

STUDI PENGARUH KOAGULASI-FLOKULASI DALAM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR LABORATORIUM JURUSAN TEKNIK KIMIA DALAM PENURUNAN KEKERUHAN DAN TSS

Yessy Prisca Yunia, Profiyanti Hermien Suharti, Prayitno

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

yessyprisca7@gmail.com ; [profiyanti@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Politeknik Negeri Malang, sebagai institusi pendidikan vokasional, menghasilkan limbah laboratorium kimia yang memerlukan pengelolaan khusus untuk mencegah dampak negatif terhadap lingkungan. Saat ini, limbah tersebut diolah dengan cara sederhana yang berpotensi membahayakan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas koagulan tawas dan PAC dalam proses koagulasi-flokulasi untuk pengolahan limbah laboratorium Jurusan Teknik Kimia (JTK) Politeknik Negeri Malang, dengan fokus pada parameter pH, kekeruhan, dan *Total Suspended Solid* (TSS). Metodologi penelitian ini melibatkan eksperimen di Laboratorium Pengolahan Limbah JTK Politeknik Negeri Malang. Limbah laboratorium diolah dengan koagulan tawas dan PAC pada berbagai dosis. Proses koagulasi dilakukan dengan pengadukan cepat diikuti oleh pengadukan lambat, dan hasilnya dianalisis untuk mengukur perubahan pH, kekeruhan, dan TSS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan koagulan tawas dan PAC mampu menurunkan pH limbah dari 8 menjadi 7, serta meningkatkan penurunan kekeruhan dan TSS. Koagulan PAC mencapai penurunan kekeruhan tertinggi sebesar 87% pada dosis 101 ppm, sementara tawas mencapai 72% pada dosis 80 ppm. Untuk TSS, PAC menunjukkan penurunan tertinggi sebesar 86,8% pada dosis 101 ppm, sedangkan tawas mencapai 72% pada dosis 80 ppm. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa PAC lebih efektif dalam menurunkan kekeruhan dan TSS dibandingkan tawas. Penggunaan alat pH meter dan rentang dosis koagulan yang lebih besar direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya guna mendapatkan hasil yang lebih akurat dan representatif.

Kata kunci: flokulasi, koagulasi, limbah laboratorium, PAC, tawas

ABSTRACT

Politeknik Negeri Malang, as a vocational education institution, generates chemical laboratory waste that requires special management to prevent negative environmental impacts. Currently, the waste is treated using a simple method that may pose environmental risks. This study aims to evaluate the effectiveness of alum and PAC coagulants in the coagulation-flocculation process for treating laboratory waste from the Chemical Engineering Department (JTK) at Politeknik Negeri Malang, focusing on pH, turbidity, and Total Suspended Solids (TSS) parameters. The research methodology involves experiments conducted in the Waste Treatment Laboratory of JTK Politeknik Negeri Malang. Laboratory waste is treated with alum and PAC coagulants at various doses. The coagulation process involves rapid mixing followed by slow mixing, and the results are analyzed to measure changes in pH, turbidity, and TSS. The results indicate that the addition of alum and PAC coagulants can reduce the waste pH from 8 to 7 and enhance the reduction of turbidity and TSS. PAC achieved the highest turbidity reduction of 87% at a dose of 101 ppm, while alum reached 72% at a dose of 80 ppm. For TSS, PAC showed the highest reduction of 86.8% at a dose of 101 ppm, compared to alum's 72% at a dose of 80 ppm. The conclusion of this study is that PAC is more effective in reducing turbidity and TSS than alum. The use of a pH meter and a broader range of coagulant doses are recommended for future research to obtain more accurate and representative results...

Keywords: coagulation, flocculation, laboratory waste, alum, PAC

Corresponding author: Yanty Maryanty

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: [yantymaryanty@polinema.ac.id](mailto:yanty.maryanty@polinema.ac.id)



1. PENDAHULUAN

Politeknik Negeri Malang adalah institusi pendidikan vokasional yang dilengkapi dengan laboratorium kimia sebagai fasilitas pendukung dalam proses belajar mengajar. Frekuensi penggunaan laboratorium kimia yang tinggi menghasilkan limbah dari kegiatan praktikum dan pengujian yang dilakukan. Setiap penggunaan bahan kimia dalam praktikum akan menghasilkan limbah, termasuk bahan kedaluwarsa, material yang sudah habis dipakai, produk prosesi laboratorium, sisa bahan kimia, air sisa pencuci peralatan, serta sisa sampel yang diperiksa [1]. Limbah tersebut harus dikelola dengan baik untuk mencegah dampak negatif terhadap lingkungan.

