

Efektivitas Koagulan Aluminium Sulfat dan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) pada Pengolahan Limbah Cair B3 PT X

Rosalina Hasan* dan Aisha Khoirunnisa

Program Studi Pengolahan Limbah Industri, Politeknik AKA Bogor, Tanah Baru, Bogor, 16154, Indonesia

Email: rosalinahasan89@gmail.com

(Received: 15 September 2023; Accepted: 31 Mei 2024; Published: 23 Juli 2024)

Abstrak

Limbah cair B3 dari bagian produksi akan diolah di *Waste Water Treatment Plant* (WWTP) PT.X yaitu bak E. Limbah cair B3 bak E merupakan hasil olahan pengolahan primer I yang menggunakan koagulan aluminium sulfat. Limbah tersebut selanjutnya diolah dengan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) di pengolahan primer II. Adanya perbedaan penggunaan koagulan menyebabkan dilakukan perbandingan untuk menentukan koagulan yang paling efektif digunakan dengan metode *jar test*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan efektivitas penggunaan koagulan aluminium sulfat dan PAC dalam penurunan kadar parameter COD, TSS dan kekeruhan Limbah Cair B3 di PT X, serta keekonomisan harga koagulan. Penelitian efektivitas koagulan aluminium sulfat dan PAC terbagi menjadi tiga tahap. Pada tahap persiapan terdiri dari pengujian *jar test* untuk penentuan pH optimum dan dosis koagulan. Tahap pengukuran parameter uji untuk mengetahui kadar COD, TSS, dan kekeruhan. Tahap interpretasi data untuk mengetahui persen efektivitas koagulan yang digunakan yang dibandingkan dengan keekonomisan harga koagulan yang digunakan. Berdasarkan penelitian dapat disimpulkan bahwa kedua koagulan dapat digunakan dalam mengolah air limbah yang ada di PT X karena memiliki persen efektivitas yang tinggi dalam menurunkan parameter COD, TSS, dan kekeruhan, namun dari segi ekonomis, koagulan aluminium sulfat lebih murah Rp.2.520.000/bulan dibandingkan dengan koagulan PAC.

Kata kunci: Limbah cair B3; *Jartest*; COD; TSS; Kekeruhan; PAC; Alumunium Sulfat

Abstract

B3 liquid waste from the production section will be processed in the *Waste Water Treatment Plant* (WWTP) PT.X. B3 liquid waste is then treated with *Poly Aluminum Chloride* (PAC) in primary treatment II. The differences in coagulant used led to a comparison to determine the most effective coagulant. The *jar test* method was used to determined. This experiment aims to determine the comparative effectiveness of using aluminum sulfate and PAC coagulants in reducing levels of COD, TSS and turbidity parameters of B3 liquid waste at PTX. The experiments on the effectiveness of aluminum sulfate and PAC coagulants were preparation stage consists of testing a *jar test* to determine the optimum pH and coagulant dosage, the test parameter measurement stage is to determine COD, TSS and turbidity levels and the data interpretation stage is to determine the percent effectiveness of the coagulant used compared to the economical price of the coagulant. Based on the experiment, it can be concluded that both coagulants can be used to treat wastewater at PT months compared with PAC coagulant. However from an economic point of view, aluminum sulfate coagulant is Rp.2,520,000/month cheaper than PAC coagulant Limbah.

Keywords : Liquid B3 waste; *Jartest*; COD; TSS; Turbidity; PAC; Alumunium Sulfate

PENDAHULUAN

Limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung B3. Limbah B3 yang dihasilkan suatu kegiatan perlu dilakukan pengolahan untuk menghindari adanya kerusakan lingkungan (Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021). PT X merupakan industri kimia yang berfokus pada produksi dispersi polimer dan bahan kimia proses. Produk yang dihasilkan berupa bahan baku kimia yang digunakan oleh beberapa industri sebagai bahan baku dalam pembuatan produk seperti cat,

tekstil, dan kertas sehingga dapat menghasilkan limbah B3.

Limbah B3 yang dihasilkan di PT X dapat berbentuk cair, padat, dan gas. Limbah cair B3 ini dihasilkan dari bagian produksi yang menggunakan sistem *batch*. Limbah ini akan diolah secara fisika, kimia, dan biologi yang disebut dengan *Waste Water Treatment* (WWT). Pengolahan limbah dengan sistem *batch* dapat menghasilkan data hasil pengecekan yang berbeda-beda dikarenakan karakteristik limbah yang diolah berbeda. Salah satu unit pengolahan yang ada di WWT PT X adalah bak

E. Limbah bak E merupakan hasil olahan dari pengolahan primer I yang diolah menggunakan koagulan aluminium sulfat. Limbah tersebut akan diolah kembali menggunakan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) di pengolahan primer II secara fisika dan kimia yang nantinya akan terbentuk menjadi dua bagian yaitu air dan flok. Hasil olahan dari pengolahan primer II akan masuk ke dalam tahap pengolahan biologi, yang membutuhkan bantuan bakteri untuk mereduksi senyawa atau polutan yang terkandung di dalam limbah. Senyawa kimia yang terkandung dalam PAC bersifat lebih aktif pada proses reaksi pembentukan flok, lebih unggul menghasilkan kualitas air pada dosis optimum yang rendah dan dampak yang ditimbulkan lebih sedikit dibandingkan dengan aluminium sulfat (Linggawati, 2006).

Proses pengolahan primer I dan II di PT X menggunakan koagulan dan *chemical* yang berbeda untuk menaikkan pH dan mengendapkan *sludge* sehingga menyebabkan proses pengadaan bahan kimia menjadi tidak efisien dalam penyimpanan maupun pemborosan dalam pembelian bahan kimia. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui kemungkinan untuk menggunakan satu jenis koagulan apakah alum atau PAC yang bisa digunakan di bak pengolahan primer I dan II sehingga hasilnya lebih efektif dan murah untuk mengolah limbah cair B3.

