

Evaluasi Kinerja Operasi Unit Koagulasi Flokulasi Dalam Sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah

Endang Kusumawati, Rivaldo Rofie Fauzi Budiman, Rizky Setianto,
Tifa Paramitha, Retno Dwi Jayanti*

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung Indonesia

*Koresponden email: retno.dwi@polban.ac.id

Diterima: 4 September 2024

Disetujui: 13 September 2024

Abstract

The coagulation and flocculation processing units represent a series of processing units that employ physical and chemical methods. The objective of this research is to ascertain the impact of coagulant type on process parameters, including turbidity, TSS, and pH, within the coagulation-flocculation processing unit integrated within the WWTP system. This research employs the use of raw water in the form of an artificial wastewater with characteristics closely resembling those of domestic wastewater, with a particular focus on process parameters such as turbidity, total suspended solids (TSS), and pH. The coagulants employed in the coagulation process are polyaluminum chloride (PAC) and aluminum sulfate/alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$). The operation of the wastewater treatment plant (WWTP) is conducted with a coagulation stirring speed of 150 rpm, while flocculation is performed at 60 rpm. A jar test was conducted to ascertain the optimal dose and pH of the coagulant. The results demonstrated that the optimal dose of PAC was 50 ppm, with an optimal pH of 7. In contrast, the optimal dose of alum was 60 ppm, with an optimal pH of 8. The findings revealed that the dose obtained through the implementation of the jar test in the WWTP unit with a stirring speed of 150 rpm yielded the most effective PAC coagulant results, with a TSS value of 10.53 mg/L, turbidity of 4.01 NTU, and pH of 6.74, accompanied by a TSS efficiency value of 94.86%. The velocity gradient and residence time in the coagulation and flocculation units do not align with the specified design criteria. However, both the residence time and overflow rate in the sedimentation unit meet the prescribed design criteria.

Keywords: *Wastewater Treatment Plant (WWTP), Coagulation-Flocculation, Total Suspended Solid (TSS), Turbidity, pH*

Abstrak

Unit pengolahan koagulasi dan flokulasi merupakan rangkaian unit pengolahan dengan menggunakan metode kimia fisika. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh jenis koagulan terhadap parameter proses seperti kekeruhan, TSS, pada unit pengolahan koagulasi – flokulasi yang terintegrasi dalam sistem IPAL. Penelitian ini menggunakan air baku berupa air limbah artificial dengan karakteristik mendekati air limbah domestik dengan memperhatikan parameter proses berupa kekeruhan, Total Suspended Solid (TSS), dan pH. Koagulan yang digunakan pada proses koagulasi adalah Poly Aluminium Chloride (PAC) dan aluminium sulfat/ tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$). Pengoperasian IPAL dilakukan dengan laju kecepatan pengadukan koagulasi sebesar 150 rpm, sedangkan flokulasi 60 rpm. Dilakukan uji jartest untuk mengetahui dosis optimum dan pH optimum dari jenis koagulan, diperoleh hasil PAC dengan dosis optimum 50 ppm dan pH optimum 7, sedangkan tawas dosis optimum 60 ppm dan pH optimum 8. Hasil penelitian menunjukkan dosis yang didapatkan saat jartest diimplementasikan pada unit IPAL dengan kecepatan pengadukan 150 rpm diperoleh hasil koagulan PAC yang terbaik dengan nilai yang diperoleh TSS 10,53 mg/L, kekeruhan 4,01 NTU, dan pH 6,74 dengan nilai efisiensi TSS sebesar 94,86%. Efisiensi kekeruhan sebesar 98,39%. Gradien kecepatan dan waktu tinggal pada unit koagulasi dan flokulasi tidak sesuai dengan kriteria rancangan sedangkan untuk sedimentasi baik waktu tinggal maupun overflowrate sudah memenuhi kriteria rancangan.