Limbah laboratorium Jurusan Teknik Kimia (JTK) Politeknik Negeri Malang saat ini diolah dengan cara menampung limbah sementara ke dalam bak kemudian dibuang ke sumur resapan [2]. Hal ini dapat membahayakan lingkungan karena limbah mengandung berbagai jenis bahan kimia dengan konsentrasi yang berbeda-beda, sehingga diperlukan pengolahan limbah lebih lanjut [3]. Salah satu metode yang dimanfaatkan untuk mengolah limbah cair adalah metode koagulasi-flokulasi. Proses koagulasi melibatkan pengadukan cepat untuk destabilisasi partikel koloid sehingga terbentuk flok-flok mikro, sedangkan pada proses flokulasi, flok-flok mikro akan bergabung menjadi flok lebih besar yang mengendap dengan cepat [4]. Kelebihan dari metode koagulasi dan flokulasi adalah langkahnya yang mudah dilakukan, efektif, dan prosesnya cepat.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Suidiana (2019) pada air limbah IPAL RSUD 45 Kuningan menunjukkan bahwa penambahan larutan tawas dengan konsentrasi 6%, 8%, dan 10% dapat menurunkan konsentrasi TSS [5]. Studi serupa oleh Winoto dan Apriliyanti (2021) tentang pengolahan kekeruhan air menggunakan PAC padat menunjukkan bahwa koagulan PAC pada dosis optimum 20 ppm efektif mengurangi kekeruhan air baku sampai bernilai 2,62 NTU [6]. Penelitian lain oleh Silvia dan Aryanti (2023) menunjukkan penggunaan koagulan PAC dengan konsentrasi 700 ppm dapat menurunkan nilai kekeruhan sejumlah 0,45 NTU dengan kinerja mencapai 99,85% pada limbah laboratorium [7].

Berdasarkan latar belakang dan penelitian terdahulu, penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui kinerja koagulan tawas dan PAC pada pengolahan limbah laboratorium, khususnya dalam hal pengaruh kedua jenis koagulan tersebut terhadap pH, kekeruhan, dan TSS. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas tawas dan PAC sebagai koagulan dalam proses koagulasi-flokulasi untuk pengolahan limbah laboratorium di JTK Politeknik Negeri Malang. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi yang efektif dan efisien dalam pengelolaan limbah laboratorium sehingga tidak membahayakan lingkungan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen di Laboratorium Pengolahan Limbah di JTK Politeknik Negeri Malang. Sampel limbah diambil dari bak penampungan limbah sementara yang ditunjukkan pada Gambar 1. Limbah ini kemudian diolah dengan metode koagulasi-flokulasi dengan koagulan tawas dan PAC pada berbagai dosis koagulan untuk menentukan kinerja kedua koagulan dalam menurunkan kekeruhan dan TSS pada limbah laboratorium.



Gambar 1. Limbah laboratorium pada bak penampungan

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk eksperimen yakni rangkaian alat *jar test*, kertas pH universal, alat uji TSS berupa cawan *gouch*, pompa vakum, neraca analitik, kertas saring, desikator, oven, nampan, dan penjepit oven serta alat turbidimeter. Bahan-bahan yang digunakan antara lain air limbah yang didapatkan dari laboratorium Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Malang, tawas teknis kadar 1000 ppm, dan koagulan PAC teknis kadar 1000 ppm.

2.2. Prosedur Penelitian

Sampel limbah laboratorium diukur pH-nya sebagai tahap awal. pH limbah yang terukur harus netral sebelum dilakukan proses koagulasi-flokulasi. Apabila air limbah masih bersifat asam, maka ditambahkan larutan NaOH 1 M. Begitu pula jika air limbah terlalu basa maka ditambahkan HCl pekat. Penambahan larutan ini dilakukan dengan hati-hati hingga pH limbah awal netral.