Adanya penggunaan koagulan aluminium sulfat dan PAC untuk proses pengolahan menyebabkan industri kesulitan dalam penyimpan bahan kimia maupun dalam pembelian bahan kimia yang lebih boros. Oleh karena itu perlu dilakukan perbandingan efektivitas untuk menentukan koagulan yang paling efektif digunakan dengan penelitian skala laboratorium, yaitu metode *jar test*. Penelitian skala laboratorium menggunakan proses koagulasi dan flokulasi yang berfungsi untuk menentukan dosis optimum dari suatu koagulan yang digunakan dalam pengolahan air limbah disebut dengan *jar test* sehingga efektif untuk menurunkan nilai TSS dan COD dari limbah cair B3

Penentuan dosis koagulan optimum pada proses koagulasi sangat penting untuk diketahui guna mereduksi tingkat COD, TSS dan kekeruhan. *chemical oxygen demand* (COD) merupakan banyaknya oksigen dalam satuan mg/L yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi. Semakin tinggi kadar COD maka akan semakin buruk kualitas air karena menunjukkan adanya bahan pencemar organik dalam jumlah yang buruk (Purwaningsih, 2008). *Total Suspended Solid* (TSS) merupakan suatu padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut dan tidak dapat langsung mengendap biasanya dapat disaring menggunakan kertas berpori-pori 0,45 μm (Effendi, 2003). Kekeruhan pada air merupakan salah satu parameter penting dalam air karena dapat mengurangi segi estetika dan

sulitnya cahaya matahari dalam menembus air sehingga menyebabkan kerusakan pada ekosistem perairan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan efektivitas penggunaan koagulan aluminium sulfat sebagai pengolahan primer II dari bak E di PT X. Pemilihan koagulan yang paling efektif dapat dilihat dari persen penurunan terbesar terhadap parameter yang diuji yaitu TSS, COD dan kekeruhan serta harga keekonomisan koagulan yang digunakan.

METODOLOGI

Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari alat utama dan alat pendukung. Alat utama yang digunakan adalah *jar test merk Velp Scientifica JLT4*, oven merk *Memmert*, pH meter *HANNA HI 8424*, pH lakmus universal, peralatan menyaring (kertas saring merk *CEM Square Sample Pads* ukuran 0,45 μm , *vacuum*, dan corong *Buchner*), spektrofotometer sinar tampak *Merck Prove 100*, dan *spectroquant TR 320 Merck* (reactor COD). Alat pendukung terdiri dari *bulb*, gelas ukur 100 mL, gelas kimia 1000 mL dan 250 mL, jeriken untuk sampel, neraca analitik 4 desimal merk *Sartorius*, pipet mohr 5 mL, dan pipet tetes.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan uji dan bahan kimia. Bahan uji yang digunakan adalah air hasil produksi yang telah diolah di pengolahan primer I yang ditampung di bak E di PT X. Bahan kimia yang digunakan yaitu aluminium sulfat 8,13% sebagai koagulan, COD *cell test Merck* dengan range 25-1.500 mg/L, *demineralized water*, larutan asam sulfat (H_2SO_4) 10% untuk menurunkan pH, larutan caustic (NaOH) 40% untuk menaikkan pH, *Rheomax DR1050* 0,1% sebagai flokulan, dan PAC 8% sebagai koagulan.

Persiapan Sampel

Tahap persiapan terdiri dari pengambilan sampel air limbah berupa limbah hasil pengolahan primer I yang ada di bak E. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan alat pengambil sampel dan ditampung ke dalam jeriken.

Pengujian Jar Test

Pelaksanaan pengujian koagulasi dan flokulasi dilakukan dengan menggunakan dua koagulan yaitu aluminium sulfat dan PAC. Pengujian *jar test* terdiri dari penentuan pH optimum dan dosis optimum koagulan yang mengacu pada SNI 19-6449-2000 tentang metode pengujian koagulasi flokulasi dengan cara *jar test*.

Penentuan pH Optimum

Variasi pH pada penelitian ini ditentukan berdasarkan rentang kerja yang lebih efektif dari koagulan aluminium sulfat dan PAC. Rentang pH yang bekerja lebih efektif untuk koagulan

aluminium sulfat adalah 6-8, sedangkan untuk PAC adalah 6-9 (Andriani et al., 2017).

Sampel bak E sebanyak 500 mL dimasukkan ke gelas kimia 1.000 mL sebanyak 4 buah. Gelas kimia ditempatkan sedemikian rupa hingga pengaduk berada di tengah. pH sampel diatur berurutan dari pH 6, 7, 8, dan 9 menggunakan larutan NaOH 40% untuk menaikkan pH dan larutan H₂SO₄ 10% untuk menurunkan pH. Pengaturan pH dilakukan dengan menggunakan pipet tetes. Masing-masing sampel ditambahkan koagulan sebanyak 2,5 mL, kemudian dilakukan pengadukan dengan kecepatan 120 rpm selama 1 menit sebagai proses koagulasi, dilanjutkan dengan penambahan flokulan *Rheomax* DR1050 0,1% sebanyak 3 mL dan diatur kecepatannya menjadi 45 rpm selama 20 menit sebagai proses flokulasi. Limbah bak E hasil *jar test* dibiarkan mengendap selama 1 jam.

Penentuan pH optimum koagulan aluminium sulfat dan PAC dapat dilihat berdasarkan hasil parameter COD, TSS, dan kekeruhan yang memiliki nilai terendah. Penelitian ini mengacu pada SNI 19-6449-2000.

