pada sampel 1 dengan dosis koagulan PAC 35 ppm dan flokulasi 6 ppm menunjukkan pH akhir 7,06 dan TSS turun menjadi 27 mg/L dengan % efisiensi penurunan TSS 98,15%. Kemudian pada sampel 2 menggunakan dosis PAC 50 ppm dengan dosis flokulasi yang sama, hasilnya pH sampel yang semula 6,97 turun sedikit menjadi 6,94 dan TSS turun menjadi 59 mg/L dengan % efisiensi penurunan TSS 95,96%. Pada sampel 3 menggunakan dosis PAC 65 ppm dengan flokulasi yang sama, hasilnya pH turun menjadi 6,77 dan TSS juga turun menjadi 61 mg/L dengan % efisiensi penurunan 95,82%. Dari ketiga sampel dengan variasi dosis koagulan PAC yang berbeda dan dosis flokulasi yang sama menunjukkan hasil yang masih aman atau berada dibawah baku mutu.

Sampel 4, 5, dan 6 menggunakan dosis flokulasi yang sama yakni 7 ppm dengan variasi dosis koagulan. Pada sampel 4 dengan dosis PAC 35 ppm dan dosis flokulasi 7 ppm menunjukkan hasil pH 6,85 dan TSS 49 mg/L dengan %efisiensi penurunan TSS 93,15%. Pada sampel 5 menggunakan dosis koagulan PAC 50 ppm dengan flokulasi 7 ppm menunjukkan hasil pH 6,9 dan TSS 128 mg/L dengan % efisiensi penurunan TSS 91,23%. Sedangkan sampel 6 menggunakan dosis koagulan PAC 65 ppm dengan flokulasi 7 ppm menunjukkan hasil pH 6,69 dan TSS 49 mg/L dengan % efisiensi penurunan 96,64%. Dari ketiga sampel tersebut didapatkan bahwasannya sampel 4 dan 5 menghasilkan TSS yang pas dan diatas baku mutu, sehingga dosis yang digunakan di sampel 4 dan 5 tidak ideal.

Pengaruh Dosis Koagulan dan Flokulasi Terhadap TSS dan pH

Dosis koagulan dan flokulasi memiliki peran penting pada pH dan penurunan TSS air limbah *stockpile*. Pengaruh tersebut dapat dilihat pada grafik Gambar 1 berikut.

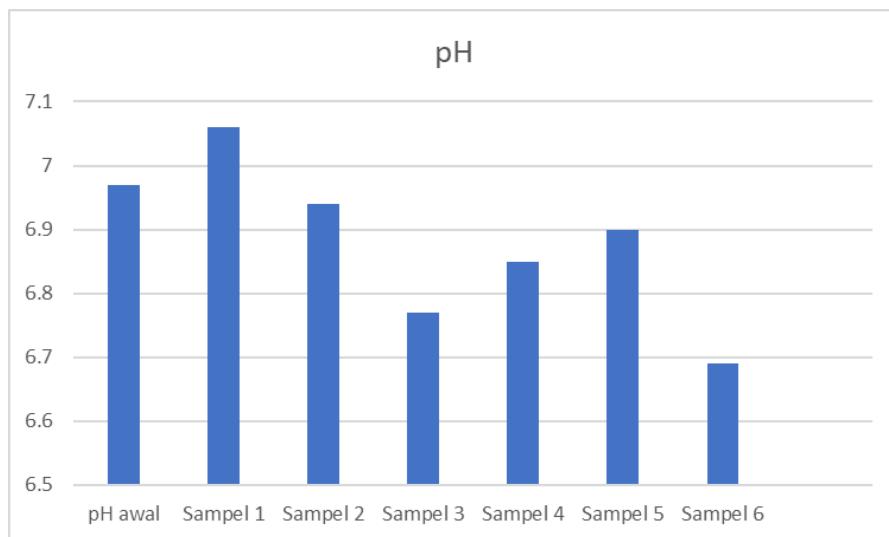


Gambar 1. Pengaruh dosis koagulan dan flokulran terhadap pH dan TSS setelah penambahan variasi dosis yang telah ditentukan.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, dapat dilihat pada gambar 1 bahwa setiap variasi dosis koagulan dan flokulran memiliki hasil akhir yang berbeda-beda. Variasi dosis koagulan yang berbeda dengan dosis flokulran yang sama juga akan berpengaruh pada TSS. Penggunaan koagulan dengan dosis yang berlebihan dapat mengganggu proses pembentukan flokulasi. Hal ini menunjukkan bahwa keseimbangan antara koagulan dan flokulran sangat penting untuk menghasilkan performa penyisihan TSS yang optimal (Binnie, C., Kimber, M., Smethurst, 2002).