Proses koagulasi-flokulasi dijalankan melalui pendayagunaan peralatan *jar test* yang ditunjukkan oleh Gambar 2. Sampel limbah sebanyak 800 mL yang telah dinetralkan dimasukkan ke dalam *beaker glass* 1000 mL. Masing-masing *beaker glass* ditambahkan koagulan dengan volume 0, 50, 60, 70, 80, dan 90 mL. Pengadukan cepat diatur 140 rpm 1 menit, dilanjutkan dengan pengadukan lambat 30 rpm selama 20 menit. Proses dilanjutkan dengan mendinginkan limbah hingga terbentuk lapisan endapan dan cairan. Larutan yang didapatkan kemudian diambil dengan pipet ukur lalu dianalisis kekeruhan dan TSS.



Gambar 2. Rangkaian peralatan *jar test*

Analisis kekeruhan (*turbidity*) dilakukan menggunakan metode spektrofotometri sesuai dengan SNI 06-2412-1991 perihal Metode Pengambilan Misal Uji Kualitas air. Perhitungan persentase penurunan kekeruhan dilakukan dengan persamaan (1) berikut:

$$\Delta t (\%) = \frac{t_0 - t_{\text{sampel}}}{t_0} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

$\Delta t (\%)$ = persen penurunan kekeruhan (%)

t_0 = kekeruhan awal (NTU)

t_{sampel} = kekeruhan akhir tiap sampel (NTU)

Analisis *Total Suspended Solid* (TSS) dilaksanakan melalui pemanfaatan metode gravimetri sesuai dengan SNI 06-2413-1991 perihal Metode Pengujian Kualitas Fisika Air. Hasil pengukuran dilakukan perhitungan TSS sesuai dengan persamaan (2) berikut:

$$\text{TSS} = \frac{(a-b) \times 1000}{c} \quad (2)$$

Keterangan:

a = berat kertas saring dan residu setelah pemanasan (mg)

b = berat kertas saring kosong (mg)

c = volume sampel (mL)

TSS = total padatan tersuspensi (mg/L)

Nilai TSS yang telah didapatkan dilakukan perhitungan persentase penurunan TSS dengan persamaan (3) berikut:

$$\Delta T (\%) = \frac{T_0 - T_{\text{sampel}}}{T_0} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

$\Delta T (\%)$ = persen penurunan TSS (%)

T_0 = TSS awal (mg/L)

T_{sampel} = TSS akhir tiap sampel (mg/L)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

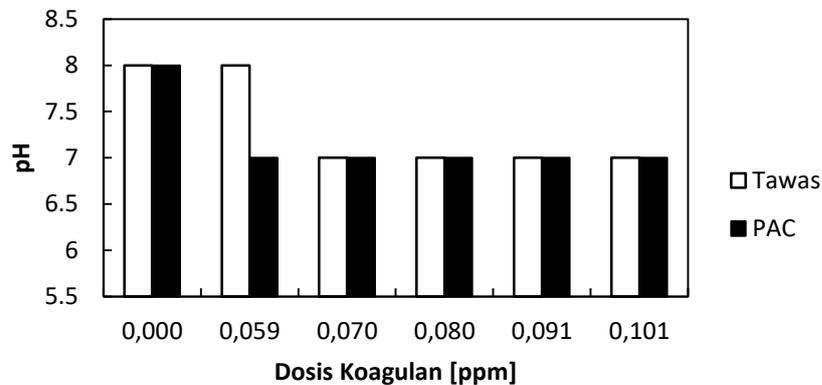
Proses koagulasi-flokulasi dapat berjalan dengan optimal apabila pH limbah memiliki rentang 6 – 7,8 untuk tawas karena pada pH ini pembentukan ion $\text{Al}(\text{OH})_3$ berlangsung dengan efisien. Ion ini berperan dalam pembentukan flok-flok karena bermuatan positif sehingga dapat mengikat partikel limbah yang bermuatan negatif [8, 9].