Penentuan Dosis Koagulan Optimum

Sampel bak E sebanyak 500 mL dimasukkan ke gelas piala 1.000 mL sebanyak 4 buah. Gelas piala ditempatkan sedemikian rupa hingga pengaduk berada di tengah. pH sampel diatur sesuai dengan pH optimum masing-masing koagulan menggunakan larutan NaOH 40% untuk menaikkan pH dan larutan H₂SO₄ 10% untuk menurunkan pH. Pengaturan pH dilakukan dengan menggunakan pipet tetes. Masing-masing sampel ditambahkan koagulan dengan variasi dosis (16; 32; 48; 64) mg/L, kemudian dilakukan pengadukan dengan kecepatan 120 rpm selama 1 menit sebagai proses koagulasi, dilanjutkan dengan penambahan flokulan *Rheomax* DR1050 0,1% sebanyak 5 mL dan diatur kecepatannya menjadi 45 rpm selama 20 menit sebagai proses flokulasi. Limbah bak E hasil *jar test* dibiarkan mengendap selama 1 jam.

Penentuan dosis koagulan optimum koagulan aluminium sulfat dan PAC dapat dilihat berdasarkan hasil parameter COD, TSS, dan kekeruhan yang memiliki nilai terendah. Dosis koagulan yang dibutuhkan untuk *jar test* dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Dosis } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{\text{kons. koagulan} \times V \text{ koagulan}}{V \text{ sampel}}$$

| | |
|----------------|---|
| Keterangan | : |
| Kons. Koagulan | : Konsentrasi PAC/Aluminium Sulfat (mg/L) |
| V Koagulan | : Volume PAC /Aluminium Sulfat (mg/L) |
| V Sampel | : Volume Sampel (mL) |

Tahap Pengukuran Parameter Uji

Pengukuran parameter uji dilakukan pada sampel sebelum dan setelah pengolahan. Pengukuran parameter uji pada sampel sebelum pengolahan bertujuan untuk mengetahui kadar awal bahan uji. Pengukuran parameter uji pada sampel setelah pengolahan bertujuan untuk mengetahui kadar akhir bahan uji yang didapatkan setelah pengolahan, untuk menghitung efektivitas penggunaan koagulan dalam penelitian yang telah dilakukan. Parameter yang digunakan akan saling berkaitan, sehingga apabila satu parameter mengalami penurunan diharapkan parameter lain juga akan mengalami penurunan.

Chemical Oxygen Demand (COD)

Sampel sebelum dan sesudah pengolahan disaring menggunakan kertas saring CEM, dipipet sebanyak 3 mL ke *cell test* COD *high range* 25-1500 mg/L, kemudian *cell test* ditutup rapat dan dihomogenkan. *Cell test* yang berisi sampel dipanaskan di COD reaktor *spectroquant* TR 320 *MERCK* pada suhu 150°C selama 120 menit. Setelah 120 menit *cell test* COD diangkat dan didinginkan sampai suhu ruang. Kadar COD diukur menggunakan spektrofotometer sinar tampak *probe 100*. Hasil yang didapatkan dicatat. Prosedur pengukuran COD mengacu pada *Standard Operating Procedure* (SOP) perusahaan (RCW/C3/FF/015).

Total Suspended Solid (TSS)

Kertas saring ditimbang sebagai *W₀*. Alat vakum dan corong *Buchner* disiapkan. Sampel air limbah sebelum dan sesudah *jar test* dituangkan sebanyak 100 mL ke gelas ukur 100 mL. Diletakkan kertas saring di atas corong *Buchner*, lalu tuangkan sampel dan dibilas menggunakan *demin water* sebanyak dua kali. Setelah itu, angkat kertas saring beserta residu menggunakan spatula. Selanjutnya, dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105°C selama 60 menit. Setelah itu, didinginkan di desikator selama 15-30 menit. Kertas saring yang sudah dingin ditimbang sebagai *W₁*. Pengujian TSS mengacu pada *Standard Operating Procedure* (SOP) perusahaan (RCW/C3/FF/048). Kadar TSS dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{TSS } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{(W_1 - W_0)g \times 10^3 \frac{\text{mg}}{\text{g}} \times 10^3 \frac{\text{mL}}{\text{L}}}{\text{Volume Sampel (mL)}}$$

| | |
|----------------------|---|
| Keterangan | : |
| <i>W₀</i> | : Bobot kertas saring kosong sebelum dioven (g) |
| <i>W₁</i> | : Bobot kertas saring + residu setelah dioven (g) |

Kekeruhan

Sampel sebelum dan sesudah pengolahan dituang ke dalam kuvet 50 mm. Sebelum kuvet digunakan sebaiknya dibilas terlebih dahulu menggunakan *demin water* sebanyak dua kali. Dibilas dengan sampel sebanyak dua kali. Lalu, dimasukkan sampel ke dalam kuvet dan bagian luar kuvet dilap menggunakan tisu. Setelah itu, kuvet dimasukkan ke dalam spektrofotometer dan pilih metode untuk pengukuran kekeruhan pada spektrofotometer. Selanjutnya, kadar kekeruhan diukur menggunakan spektrofotometer sinar tampak prove 100. Hasil yang terdapat pada layar spektrofotometer dicatat sebagai hasil. Prosedur pengukuran kekeruhan mengacu pada *Standard Operationg Procedure* (SOP) perusahaan (RCW/C3/FF/018).

Interpretasi Data

Persen Efektivitas

Data yang didapatkan dari hasil pengukuran COD, TSS, dan kekeruhan dihitung efektivitas penurunannya. Nilai yang diperoleh akan dibandingkan antara koagulan aluminium sulfat dan PAC. Nilai persen efektivitas dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$%E = \frac{(Ps - Po)mg/L}{Ps mg/L} \times 100\%$$

| | |
|------------|--|
| Keterangan | : |
| %E | : Persen efektivitas |
| Ps | : Hasil pengukuran sampel sebelum pengolahan |
| Po | : Hasil pengukuran sampel setelah pengolahan |

Tidak hanya dari penentuan persen efektivitas penurunan pengukuran sampel sebelum dan sesudah pengolahan saja dalam menentukan efektivitas penggunaan koagulan. Efektivitas juga dapat dilihat dari keekonomisan harga koagulan yang digunakan dan banyaknya *sludge* yang dihasilkan pada proses pengolahan air limbah.