Kata Kunci: *Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), Koagulasi-Flokulasi, Total Suspended Solid (TSS), Kekeruhan, pH*

1. Latar Belakang

Proses koagulasi flokulasi merupakan teknologi pengolahan air limbah secara kimia yang bertujuan untuk menghilangkan padatan yang tersuspensi (TSS) sehingga menjadi aman untuk dibuang atau

digunakan kembali (1). Unit koagulasi flokulasi yang ada dalam sistem IPAL merupakan unit pengolahan yang memberikan kontribusi terbesar untuk meningkatkan kualitas air limbah khususnya dalam menurunkan parameter TSS (2). Koagulasi adalah proses destabilisasi lapisan luar partikel koloid membentuk gumpalan dengan penambahan bahan kimia (koagulan) ke dalam air limbah dengan tujuan untuk mengkondisikan suspensi, koloid, dan materi tersuspensi dalam persiapan proses lanjutan yaitu flokulasi. Sedangkan flokulasi adalah proses pengumpulan partikel-partikel dengan muatan tidak stabil yang kemudian saling bertubrukan sehingga membentuk kumpulan partikel-partikel dengan ukuran yang lebih besar (3), yang dikenal dengan istilah partikel flokulan atau flok. Flok dapat menjadi besar dengan bantuan bahan kimia polimer yang dikenal dengan flokulan (4).

Salah satu keberhasilan proses koagulasi dan flokulasi adalah jenis koagulan yang digunakan dan dosis koagulan yang tepat. Berbagai jenis koagulan sudah banyak digunakan diantaranya Poly Aluminium Chloride (PAC), Aluminium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3$), dan $FeCl_3$. Aspek lain yang perlu ditinjau adalah kecepatan putaran pengadukan yang akan menghasilkan hasil optimum pada rentang 50 rpm sampai 100 rpm (5). Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan (6) menyatakan bahwa penggunaan koagulan $FeCl_3$ dengan variasi pH 8 itu mampu dengan efektif menurunkan kadar COD, TSS, kekeruhan, dan yang lainnya sehingga bisa memenuhi baku mutu limbah yang berlaku. Tetapi koagulan $FeCl_3$ memiliki beberapa kekurangan diantaranya, biaya yang relatif tinggi, produksi lumpur yang tinggi, potensi kerusakan alat instalasi pengolahan karena cenderung lebih korosif dan menghasilkan residu klorida dalam air limbah.

Dalam penelitian lain yang dilakukan (7) menunjukkan bahwa koagulan PAC (Poly Aluminium Chloride) merupakan koagulan yang paling efektif dalam menurunkan beberapa parameter yang ada pada air limbah karena PAC merupakan polimer anorganik dengan bobot molekul tinggi dan sangat mudah dihidrolisis sehingga akan semakin banyak mendestabilisasi koloid.

Salah satu Laboratorium Pengelolaan Limbah Industri (PLI) di Perguruan Tinggi Vokasi mempunyai unit koagulasi- flokulasi dan sedimentasi yang terintegrasi dalam satu sistem IPAL yang sudah digunakan untuk mengolah air limbah domestik. Karakteristik air limbah domestik mengandung TSS 120 mg/L, minyak dan lemak 1652 mg/L, dan pH 6,87 (8). Pengoperasian IPAL telah dilakukan pada tahun 2018 menggunakan air limbah domestik menghasilkan efisiensi penurunan TSS sebesar 67,9% (9). Namun seiring dengan berjalannya waktu banyak komponen pendukung, sistem perpipaan, dan kelistrikan sudah memerlukan perbaikan bahkan perubahan tata letak perpipaan dan alat pendukung lainnya. Pasca perbaikan diperlukan uji kinerja kembali terhadap system IPAL.