Penelitian ini juga menggunakan PAC sebagai koagulan-flokulan. PAC, saat ditambahkan ke dalam air, mengalami hidrolisis dan membentuk berbagai spesies polimer aluminium hidroksida. Ion-ion hidroksida polimerik akan terbentuk tergantung pada kondisi pH. Pembentukan ion $\text{Al}(\text{OH})_3$ saat penambahan PAC paling optimal terjadi pada rentang pH 6 – 9 karena ion ini efektif untuk menjebak partikel tersuspensi [10].

Penelitian ini menggunakan dosis koagulan tawas dan PAC sesuai dengan variabel dan memberikan hasil sebagai berikut.

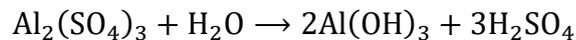
3.1 Pengaruh Dosis Koagulan terhadap pH

Hubungan antara pH limbah cair dengan dosis koagulan tawas dan PAC yang digunakan pada pengolahan limbah laboratorium ditunjukkan oleh Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Hubungan pH terhadap dosis koagulan pada variabel tawas dan PAC

Penambahan koagulan tawas dan PAC masing-masing dapat menurunkan pH limbah cair. Apabila tawas dilarutkan ke dalam air maka akan membentuk senyawa asam H_2SO_4 seperti pada reaksi berikut [6].



Senyawa asam H_2SO_4 yang terbentuk dapat menurunkan pH limbah dari 8 menjadi 7. Reaksi tersebut juga menghasilkan senyawa aluminium hidroksida $Al(OH)_3$. Senyawa ini tidak bisa larut dalam air sehingga membentuk flok yang dapat mengendap di dasar limbah [9].

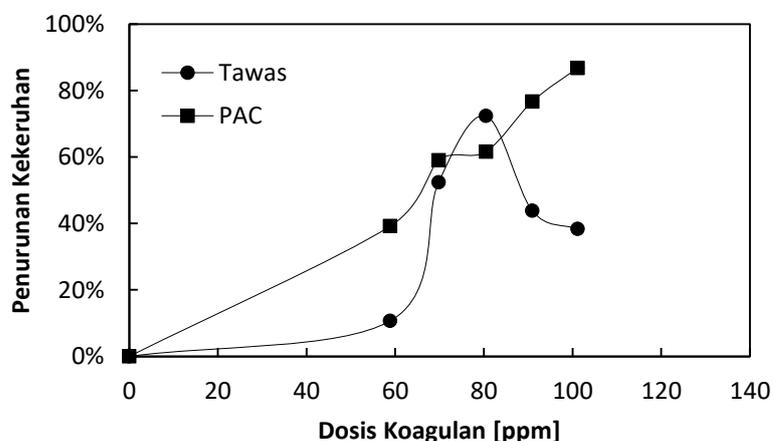
Begitu pula dengan penambahan PAC pada air limbah. Semakin besar dosis PAC yang dipakai, pH dapat diturunkan dari 8 menjadi 7. Hal tersebut disebabkan karena eksistensi ion hidrogen yang dilepaskan oleh PAC dalam limbah. Ketika PAC ditambahkan, air limbah akan mengalami proses hidrolisis akibat adanya ion aluminium Al^{3+} menghasilkan ion hidrogen H^+ yang dapat menurunkan pH limbah cair. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut [6].



Meskipun terjadi penurunan, pH cenderung stabil dinilai 7 seiring dengan penambahan dosis koagulan. Hal ini disebabkan karena akurasi kertas lakmus yang digunakan dalam penelitian ini relatif rendah [12]. Selain itu, kertas lakmus bersifat kualitatif yang berarti hanya dapat memberikan indikasi kasar suatu larutan berdasarkan perubahan warnanya. Kertas lakmus tidak dapat memberikan nilai pH secara presisi seperti pH meter yang lebih canggih, yang memiliki akurasi hingga 0.01 [13]. Penggunaan metode koagulasi-flokulasi dengan PAC dan pengukuran pH menggunakan pH meter menunjukkan penurunan pH limbah secara bertahap [10]. Oleh karena itu, penggunaan pH meter dalam penelitian selanjutnya lebih disarankan untuk mendapatkan hasil pengukuran pH yang akurat.