Keekonomisan Pemakaian Koagulan Aluminium sulfat dan PAC

Perhitungan nilai keekonomisan pemakaian koagulan dilihat berdasarkan harga pembelian koagulan perkg dan banyaknya jumlah koagulan yang digunakan untuk mengolah limbah cair B3 dalam menurunkan kandungan TSS dan COD serta kekeruhan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut (PP NOMOR 22, 2021) tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, limbah adalah sisa suatu Usaha dan/atau Kegiatan. Air limbah adalah air yang berasal dari suatu proses dalam suatu kegiatan. Pengolahan air limbah merupakan proses penghilangan dan/atau pengurangan kandungan

bahan pencemar seperti bahan organik, padatan tersuspensi serta organisme yang terdapat dalam air. Tabel 1 menunjukkan karakteristik awal air limbah sebelum *jar test* pada parameter COD sebesar 1108 mg/L, TSS sebesar 86 mg/L, dan kekeruhan sebesar 72 FAU.

Tabel 1. Karakteristik Awal Air Limbah Sebelum *Jar Test*

| Parameter | Satuan | Hasil Analisis | TOP |
|-----------|--------|----------------|-------------|
| COD | mg/L | 1108 | ≤ 1000 mg/L |
| TSS | mg/L | 86 | ≤ 100 mg/L |
| Kekeruhan | FAU | 72 | ≤ 70 FAU |

| | |
|------------|--|
| Keterangan | : |
| TOP | : <i>Target Operational Procedure</i> PT X (RCW/C06/FF/WI/32/02) |
| FAU | : <i>Formazine Attenuation Unit</i> |

Tabel 1 menunjukkan karakteristik awal air limbah sebelum *jar test* pada parameter COD sebesar 1108 mg/L, TSS sebesar 86 mg/L, dan kekeruhan sebesar 72 FAU. Dari hasil ketiga parameter belum memenuhi TOP perusahaan, sehingga diperlukan pengolahan lebih lanjut agar sesuai dengan TOP perusahaan. Pengolahan lebih lanjut ini dilakukan di pengolahan primer II secara koagulasi-flokulasi. Menurut Rusdi dan Wardalia, 2016 menyatakan koagulan PAC lebih tinggi dalam menurunkan TSS limbah hasil pencucian motor dari pada koagulan aluminium sulfat hal ini karena koagulan PAC dapat membentuk Flok lebih cepat dengan agregat yang lebih padat dibandingkan dengan koagulan alum. Penelitian dari (Khaer, 2016) menyatakan bahwa pemanfaatan aluminium sulfat sebagai koagulan mampu menurunkan nilai COD limbah cair pencucian kendaraan bermotor karena terjadi setelah penambahan koagulan aluminium sulfat terjadi proses penggumpalan partikel koloid yang banyak dan dengan proses sedimentasi selama 2 jam menyebabkan terjadi proses pengendapan zat-zat organik sehingga berpengaruh dengan pada kadar COD yang diperiksa.

Parameter Uji Air Limbah

Pengujian terhadap beberapa parameter yang terkandung pada air limbah sangat diperlukan, agar ketika air limbah dibuang ke lingkungan tidak akan mencemari atau merusak lingkungan. Pada penelitian ini parameter-parameter yang akan diuji yaitu COD, TSS, dan kekeruhan.

COD merupakan banyaknya oksigen dalam satuan mg/L yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi. Semakin tinggi kadar COD maka akan semakin buruk kualitas air tersebut karena menunjukkan adanya bahan pencemar organik dalam jumlah yang buruk (Purwaningsih, 2008). TSS merupakan suatu padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut dan tidak

dapat langsung mengendap biasanya dapat disaring menggunakan kertas berpori-pori 0,45 µm (Effendi, 2003). Kekeruhan pada air merupakan salah satu parameter penting dalam air karena dapat mengurangi segi estetika dan sulitnya cahaya matahari dalam menembus air sehingga menyebabkan kerusakan pada ekosistem perairan. Kekeruhan didefinisikan sebagai intensitas kegelapan di dalam air yang disebabkan oleh bahan-bahan yang melayang (Mahida, 1986). Pada umumnya, kekeruhan erat kaitannya dengan TSS. Semakin tinggi kadar TSS, maka kadar kekeruhan juga semakin tinggi. Kekeruhan dapat menyebabkan cahaya matahari tidak dapat masuk ke dalam air sehingga proses ekosistem dan fotosintesis akan terganggu.

Penentuan pH Optimum

Penentuan pH optimum ini dilakukan untuk menentukan kondisi pH yang sesuai untuk proses koagulasi-flokulasi dengan menggunakan koagulan aluminium sulfat dan PAC yang mempunyai rentang kerja pH optimum masing-masing. Data hasil penelitian menggunakan koagulan aluminium sulfat dan PAC dapat dilihat pada Tabel 2.

Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa koagulan aluminium sulfat atau alum pada pH 9 dapat menurunkan kadar COD sebesar 1010 mg/L. Koagulan PAC pada pH 8 dapat menurunkan kadar COD sebesar 981 mg/L. Hal ini dikarenakan terjadi reaksi antara $K_2Cr_2O_7$ dengan zat organik yang ada di dalam sampel dengan asam sulfat yang bertindak sebagai katalis. Kalium dikromat dapat mengoksidasi bahan-bahan organik dengan sempurna harus berlangsung dalam suasana asam kuat dan temperature tinggi (150°C). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

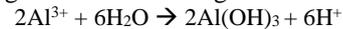


Pada variasi pH 7, koagulan aluminium sulfat dapat menurunkan kadar TSS sebesar 40 mg/L. Koagulan PAC dapat menurunkan kadar TSS sebesar 16 mg/L pada pH 8.

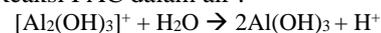
Koagulan aluminium sulfat dapat menurunkan kadar kekeruhan pada air limbah sebesar 6 FAU pada pH 7. Pada pH 8, koagulan PAC dapat menurunkan kadar kekeruhan sebesar 4 FAU. Hal ini disebabkan penambahan koagulan berbanding lurus dengan penurunan nilai kekeruhan.