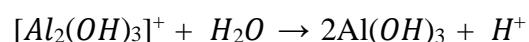
Pada sampel dengan dosis koagulan 35 ppm flokulran 6 ppm berbeda hasilnya dengan sampel dosis koagulan 50 ppm flokulran 6 ppm dan dosis koagulan 65 ppm flokulran 6 ppm. TSS pada dosis koagulan 35 ppm adalah 27 mg/L, pada koagulan 50 ppm TSS 59 mg/L, dan pada koagulan 65 ppm TSS 61 mg/L. Terjadi peningkatan TSS setelah dosisnya ditambahkan, hal itu mengindikasikan terjadinya kejemuhan yang membuat proses pembentukan flok terganggu. Pada kondisi ini, muatan positif dari koagulan mendominasi permukaan koloid sehingga partikel yang semula telah ternetralisasi Kembali menjadi bermuata positif. Perubahan polaritas ini mengakibatkan meningkatnya kembali gaya tolak-menolak antar partikel, sehingga flok yang terbentuk menjadi tidak stabil, mudah terdispersi, dan gagal mengalami pengendapan secara efektif. Berbeda dengan sampel yang menggunakan dosis PAC yang sama sebesar 35 ppm namun dengan flokulran 7 ppm, terjadi penurunan pH serta TSS akhir sebesar 100 mg/L dengan % efisiensi penurunan 93,15%. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh dosis flokulran terhadap pembentukan flok. Flokulran yang cenderung jenuh atau overdosis berlebih dapat menyebabkan terjadinya kejemuhan polimer pada sistem, yang berdampak pada penurunan efisiensi pengendapan. Pada kondisi optimum,

flokulan bekerja dengan cara menjembatani partikel-partikel koloid yang telah terdestabilisasi sehingga terbentuk flok berukuran besar dan stabil. Sedangkan pada flokulan polimer yang melebihi dosis akan mengalami penurunan efisiensi karena *resuspension of flocs* (penggumpalan kembali/terganggunya flok), sehingga partikel yang seharusnya mengendap kembali tersuspensi dan menyebabkan penurunan efisiensi TSS (Zarei Mahmudabadi et al., 2018).



Gambar 2. Pengaruh dosis koagulan dan flokulan terhadap pH.

Selain mempengaruhi TSS, dosis koagulan dan flokulan juga mempengaruhi pH sampel. Koagulan PAC (Poly Aluminium Chloride) cenderung menurunkan pH karena sifat kimia dasarnya memang menghasilkan ion yang bersifat asam ketika bereaksi di dalam air. Pada proses ini, PAC dan air akan terjadi proses reaksi hidrolisis, dimana PAC akan melepaskan ion H^+ sehingga pH air akan turun. Berikut reaksi PAC dalam air:



Pada sampel 1 terjadi peningkatan pH dari 6,97 menjadi 7,06, hal ini dapat diakibatkan oleh *degassing* CO₂ yang terjadi karena efek dari *mixing*. Proses rapid mixing pada koagulasi menyebabkan terjadinya degassing CO₂ akibat peningkatan turbulensi dan transfer massa antara air dan udara. Pelepasan CO₂ ini mengurangi konsentrasi asam karbonat (H₂CO₃), sehingga jumlah ion H⁺ berkurang dan pH dapat meningkat secara kecil namun signifikan. Fenomena ini umum terjadi dalam jar test, terutama pada air yang memiliki alkalinitas karbonat. Dengan demikian, kenaikan pH kecil setelah penambahan PAC bukan disebabkan oleh sifat PAC tetapi merupakan efek degassing akibat proses mixing intensif (Reinke, 1951).

Penentuan Dosis Koagulan dan Flokulasi Optimum pada Air Limbah Stockpile

Variasi dosis koagulan dan flokulasi mempengaruhi pH dan TSS sampel air limbah *stockpile*. TSS sampel yang semula 1.460 mg/L turun dengan % efisiensi penurunan TSS yang cukup tinggi yakni sekitar 91,6% - 98,15%. pH akhir yang dihasilkan dari jar test koagulasi - flokulasi juga masih memenuhi baku mutu yakni 6 - 9. Namun berdasarkan TSS akhir sampel, hanya dosis koagulan dan flokulasi pada sampel 1,2,3, dan 6 yang ideal. Dari keempat sampel tersebut, sampel 1 dengan dosis PAC 35 ppm dan flokulasi 6 ppm memiliki % efisiensi penurunan TSS tertinggi sebesar 98,15% yang membuat TSS akhir turun menjadi 27 mg/L dan pH 7,06.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa proses koagulasi-flokulasi menggunakan PAC 6,25% dan flokulasi polimer 0,1% mampu menurunkan kadar TSS secara signifikan pada limbah cair stockpile PT PLN Nusantara Power UP Paiton Unit 9. Dosis PAC 35 ppm dengan flokulasi 6 ppm merupakan kombinasi yang paling efektif dengan efisiensi penurunan TSS sebesar 98,15%. Peningkatan dosis koagulan tidak selalu memberikan hasil yang lebih baik, bahkan dapat menurunkan efektivitas akibat kelebihan muatan yang menyebabkan ketidakstabilan flok. Oleh karena itu, jar test dengan variasi dosis yang lebih beragam diperlukan untuk memastikan penentuan dosis optimum yang lebih akurat, sehingga kualitas limbah cair stockpile dapat ditingkatkan dan lebih layak digunakan kembali untuk kebutuhan operasional perusahaan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan pengujian dengan lebih banyak variasi dosis serta melakukan pengulangan (triplo) agar hasil yang diperoleh lebih representatif, stabil, dan meminimalkan potensi kesalahan pengukuran.