3.2 Pengaruh Dosis Koagulan terhadap Penurunan Kekeruhan

Hubungan antara penurunan kekeruhan terhadap dosis koagulan pada variabel tawas dan PAC yang digunakan pada pengolahan limbah laboratorium ditunjukkan oleh Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Hubungan penurunan kekeruhan terhadap dosis koagulan pada variabel tawas dan PAC

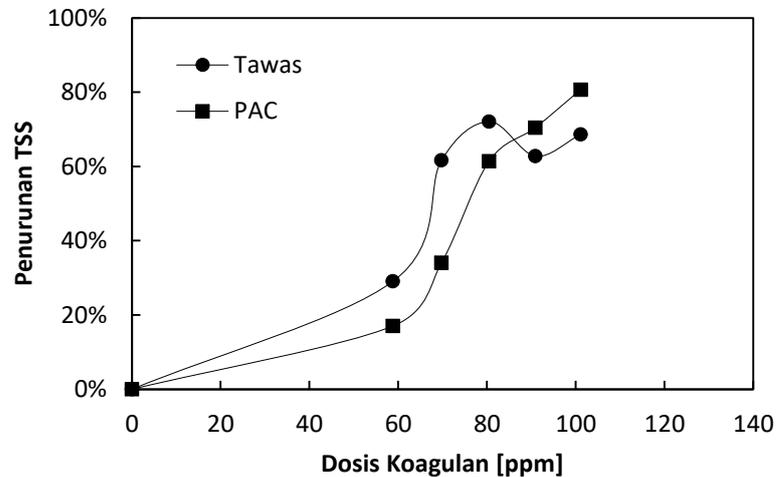
Berdasarkan Gambar 4, semakin tinggi penambahan dosis koagulan PAC maka persentase penurunan kekeruhan juga tinggi. Hal ini disebabkan karena tawas dan PAC memiliki kandungan Al^{3+} yang bertindak sebagai *disperse koloid* bermuatan positif yang akan mengikat partikel-partikel halus bermuatan negatif yang terkandung pada air limbah [9]. Ikatan antar muatan ini menyebabkan muatan pada air limbah menjadi netral dan lalu berbentuk flok-flok kecil dan mengendap dalam air limbah cair sehingga *sludge* dapat disaring dengan mudah dan nilai kekeruhan dapat dikurangi [14].

Selama tahap awal penambahan tawas, terlihat grafik yang terus naik. Hal ini disebabkan karena jumlah kation yang dilepaskan cukup untuk mengikat partikel koloid dan menciptakan flok yang efektif seperti yang terlihat pada gambar 3 [15]. Namun, grafik menunjukkan bahwa terjadi penurunan setelah mencapai titik tertinggi 72% pada dosis 80 ppm. Penurunan ini disebabkan oleh jumlah kation yang dilepaskan lebih besar dari yang dibutuhkan partikel koloid bermuatan negatif untuk menghasilkan flok, sehingga muncul prosesi absorpsi kation berlebihan serta muncul gaya tolak-menolak antar partikel yang menyebabkan restabilisasi antar partikel [16].

Limbah yang ditambahkan PAC menunjukkan kenaikan seiring dengan penambahan dosis PAC. Titik tertinggi tercapai pada dosis 101 ppm sebesar 87%. PAC memiliki tingkat polimerisasi yang tinggi, menghasilkan massa molekul besar yang berinteraksi dengan partikel air limbah dengan cepat [17]. Selain itu, PAC membentuk flok lebih cepat daripada koagulan biasa sebab gugus aluminat aktif yang berfungsi dengan baik untuk mengikat koloid. Rantai polimer dari gugus polielektrolit memperkuat hubungan ini, membuat flok menjadi lebih padat [18].

3.3 Pengaruh Dosis Koagulan terhadap Penurunan *Total Suspended Solid (TSS)*

Hubungan antara penurunan TSS terhadap dosis koagulan pada variabel tawas dan PAC yang digunakan pada pengolahan limbah laboratorium ditunjukkan oleh Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Hubungan penurunan TSS terhadap dosis koagulan pada variabel tawas dan PAC

Berdasarkan Gambar 5, persentase TSS mencapai puncaknya di 72% dengan dosis 80 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa tawas pada dosis ini memiliki kinerja yang baik dalam menurunkan TSS. Sebagai koagulan, tawas dapat menarik partikel-partikel kecil pada limbah cair membentuk flok. Flok-flok berukuran kecil ini akan mengalami gerakan Brownian karena energi termal yang menyebabkan flok-flok bertabrakan dan membentuk flok yang lebih besar [19].