Penentuan pH optimum menggunakan koagulan aluminium sulfat dan PAC dapat dilihat berdasarkan parameter yang memiliki nilai akhir terkecil. Jika dilihat pada Tabel 2, koagulan aluminium sulfat memiliki nilai akhir terkecil 2 dari 3 parameter yaitu TSS dan kekeruhan. Oleh karena itu, pH optimum pada aluminium sulfat berada pada pH 7. Hal ini dikarenakan aluminium sulfat dapat memutus rantai C-C pada limbah polimer pada pH

di bawah 4. Alum sulfat dapat digunakan untuk menurunkan pH air limbah sekaligus dapat bereaksi untuk membentuk flok (endapan). Reaksi alum sulfat dengan air limbah sebagai berikut :



Rentang pH kerja aluminium sulfat berada di pH 5,5 – 8,5 (Said, 2017). Pada Tabel 2, pH optimum untuk koagulan PAC berada pada pH 8 karena ketiga parameter memiliki nilai akhir terkecil. Nilai akhir COD, TSS, dan kekeruhan yang dihasilkan secara berturut-turut 981 mg/L, 16 mg/L, dan 4 FAU. Hal ini disebabkan karena PAC ($Al_{12}Cl_{12}(OH)_{24}$) dapat menghilangkan partikel tersuspensi dalam air limbah, sehingga hasil yang diberikan lebih optimal dibanding penggunaan alum sulfat. Reaksi PAC dalam air :



Rentang pH kerja PAC berada pada pH 6-9 (Hutomo, 2015). Berdasarkan hasil penurunan pH dapat dilihat bahwa reaksi aluminium sulfat dengan air dan reaksi PAC dengan air akan terjadi reaksi hidrolisis. Alum dapat melepas ion H^+ sebanyak $6H^+$, sedangkan pada reaksi hidrolisis PAC hanya dilepaskan satu buah ion H^+ . Hal ini akan menyebabkan pH air yang menggunakan alum akan bersifat lebih asam daripada yang menggunakan koagulan PAC.

Penentuan Dosis Optimum Koagulan

Penentuan dosis koagulan optimum dilakukan setelah penentuan pH optimum, maka dilanjutkan dengan nilai akhir pencemar terkecil. Pada Tabel 3 bahwa penurunan nilai dari ketiga parameter berbanding lurus dengan dosis koagulan yang diberikan. Dengan demikian, semakin besar dosis koagulan aluminium sulfat yang diberikan, maka semakin besar nilai penurunan yang dihasilkan dan sebaliknya. Pada dosis koagulan 16 mg/L nilai akhir COD, TSS, dan kekeruhan yang dihasilkan secara berturut-turut 1010 mg/L, 48 mg/L, dan 8 FAU. Hal ini menunjukkan bahwa dosis koagulan yang paling sesuai untuk mengolah limbah di PT X pada pengolahan primer II sebesar 16 mg/L karena dapat menghasilkan nilai pencemar terkecil.

Tabel 3 untuk koagulan PAC menunjukkan bahwa pada dosis 32 mg/L, nilai dari ketiga parameter mengalami penurunan nilai terbesar. Dengan nilai akhir parameter COD, TSS, dan kekeruhan yang dihasilkan secara berturut-turut 967 mg/L, 15 mg/L, dan 5 FAU. Hal ini menunjukkan bahwa dosis koagulan yang paling sesuai untuk mengolah limbah di PT X pada pengolahan primer II sebesar 32 mg/L karena dapat menghasilkan nilai pencemar terkecil. Untuk menentukan koagulan yang paling efektif pada pengolahan primer II di PT X perlu dilakukan perbandingan efektivitas.

Tabel 2. Hasil Penurunan Parameter Uji Setelah Jar Test untuk Penentuan pH Optimum Menggunakan Koagulan Aluminium Sulfat dan PAC

| pH | COD (mg/L) | | | TSS (mg/L) | | | Kekeruhan (FAU) | | |
|------------|--------------------|------------------|------|-------------------|------------------|-----|--------------------|------------------|-----|
| | Kadar Sebelum | Kadar Sesudah | | Kadar Sebelum | Kadar Sesudah | | Kadar Sebelum | Kadar Sesudah | |
| | | Alum | PAC | | Alum | PAC | | Alum | PAC |
| 6 | 1108 | 1020 | 990 | 86 | 57 | 30 | 72 | 10 | 7 |
| 7 | | 1014 | 1011 | | 40 | 28 | | 6 | 6 |
| 8 | | 1025 | 981 | | 56 | 16 | | 9 | 4 |
| 9 | | 1010 | 998 | | 42 | 34 | | 11 | 5 |
| TOP | ≤ 1000 mg/L | | | ≤ 100 mg/L | | | ≤ 70 FAU | | |

Keterangan :

-  : Hasil terkecil
- TOP : *Target Operational Procedure* PT X (RCW/C06/FF/WI/32/02)
- FAU : *Formazine Attenuation Unit*

Tabel 3. Hasil Penurunan Parameter Uji Setelah Jar Test untuk Penentuan Dosis Koagulan Optimum menggunakan Koagulan Aluminium Sulfat dan PAC