Pada penelitian ini air baku menggunakan air limbah domestik dengan parameter yang diuji adalah TSS, kekeruhan dan pH. Berdasarkan hasil penelitian terdahulu penurunan TSS dianggap belum optimal sehingga perlu dilakukan peningkatan kinerja untuk meningkatkan penurunan TSS dengan melakukan variasi pada faktor-faktor penting yang mempengaruhi proses koagulasi-flokulasi. Beberapa faktor tersebut diantaranya jenis koagulan yang dipakai, sehingga perlu dilakukan variasi jenis koagulan dan variasi kecepatan putaran pengadukan, untuk mendapatkan efisiensi yang optimal.

Tujuan dilakukan penelitian ini yakni untuk mengevaluasi kesesuaian rancangan disain seperti gradien kecepatan (G) dan waktu tinggal pada unit koagulasi, flokulasi dan waktu tinggal, serta *overflow rate* pada unit sedimentasi dalam sistem IPAL, serta menentukan kondisi operasi terbaik dengan memvariasikan jenis koagulan dan kecepatan putaran pengadukan dalam menurunkan TSS menggunakan unit Koagulasi dan Flokulasi dalam sistem IPAL.

2. Metode Penelitian

Tahap Persiapan

Persiapan dilakukan dengan cara pengecekan kelayakan pakai setiap unit pada system IPAL yang akan dipakai pada saat penelitian berlangsung dan pembuatan larutan koagulan dan flokulan. Pengecekan kelayakan dimulai dari uji kebocoran dari setiap unit yang akan digunakan. Pengecekan kebocoran dilakukan terhadap system perpipaan, katup/valve dan tangki dari setiap unit, serta dilakukan pengecekan terhadap pompa air baku, motor pengaduk dan dosing pump, dan untuk keamanan dilakukan pengecekan kelistrikan pada panel listrik.

Jartest

Penelitian ini menggunakan metode jartest yang bertujuan untuk menentukan pH dan dosis optimum dari koagulan PAC dan Aluminium sulfat (tawas). Variasi dosis untuk koagulan Aluminium Sulfat sebesar 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 ppm dengan pH sebesar 7 setelah didapat dosis optimum dilakukan penentuan pH optimum dengan memvariasikan pH pada variasi 4,5,6,7,8,9 dilakukan dengan cara yang

sama untuk koagulan PAC Dosis dan pH optimum digunakan pada operasi unit koagulasi-flokulasi pada IPAL secara kontinyu.

Pengoperasian IPAL

Pengoperasian IPAL dimulai dengan mengisi tangki umpan dengan air baku, mengisi tangki larutan koagulan dan flokulan menggunakan larutan koagulan dan flokulan dengan dosis optimum dan mengisi tangki larutan asam dan larutan basa pada proses netralisasi. Pengaliran larutan koagulan dan flokulan dengan menggunakan pompa dosing, atur kecepatan putaran pada bak koagulasi dengan kecepatan putar divariasikan sebesar 100 dan 150 rpm, sedangkan pada bak flokulasi menggunakan kecepatan putar sebesar 60 rpm. Air baku dialirkan secara kontinyu dengan laju 1 LPM, pengambilan sampel dilakukan di aliran influen pada tangki air umpan dan aliran efluen pada tangki sedimentasi untuk diuji parameter TSS, kekeruhan dan pH.

Pengujian

Sampel diambil dari aliran influen dan efluen yang diambil setiap 5 menit dalam waktu 50 menit. Pengujian dilakukan pada parameter pH, kekeruhan, dan TSS. Untuk Parameter pH diuji menggunakan alat pH meter dan kekeruhan diuji menggunakan alat turbidimeter. Pengujian TSS dilakukan dengan metode gravimetri menggunakan oven. Sampel yang telah homogen disaring dengan kertas saring yang telah ditimbang residu yang tertahan pada saringan dikeringkan sampai mencapai berat konstan pada suhu 105°C . Kenaikan berat kertas saring mewakili padatan tersuspensi total (TSS).