Namun, setelah dosis tawas dinaikkan terjadi fluktuasi penurunan persentase TSS pada limbah. Penurunan ini dapat disebabkan karena flok yang terbentuk pada dosis tawas yang terlalu tinggi menjadi tidak stabil yang menyebabkan flok tersebut pecah kembali menjadi partikel yang lebih kecil. Partikel-partikel ini bisa kembali tersuspensi dalam air, meningkatkan TSS daripada menurunkannya.

Sementara itu pada limbah yang ditambahkan PAC, terjadi peningkatan persentase penurunan TSS secara gradual sampai pada penambahan dosis tertinggi yaitu 101 ppm, yang memiliki persentase 86,8%. PAC menunjukkan sifat koagulan dengan membentuk senyawa hidroksida aluminium saat bereaksi dengan ion aluminium dan klorida dalam limbah cair [6]. Senyawa ini membantu mengikat partikel-partikel tersuspensi dan koloid dalam air untuk membentuk flok-flok yang akan membesar sehingga lebih mudah untuk diendapkan.

3.4 Perbandingan Penggunaan Tawas dan PAC dan *Total Suspended Solid (TSS)*

Kekeruhan dan TSS merupakan dua parameter penting yang menunjukkan kualitas air. Penggunaan koagulan seperti tawas dan PAC bertujuan untuk mengurangi kedua parameter ini. Studi menunjukkan bahwa PAC cenderung lebih efektif dalam menurunkan kekeruhan dan TSS dibandingkan tawas karena mampu mencapai hasil yang lebih baik pada dosis yang sama atau lebih rendah [11]. Uji t berpasangan digunakan untuk mengetahui perbandingan penggunaan tawas dan PAC penelitian ini.

Tabel 1. Hasil uji t berpasangan perbandingan tawas dan PAC terhadap kekeruhan

	Tawas	PAC
<i>Mean</i>	0,362411348	0,538680556
<i>Variance</i>	0,071861778	0,096154404
<i>Observations</i>	6	6
<i>Pearson Correlation</i>	0,705279965	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>df</i>	5	
<i>t Stat</i>	-1,916	
<i>P(T<=t) one-tail</i>	0,056727894	
<i>t Critical one-tail</i>	2,015048373	
<i>P(T<=t) two-tail</i>	0,113455788	
<i>t Critical two-tail</i>	2,570581836	

Berdasarkan analisis uji t berpasangan untuk membandingkan pemakaian tawas dan PAC dalam menurunkan kekeruhan air pada Tabel 1, ditemukan bahwa meskipun PAC memiliki rata-rata kekeruhan yang sedikit lebih tinggi dibandingkan tawas, variasi datanya lebih besar. Pearson Correlation sebesar 0,7053 menunjukkan hubungan yang cukup kuat antara kedua set data. Hasil uji menunjukkan nilai *t Stat* (-1,916) lebih kecil dari *t Critical* (2,57) dan nilai p value (0,113) melebihi dari α (0,05), maka hipotesis nol (H_0) diterima. Hal tersebut berarti bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara pemakaian tawas dan PAC dalam menurunkan kekeruhan. Sehingga, tidak ditemukan bukti kuat untuk menegaskan bahwa tawas lebih efektif daripada PAC, dan PAC dapat dianggap setidaknya sama efektifnya dalam pengolahan air yang diuji.

Tabel 2. Hasil uji t berpasangan perbandingan tawas dan PAC terhadap TSS

	Tawas	PAC
<i>Mean</i>	0,362411348	0,439393939
<i>Variance</i>	0,071861778	0,102152204
<i>Observations</i>	6	6
<i>Pearson Correlation</i>	0,706875279	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>df</i>	5	
<i>t Stat</i>	-0,819972183	
<i>P(T<=t) one-tail</i>	0,224769548	
<i>t Critical one-tail</i>	2,015048373	
<i>P(T<=t) two-tail</i>	0,449539096	
<i>t Critical two-tail</i>	2,570581836	