DAFTAR REFERENSI

- Bahctiar, F. E., & Putro, R. K. H. (2022). Pemantauan dan optimasi instalasi pengolahan air limbah unit lamella clarifier dengan penentuan dosis koagulan dan flokulasi. *Indonesian Journal of Applied Science and Technology*, 3(1), 76–88.
- Binnie, C., Kimber, M., & Smethurst, G. (2002). *Basic water treatment*. Royal Society of Chemistry.
- Dewi, D. R. K., Kusumawati, E., Fadjri, R. W., & Nabiha, F. S. (2025). Optimisasi proses koagulasi-flokulasi untuk meningkatkan kualitas air limbah limpasan batubara. *Jurnal Serambi Engineering*, 10(4), 1–12.
- Hasan, R., & Khoirunnisa, A. (2024). Efektivitas koagulan aluminium sulfat dan poly aluminium chloride (PAC) pada pengolahan limbah cair B3 PT X. *Jurnal Warta Akab*, 48(1), 5–14.

- Hutabarat, D. M., Witasari, W. S., & Baskoro, R. (2023). Pengaruh jenis koagulan dan variasi pH terhadap kualitas limbah cair di instalasi pengolahan air limbah industri. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 8(3). <https://doi.org/10.33795/distilat.v8i3.464>
- Isuluqi, A. I. C., Sa'diyah, K., & Nabil, E. (2025). Pengolahan limbah cair pada coal stockpile dengan metode koagulasi. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 11(1), 131–140. <https://doi.org/10.33795/distilat.v11i1.6924>
- Isuluqi, A. I. C., Sa'diyah, K., & Nabil, E. (2025). Pengolahan limbah cair pada coal stockpile dengan metode koagulasi. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 11(1), 131–140. <https://doi.org/10.33795/distilat.v11i1.6924>
- Linggaasari, S. (2023). Instalasi pengolahan limbah cair di stockpile batubara PT X. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 8(2), 85–94.
- Nisa, N. I. F., & Aminudin, A. (2019). Pengaruh penambahan dosis koagulan terhadap parameter kualitas air dengan metode jartest. *JRST (Jurnal Riset Sains dan Teknologi)*, 3(2), 61–67. <https://doi.org/10.30595/jrst.v3i2.4500>
- Nor, A., Muttaqin, I., & Trianiza, I. (2020). Optimalisasi dosis koagulan dan peningkatan kinerja PAC (poly aluminium chloride) dengan penambahan kaustik soda dalam proses pengolahan air bersih di PDAM Bandarmasih Kota Banjarmasin menggunakan metode jar test. *Journal of Industrial Engineering and Operation Management*, 3(2), 2–6. <https://doi.org/10.31602/jieom.v3i2.4254>
- Ramadhan, A. A. N., Ramli, M., & Hatta, A. A. (2022). Optimasi penggunaan dosis koagulan alum dan poly aluminium chloride (PAC) dalam pengelolaan limbah cair batubara. *Jurnal Penelitian Enjiniring*. <https://doi.org/10.25042/jpe.052022.01>
- Reinke, E. A. (1951). Water quality and treatment. *American Journal of Public Health and the Nations Health*, 41(9), 1131–1132. <https://doi.org/10.2105/ajph.41.9.1131-b>
- Reynolds, T. D., & Richards, P. A. (1996). *Unit operations and processes in environmental engineering*. PWS Publishing Company.
- Ridwan, M. T., Nahar, N., Irwan, I., & Hasanah, U. (2025). Application of the coagulation jar test method for the treatment of coal wastewater in industrial wastewater management. *Jurnal Teknologi*.
- Sheng, D. P. W., Bilad, M. R., & Shamsuddin, N. (2023). Assessment and optimization of coagulation process in water treatment plant: A review. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 3(1), 79–100. <https://doi.org/10.17509/ajse.v3i1.45035>
- Zarei Mahmudabadi, T., Ebrahimi, A. A., Eslami, H., Mokhtari, M., Salmani, M. H., Ghaneian, M. T., Mohamadzadeh, M., & Pakdaman, M. (2018). Optimization and economic evaluation of modified coagulation–flocculation process for enhanced treatment of ceramic-tile industry wastewater. *AMB Express*, 8(1), Article 89. <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0702-4>