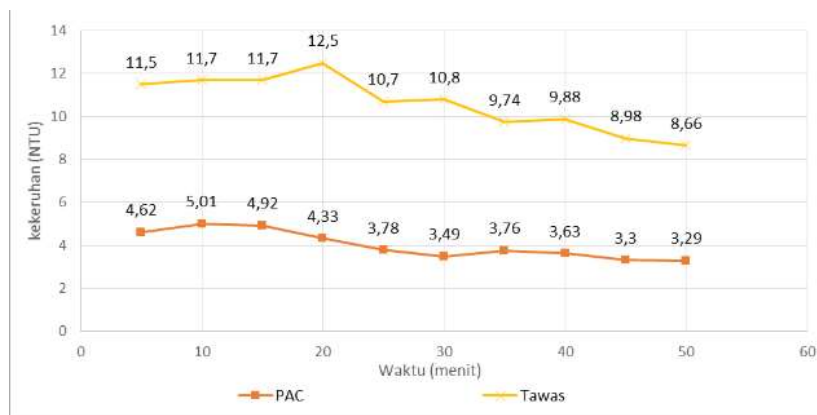
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil jartest

Dari hasil uji jartest didapat koagulan PAC lebih efektif dalam menurunkan TSS dan kekeruhan dengan dosis optimum sebesar 50 ppm, pH optimum 7, flokulan optimum 3 ppm

Hasil Uji Pengaruh Jenis Koagulan Terhadap Kekeruhan

Pengujian dilakukan dengan dosis koagulan optimum, flokulan optimum dan kondisi pH air limbah optimum yang didapat pada proses jartest, dengan kecepatan pengadukan terbaik 150 rpm. Proses ini dilakukan selama 50 menit. Pengambilan sampel dilakukan pada bak sedimentasi dengan rentang waktu 5 menit. Penurunan kekeruhan dapat dilihat pada **Gambar 1**.



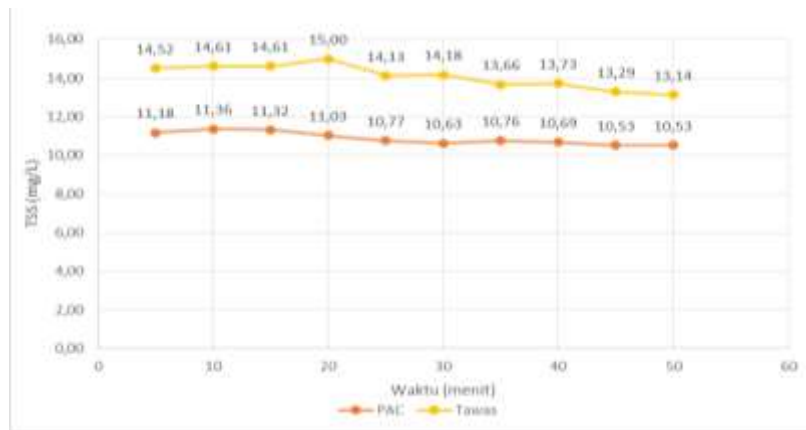
Gambar 1. Hubungan Kekeruhan dengan Waktu pada Koagulan PAC dan Tawas pada pengadukan cepat 150 rpm

Dilihat dari **Gambar 1** terdapat penurunan kekeruhan hingga waktu 45 menit. Penurunan kekeruhan tertinggi terjadi pada koagulan PAC dengan efisiensi sebesar 98,29% dan dengan tawas menghasilkan efisiensi sebesar 95,69%.. Kondisi stabil didapatkan pada menit ke 45 hingga 50 menit dimana ditunjukkan dengan perubahan kekeruhan yang tidak signifikan. Kondisi stabil tersebut menunjukkan berapa lama waktu yang dibutuhkan dalam mencapai kondisi *steady state*. Hal tersebut menunjukkan kemampuan unit dapat mencapai kondisi *steady state* dalam waktu 45 menit dengan rata-rata penurunan kekeruhan sebesar 79,51 NTU