Berdasarkan analisis uji t berpasangan untuk membandingkan pemakaian tawas dan PAC dalam menurunkan TSS pada Tabel 2, ditemukan bahwa PAC mempunyai rerata TSS yang sedikit lebih tinggi (0,4394) dari pada tawas (0,3624), dengan variasi datanya juga lebih besar. Pearson Correlation sebesar 0,7069 menunjukkan hubungan yang cukup kuat antara kedua set data. Hasil uji menunjukkan nilai *t Stat* (-0,82) lebih kecil dari *t Critical* (2,57) dan nilai p value (0,45) melebihi dari α (0,05), sehingga hipotesis nol (H_0) diterima,

hal tersebut berarti bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara kinerja tawas dan PAC dalam menurunkan TSS.

Kedua hasil di atas menunjukkan tidak adanya bukti yang cukup guna menegaskan bahwa terdapat perbedaan signifikan antara pemakaian tawas dan PAC dalam penurunan kekeruhan maupun TSS. Hal ini dapat disebabkan karena kurangnya rentang penambahan dosis yang digunakan. Rentang data yang lebih besar membantu memastikan bahwa sampel yang digunakan lebih representatif terhadap populasi yang lebih luas, sehingga hasil uji lebih akurat dan dapat digeneralisasikan. Oleh karena itu, disarankan untuk menambah rentang dosis penggunaan koagulan dalam penelitian lebih lanjut. Hal ini akan membagikan visualisasi gambaran jelas perihal kinerja kedua koagulan pada berbagai tingkat konsentrasi, serta memungkinkan identifikasi dosis optimal untuk masing-masing koagulan dalam pengolahan limbah.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa proses koagulasi-flokulasi optimal pada pH 6 – 7,8 untuk tawas dan pH 6 – 9 untuk PAC karena kondisi ini mendukung pembentukan spesies aluminium hidroksida yang efektif. Tawas dan PAC menurunkan pH limbah cair, meskipun pengukuran dengan kertas lakmus kurang akurat dibanding pH meter. PAC efektif menurunkan kekeruhan hingga 87% pada dosis 101 ppm, sedangkan tawas mencapai 72% pada dosis 80 ppm namun menurun setelah dosis tertentu karena besarnya jumlah kation. PAC juga lebih efektif menurunkan TSS hingga 86,8%, sementara tawas menunjukkan kinerja optimal pada dosis 80 ppm dengan penurunan 72%. Uji t menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan antara tawas dan PAC dalam menurunkan kekeruhan dan TSS, dengan PAC sedikit lebih unggul dalam beberapa parameter.

Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan alat pH meter nilai pH limbah karena pH meter merupakan indikator kuantitatif yang mampu memberikan hasil lebih akurat dengan ketelitian mencapai 0,01. Selain itu, disarankan untuk menambah rentang dosis (> 9) penggunaan koagulan untuk mengetahui perbedaan kinerja kedua koagulan pada berbagai rentang dosis. Hasil pengujian lebih dapat diandalkan dan dapat digeneralisasi ketika sampel lebih representatif dari populasi yang lebih besar.

REFERENSI

- [1] I. Nurhayati, J. Sutrisno, dan M. S. Zainudin, "Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Aktivasi terhadap Karakteristik Karbon Aktif Ampas Tebu dan Fungsinya sebagai Adsorben pada Limbah Cair Laboratorium," *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, vol. 16, no. 1, hal. 62-71, 2018.
- [2] P. Prayitno, S. Rulianah, dan A. Takwanto, "Pengolahan Air Limbah Laboratorium Menggunakan Proses Elektrokoagulasi," dalam *Prosiding Sentrinov (Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif)*, vol. 2, no. 1, hal. 272-279, 2016.
- [3] D. Rahmawati dan A. Alpiana "Identifikasi Limbah Kimia Laboratorium Kampus Universitas Muhammadiyah Mataram," *Jurnal Ulul Albab LPPM UMM*, vol. 22, no. 1, hal. 32–35, 2018.
- [4] I. Asnawi, S. Pratigto, M. Setiawan, dan F. I. Utami, "Pengolahan Limbah Cair B3 Laboratorium Kimia Menggunakan Metode Kombinasi Koagulasi-Flokulasi Dan Filtrasi," dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri (SNTI)*, vol. 10, no. 1, hal. 231-237, 2023.