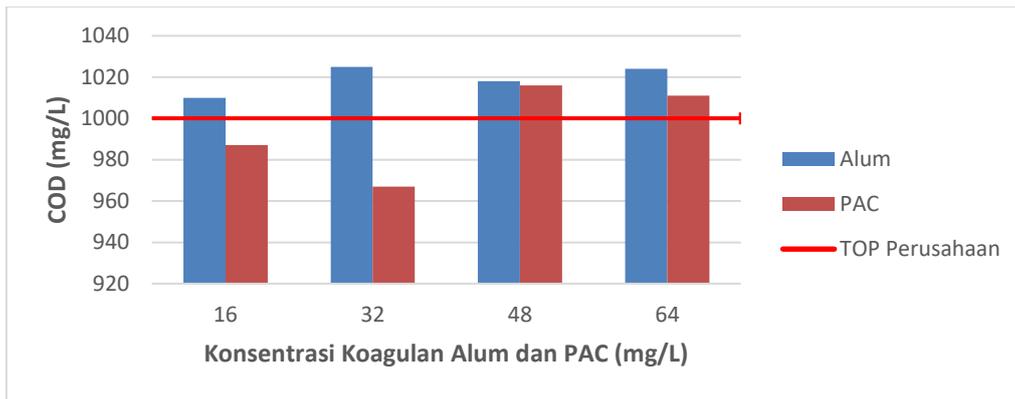
| Dosis (mg/L) | COD (mg/L) | | | TSS (mg/L) | | | Kekeruhan (FAU) | | |
|-----------------|--------------------|------------------|------|-------------------|------------------|-----|--------------------|------------------|-----|
| | Kadar Sebelum | Kadar Sesudah | | Kadar Sebelum | Kadar Sesudah | | Kadar Sebelum | Kadar Sesudah | |
| | | Alum | PAC | | Alum | PAC | | Alum | PAC |
| 16 | 1108 | 1010 | 987 | 86 | 48 | 17 | 72 | 8 | 6 |
| 32 | | 1025 | 967 | | 52 | 15 | | 9 | 5 |
| 48 | | 1018 | 1016 | | 69 | 17 | | 9 | 5 |
| 64 | | 1024 | 1011 | | 75 | 16 | | 10 | 5 |
| TOP | ≤ 1000 mg/L | | | ≤ 100 mg/L | | | ≤ 70 FAU | | |

Chemical Oxygen Demand (COD)

Kadar COD mengalami penurunan setelah ditambahkan koagulan aluminium sulfat dan PAC. Data penurunan kadar COD dapat dilihat pada Gambar 1. Gambar tersebut memperlihatkan penambahan aluminium sulfat (0, 16, 32, 48, dan 64) mg/L dapat menurunkan kadar COD masing-masing sebesar (1108, 1010, 1025, 1018, 1024) mg/L dengan rentang efektivitas (7,49-8,84)%. Persen tertinggi efektivitas pada aluminium sulfat terjadi pada konsentrasi 16 mg/L. Penambahan PAC dengan konsentrasi yang sama dapat menurunkan kadar COD masing-masing sebesar (1108, 987, 967, 1016, dan 1011) mg/L dengan rentang efektivitas (8,30-12,73)%. Persen efektivitas tertinggi pada

penggunaan PAC terjadi pada konsentrasi 32 mg/L.

Efektivitas penurunan kadar COD dari hasil *jar test* yang telah dilakukan tidak terlalu tinggi karena pada dasarnya COD yang terkandung dalam air limbah tidak dapat dihilangkan ataupun direduksi hanya dari pengolahan sekunder. COD akan mengalami penurunan yang signifikan dalam pengolahan biologi baik secara aerob maupun anaerob. Oleh karena itu, dibutuhkan pengolahan lanjutan secara biologi untuk menurunkan kadar COD yang ada pada sampel *jar test*, karena masih jauh dari baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan oleh pemerintah, yaitu 100 mg/L.

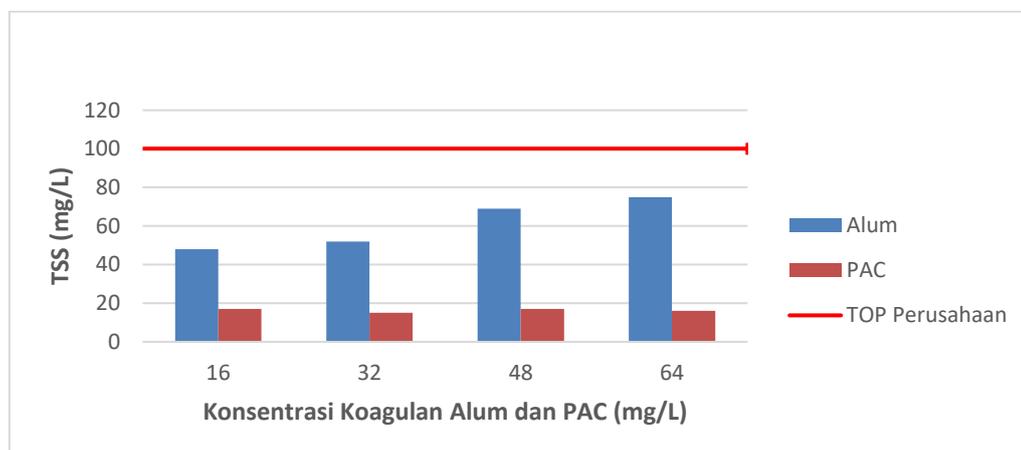


Gambar 1. Hubungan antara Konsentrasi Koagulan (mg/L) dengan Kadar COD (mg/L)

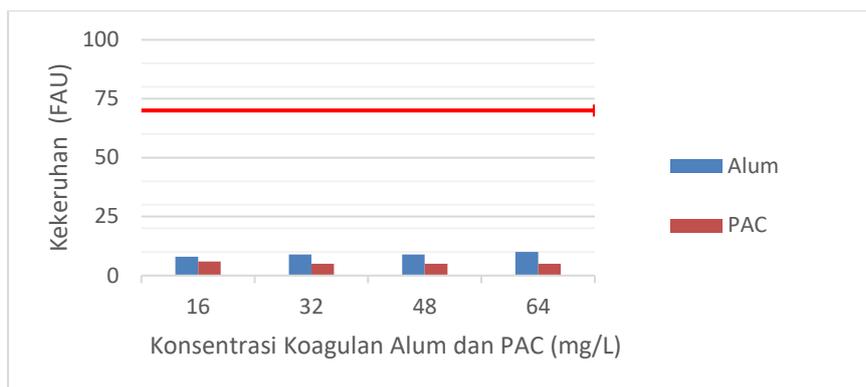
Total Suspended Solid (TSS)