Hasil Pengaruh Jenis Koagulasi Terhadap nilai TSS

Pengujian dilakukan dengan dosis koagulan optimum, flokulan optimum dan kondisi pH air limbah optimum yang didapat pada proses jartest, pada kecepatan pengadukan terbaik 150 rpm. Proses ini

dilakukan selama 50 menit. Pengambilan sampel dilakukan pada bak sedimentasi dengan rentang waktu 5 menit. Penurunan TSS dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Hubungan TSS dengan Waktu pada Koagulan PAC dan Tawas dengan Pengadukan Cepat 150 rpm

Dilihat dari **Gambar 2** terdapat penurunan TSS hingga waktu 45 menit. Penurunan TSS tertinggi terjadi pada koagulan PAC dengan efisiensi sebesar 94,86 % dan tawas sebesar 93,46%. Kondisi stabil didapatkan pada menit ke 45 hingga 50 menit dimana ditunjukkan dengan perubahan nilai TSS yang tidak signifikan. Kondisi stabil tersebut menunjukkan berapa lama waktu yang dibutuhkan alat dalam mencapai kondisi *steady state*. Dari hasil percobaan didapat penurunan TSS maupun kekeruhan memperlihatkan koagulan PAC lebih baik dibandingkan koagulan tawas, hal ini dapat dilihat dari efisiensi yang dihasilkan.

Penggunaan PAC lebih efektif karena sebagai unsur dasarnya yang berhubungan dengan unsur lain dan membentuk suatu unit berulang dalam ikatan rantai panjang yang bermuatan listrik positif serta mempunyai berat molekul yang besar. Hal tersebut membuat PAC dapat menjembatani partikel - partikel suspensi untuk membentuk flok. Sehingga partikel suspensi tersebut saling mendekat dan membentuk flok yang lebih besar (10).

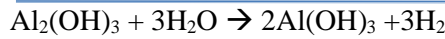
Hasil Pengamatan Terhadap Parameter pH

Pengujian dilakukan dengan dosis koagulan optimum, flokulan optimum dan kondisi pH air limbah optimum yang didapat pada proses jartest, proses ini dilakukan selama 50 menit. Pengambilan sampel dilakukan pada bak sedimentasi dengan rentang waktu 5 menit Nilai pH selama proses dapat dilihat pada **Gambar 3**.

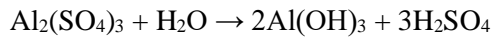


Gambar 3. Hubungan pH dengan Waktu pada Koagulan PAC dan Tawas dengan pengadukan cepat 150 rpm

Pada **Gambar 3** terlihat rentang pH berkisar pada pH 7,05-7,15 untuk koagulan tawas dan 6,11-6,77 untuk koagulan PAC, rentang ini masih dalam rentang optimum untuk kedua jenis koagulan walaupun sempat mengalami penurunan pada koagulan PAC dan Tawas (11). Hal ini disebabkan semakin besar kadar PAC yang ditambahkan dalam sampel air, semakin banyak ion H⁺ yang dilepaskan dalam air. Reaksi yang terjadi dapat dijelaskan dengan reaksi sebagai berikut (12):



Sementara itu, pada koagulan tawas kondisi pH awal yaitu 8 dan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) bila dilarutkan dalam air akan menghasilkan senyawa H_2SO_4 yang bersifat asam dan akan menurunkan pH air dengan mekanisme reaksi: (13). Reaksi yang terjadi sebagai berikut :



Hasil Uji evaluasi terhadap nilai *G* (gradien kecepatan) dan Waktu Tinggal (*td*) Pada Unit Koagulasi Flokulasi

Perbandingan nilai *G* pada saat percobaan dengan kriteria perancangan dapat dilihat di **Tabel 1**.