- [5] H. Sudiana, "Analisis Perbandingan Pemberian Konsentrasi Tawas Terhadap Penurunan Konsentrasi Total Suspended Solid (TSS) Pada Proses Pengolahan Air Limbah di IPAL RSUD 45 Kuningan," *Jurnal Ilmiah Indonesia*, vol. 4, no. 6, hal 49-62, 2019.
- [6] E. Winoto dan S. Aprilyanti, "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.
- [7] S. Silvia dan F. I. Aryanti, "Koagulasi Dan Flokulasi Limbah Cair Laboratorium XYZ Menggunakan Koagulan PAC," *Jurnal Sains dan Teknologi: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknologi Industri*, vol. 23, no. 1, hal. 55-61, 2023.
- [8] T. A. Z. Nurlina dan I. D. K. Gusrizal, "Efektivitas Penggunaan Tawas dan Karbon Aktif Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu," dalam *Prosiding SEMIRATA 2015*, hal 690-699, 2015.
- [9] M. Marlinda, R. Hartati, Y. Hidjrawan, dan K. Kasmawati, "Optimalisasi Penjernihan Air PDAM Tirta Meulaboh Menggunakan Aluminium Sulfat (Tawas) dan Poly Aluminium Chloride (PAC)," *Jurnal Optimalisasi*, vol. 9, no. 1, hal. 24-30, 2023.
- [10] N. I. F. Nisa dan A. Aminudin, "Pengaruh Penambahan Dosis Koagulan Terhadap Parameter Kualitas Air dengan Metode Jarrest," *JRST (Jurnal Riset Sains dan Teknologi)*, vol. 3, no. 2, hal. 61-67, 2019.
- [11] M. F. M. R. Nur dan E. Ningsih, "Kombinasi Koagulan dan Flokulan dalam Pengolahan Air Limbah Industri Farmasi," dalam *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, vol. 1, no. 1, hal. 339-344, 2020.
- [12] A. B. Narottama, A. E. Kristiyono, dan A. K. Gupron, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Air Tawar yang Berkualitas Pada Fresh Water Generator Di Atas Kapal MT. Alpha Point," *Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik*, vol. 3, no. 2, hal. 47-56, 2024.
- [13] M. H. D. Barang dan S. K. Saptomo, "Analisis kualitas air pada jalur distribusi air bersih di gedung baru fakultas ekonomi dan manajemen institut pertanian Bogor," *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, vol. 4, no. 1, hal. 13-24, 2019.
- [14] U. Salsabila, T. Joko, dan H. L. Daringan, "Perbedaan Penurunan Chemical Oxygen Demand (COD) Melalui Pemberian Tawas dan Poly Aluminium Chloride (PAC) pada Limbah Cair Rumah Pemotongan Hewan Penggaron Semarang," *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, vol. 6, no. 1, 2018.
- [15] J. Bratby, "Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment". London, UK: *IWA Publishing*, 2016.
- [16] A. Praditasari, A. Setiawan, dan U. P. Astuti, "Pengaruh Removal TDS dan Warna dengan Menggunakan Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC) dan Tawas pada Limbah Industri Minuman Bir," dalam *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*, vol. 2, no. 1, hal. 125-130, 2019.
- [17] A. Zakaria, S. Sauri, D. M. Fadela, dan P. S. A. Wardhani, "Efisiensi Penurunan Kadar COD, TSS, dan TDS pada Air Limbah Industri Pangan menggunakan Koagulan Poly Aluminium Chloride dengan Metode Jar Test," *Warta Akab*, vol. 45, no. 2, 2021.
- [18] C. D. Prianti, S. Hadianoro, dan P. Prastijono, "Pengaruh Penambahan PAC terhadap Tingkat Kekeruhan pada Proses Penjernihan Air Sungai Di Perumda Delta Tirta-Sidoarjo," *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 8, no. 3, hal. 526-531, 2022.
- [19] F. E. Bahctiar dan R. K. H. Putro, "Pemantauan dan Optimasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Unit Lamella Clarifier dengan Penentuan Dosis Koagulan dan Flokulan," *Indonesian Journal of Applied Science and Technology*, vol. 3, no. 2, hal. 76-88, 2022.