Kadar TSS mengalami penurunan setelah ditambahkan koagulan aluminium sulfat dan PAC. Pada Gambar 2 terlihat Penambahan aluminium sulfat (0, 16, 32, 48, dan 64) mg/L dapat menurunkan kadar TSS masing-masing sebesar (86, 48, 52, 69, 75) mg/L dengan rentang efektivitas (12,79-44,19)%. Persen tertinggi efektivitas pada aluminium sulfat terjadi pada konsentrasi 16 mg/L. Penambahan PAC dengan konsentrasi yang sama dapat menurunkan kadar TSS masing-masing sebesar (86, 17, 15, 17, 16) mg/L dengan rentang efektivitas (80,23-82,56)%. Persen efektivitas tertinggi pada penggunaan PAC terjadi pada konsentrasi 32 mg/L.

Dari hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa besarnya dosis koagulan berpengaruh pada penurunan kadar TSS. Konsentrasi koagulan yang rendah dapat mengakibatkan kemampuan untuk membentuk flok berkurang sehingga penurunan kadar TSS tidak terlalu besar sedangkan jika konsentrasi koagulan yang diberikan terlalu tinggi maka flok yang terbentuk juga tidak optimal. Gambar 2 menunjukkan bahwa aluminium sulfat dapat menurunkan kadar TSS < 50%, sedangkan untuk PAC dapat menurunkan kadar TSS > 80%. Hal ini disebabkan karakteristik yang terdapat pada masing-masing koagulan berpengaruh dalam proses sedimentasi pada proses pengolahan air limbah.



Gambar 2. Hubungan antara Konsentrasi Koagulan (mg/L) dengan Kadar TSS (mg/L)



Gambar 3. Hubungan antara Konsentrasi Koagulan (mg/L) dengan Kadar kekeruhan (FAU)

Kekeruhan

Kadar kekeruhan mengalami penurunan setelah ditambahkan koagulan aluminium sulfat dan PAC. Pada Gambar 3 terlihat bahwa penambahan aluminium sulfat (0, 16, 32, 48, dan 64) mg/L dapat menurunkan kadar kekeruhan masing-masing sebesar (72, 8, 9, 9, 10) FAU dengan rentang efektivitas (86,11-88,89)% . Persen tertinggi efektivitas pada aluminium sulfat terjadi pada konsentrasi 16 mg/L. Penambahan PAC dengan konsentrasi yang sama dapat menurunkan kadar kekeruhan masing-masing sebesar (72, 6, 5, 5, 5) FAU dengan Persen efektivitas tertinggi pada penggunaan PAC terjadi pada konsentrasi 32 mg/L.

Penurunan kadar kekeruhan terjadi karena pengotor yang ada di dalam air limbah bermuatan negatif sehingga terjadi tarik-menarik dengan koagulan yang bermuatan positif sehingga terbentuklah flok yang dapat menurunkan kadar kekeruhan pada air limbah. Gambar 3 menunjukkan bahwa penggunaan dosis koagulan yang tinggi tidak selalu menghasilkan penurunan yang besar.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk mengetahui nilai efektivitas penggunaan koagulan aluminium sulfat dan PAC terhadap parameter COD, TSS, dan kekeruhan. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perbandingan Efektivitas (%) Penambahan Koagulan Aluminium Sulfat dan PAC

| Dosis Koagulan (mg/L) | COD | | TSS | | Kekeruhan | |
|-----------------------|----------|---------|----------|---------|-----------|---------|
| | Alum (%) | PAC (%) | Alum (%) | PAC (%) | Alum (%) | PAC (%) |
| 16 | 8,84 | 10,92 | 44,19 | 80,23 | 88,89 | 91,67 |
| 32 | 7,49 | 12,73 | 39,53 | 82,56 | 87,50 | 93,06 |
| 48 | 8,12 | 8,30 | 19,77 | 80,23 | 87,50 | 93,06 |
| 64 | 7,58 | 8,75 | 12,79 | 81,40 | 86,11 | 93,06 |

Keterangan :



: Persen efektivitas (%) tertinggi suatu parameter pada kondisi koagulan tertentu

Tabel 4 menunjukkan bahwa setiap koagulan memiliki karakteristik yang berbeda, sehingga hasil yang diberikan juga memiliki perbedaan. Koagulan PAC lebih banyak menurunkan kadar COD, TSS, dan kekeruhan walaupun penggunaannya dua kali lipat dan menghasilkan *sludge* yang lebih banyak dari aluminium sulfat. Penggunaan PAC ini lebih aman dan lebih efektif dilakukan di pengolahan primer II, dimana akan diolah lebih lanjut di pengolahan biologi. PAC dapat dikatakan lebih aman di pengolahan biologi karena konsentrasi PAC lebih rendah dibandingkan dengan aluminium sulfat, sehingga bakteri tidak mengalami *sludge bulking* karena kadar polutan yang terlarut tidak

terlalu tinggi dan dapat menguraikan senyawa organik dengan baik.

Keekonomisan Koagulan Aluminium Sulfat dan PAC

Aluminium sulfat merupakan bahan koagulan yang banyak dipakai untuk pengolahan air karena harganya murah dan efektif untuk air baku dengan kekeruhan yang tinggi. PAC merupakan bentuk polimerisasi kondensasi dari garam aluminium, berbentuk cair dan merupakan koagulan yang sangat baik. PAC dapat menghasilkan flok yang stabil pada suhu rendah dibandingkan aluminium sulfat (Said, 2017).

Harga aluminium sulfat di pasaran dijual dengan harga Rp.1.500,-/kg, sedangkan PAC Rp.2.500,-/kg (Susanto, 2018). Biaya penggunaan koagulan alum untuk 2-3 kali pengolahan sebesar Rp.36.000,-/hari atau Rp.1.080.000,-/bulan. Biaya untuk koagulan PAC untuk 2-3 kali pengolahan sebesar Rp.120.000,-/hari atau Rp.3.600.000,-/bulan. Jika dilihat dari perhitungan biaya, harga yang lebih ekonomis adalah koagulan aluminium sulfat, namun ketika dilakukan penelitian hasil parameter yang memiliki persen efektivitas penurunan terbesar terjadi pada penggunaan koagulan PAC. Oleh karena itu, untuk memenuhi standar perusahaan dalam pengolahan primer II sebaiknya menggunakan koagulan PAC walaupun harga koagulannya dua kali lebih besar dan menghasilkan *sludge* yang lebih banyak dibandingkan aluminium sulfat.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kedua koagulan dapat digunakan dalam mengolah air limbah yang ada di PT X karena memiliki persen efektivitas yang tinggi dalam menurunkan parameter COD, TSS, dan kekeruhan yang diharapkan oleh perusahaan. Namun koagulan PAC lebih efektif dalam pengolahan primer II pada pH 8 karena dapat menurunkan kadar COD, TSS, dan kekeruhan dengan persen efektivitas sebesar (12,73; 82,56; 93,06)% pada dosis optimum koagulan 32 mg/L walaupun menghasilkan *sludge* yang lebih banyak. Sementara untuk koagulan aluminium sulfat pada pH 7 dapat menurunkan kadar COD, TSS, dan kekeruhan sebesar (8,84; 44,19; 88,89)% pada dosis koagulan 16 mg/L. Jika dilihat dari segi ekonomis, koagulan aluminium sulfat lebih murah Rp.2.520.000/bulan dibandingkan dengan koagulan PAC. Namun penggunaan PAC dapat menurunkan kadar parameter COD, TSS dan kekeruhan yang lebih besar dibandingkan dengan koagulan aluminium sulfat.

DAFTAR PUSTAKA

Andriani, F., Darundiati, Y.H., & Dangiran, H.L. (2017). Efektivitas Pac (Poly Aluminium Chloride) Dalam Menurunkan Kadar Fosfat Pada Limbah Cair Rumah Sakit Jiwa Prof. Dr. Soerojo Magelang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat* 5(5), 659–665.

Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air*. Kanisius. Yogyakarta. Indonesia.

Husaini, S. S. (2018). *Perbandingan Koagulan Hasil Penelitian dengan Koagulan Komersial Menggunakan Metode Jar Test*. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*. 14(1): 31-45.

Jadid, M. M.E., Ummatrasa. R. A., & Bambang, W. (2019). *Pengaruh Jumlah Kapur dan PAC terhadap Penurunan Kadar Cu, TSS,*

Turbidity, dan pH pada Air Asam Tambang. *Jurnal Teknologi Separasi*. 5(2): 69 - 75.

Nugroho, W. A. (2020). *Analisis Pengaruh Ukuran Partikel Produk Dispersi Polimer terhadap Thickener Response di PT X*. Laporan Tugas Akhir Program Studi D3 Analisis Kimia. Politeknik AKA Bogor. Bogor

Nur, A., Anugrah, R, & Farna, Z. (2016). *Efektivitas dan Efisiensi Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC) Terhadap Performance IPA KTK PDAM Solok*. e-ISSN 2541-3880, 128 - 131.
http://lingkungan.ft.unand.ac.id/images/fileT/SNSTL_II/OP_023.pdf [20 Agustus 2022]

Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup 51/MENLH/10/1995 *Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri*

Pemerintah Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta

Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta. (2013). *Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 69 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan dan/atau Usaha*. Jakarta

Purwaningsih, I. (2008). *Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Cv. Batik Indah Raradjonggrang Yogyakarta dengan Metode Elektrokoagulasi Ditinjau dari Parameter Chemical Oxygen Demand (COD) dan Warna*. Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta

Ramadhani, R. G. (2021). *Perbandingan Efektivitas Koagulan Poly Ferric Sulfate dan Aluminium Sulfat terhadap Parameter Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solid (TSS), Warna, dan Kekeruhan di PT Prasadha Pamunah Limbah Industri*. Laporan Tugas Akhir Program Studi D3 Pengolahan Limbah Industri. Politeknik AKA Bogor. Bogor.

RamadinI, A. D. (2021). *Efisiensi Penurunan Kadar COD, TSS, dan Kekeruhan Pada Air Limbah PT Essence Indonesia Menggunakan Koagulan PAC dan Flokulan Nalco@9901 dengan Metode Jar Test*. Laporan Tugas Akhir Program Studi D3 Pengolahan Limbah Industri. Politeknik AKA Bogor. Bogor.

Rusdi dan Wardalia, (2016). *Pengolahan Limbah Jasa Pencucian Kendaraan dengan Metode koagulasi –Flokulasi*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengembangan SDA Indonesia. Yogyakarta. 17 Maret 2016

Said, N. I. (2017). *Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Erlangga. Jakarta.

SNI (Standar Nasional Indonesia). 19 – 6449 – 2000. *Metode Pengujian Koagulasi Flokulasi*

- dengan Cara Jar Test. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional-BSN
- Sutapa, I. D. (2014). *Optimalisasi Dosis Koagulan Aluminium Sulfat dan Poly Aluminium Klorida (PAC) untuk Pengolahan Air Sungai Tanjung dan Krueng Raya*. Jurnal Teknik Hidraulik. 5(1): 29-42.
- Tambunan, O. A. (2022). *Perbandingan Efektivitas Koagulan Aluminium Sulfat dan Poly Aluminium Chloride (PAC) pada Pengolahan Air Bersih di PT XYZ*. Laporan Tugas Akhir Program Studi D3 Pengolahan Limbah Industri. Politeknik AKA Bogor. Bogor.
- Yulianto, A., Hakim, L., Purwaningsih, I., & Pravitasari, V. A. (2009). Pengolahan limbah cair industri batik pada skala laboratorium dengan menggunakan metode elektrokoagulasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan Universitas Trisakti*, 5(1), pp-6.