Tabel 1. Perbandingan Nilai *G* Percobaan dengan Kriteria Perancangan

No	Unit Pengolahan	Hasil	Kriteria
		Percobaan	Perancangan
		Nilai <i>G</i> (s^{-1})	
1	Koagulasi 100 rpm	38,09	700 – 1000
	Koagulasi 150 rpm	57,09	
2	Flokulasi	23,38	20 - 75

Berdasarkan **Tabel 1** dapat dilihat bahwa nilai yang didapatkan tidak sesuai dengan kriteria perancangan. Menurut Metcalf & eddy, inc,2003, dimana nilai *velocity gradient* yaitu $700 - 1000 \text{ s}^{-1}$ untuk koagulasi, dan $20 - 75 \text{ s}^{-1}$ untuk flokulasi. Ketidaksesuaian tersebut dipengaruhi oleh besarnya volume tangki dan kecilnya diameter *impeller* mempengaruhi tingkat homogenitas dari koagulan dengan air, yang berakibat dapat mempengaruhi nilai TSS pada air limbah hasil koagulasi-flokulasi (14).

Untuk meningkatkan efisiensi koagulasi dan flokulasi, dilakukannya pendekatan Nilai *G* terhadap kriteria perancangan (15). Hal tersebut dapat dilakukan dengan peningkatan panjang diameter *impeller* dan kecepatan pengadukan. Nilai *G* dan kecepatan pengadukan yang sesuai kriteria rancangan dapat dilihat pada **Tabel 2**

Tabel 2. Nilai *G* dan Kecepatan Pengadukan Sesuai Kriteria Rancangan

No	Unit Pengolahan	Diameter <i>impeller</i>	Kecepatan	Nilai <i>G</i>
		(meter)	pengadukan	
		Percobaan	(rpm)	(s^{-1})
1	Koagulasi 100 rpm	0,1	100	38,09
	Koagulasi 150 rpm	0,1	150	57,69
2	Flokulasi	0,1	60	23,38
Kriteria perancangan				
1	Koagulasi	0,0457	150	700
2	Flokulasi	0,0622	60	20

Berdasarkan **Tabel 2** diperlukannya diameter *impeller* sebesar 0,0457 meter dan kecepatan pengadukan 150 rpm pada tangki koagulasi untuk mencapai nilai *G* sebesar 700. Sementara itu, untuk tangki flokulasi diperlukannya diameter *impeller* sebesar 0,0622 meter dan kecepatan pengadukan 60 rpm untuk mencapai nilai *G* sebesar 20

Selain nilai *G* pada proses koagulasi – flokulasi perlu dihitung juga waktu tinggal serta nilai *over flow rate* pada unit sedimentasi. Nilai *over flow rate* dan waktu tinggal pada unit sedimentasi dapat dilihat pada **Tabel 3**

Tabel 3. Waktu Tinggal dan Over Flow Rate saat Proses Sedimentasi

Unit pengolahan	Parameter	Satuan	Hasil Percobaan	Kriteria Rancangan
Sedimentasi	<i>Over flowrate</i>	$\text{m}^3/\text{m}^2.\text{day}$	51	30 – 50
	<i>Detention time</i>	<i>hour</i>	1,83	1,5 – 2,5

Berdasarkan **Tabel 3** dapat dilihat bahwa nilai yang didapat sesuai dengan kriteria perancangan. Menurut Medcalf & Eddy, inch, 2003 menyatakan bahwa, waktu tinggal unit sedimentasi yaitu 1,5 – 2,5 jam, nilai *overflow rate* yaitu 30 – 50 m³/m².day. Nilai ini dapat mempengaruhi banyaknya flok - flok yang terendapkan dan flok - flok yang masih terbawa oleh air limbah. Ini dapat mempengaruhi nilai TSS pada air limbah hasil proses sedimentasi.

Waktu tinggal pada unit flokulasi dan unit koagulasi saat percobaan hasilnya tidak sesuai dengan kriteria perancangan. Kesesuaian kriteria perancangan hasil percobaan dengan teori dapat dilihat pada **Tabel 4**

Tabel 4. Kesesuaian dengan Kriteria Perancangan

No	Unit Pengolahan	Hasil	Kriteria
		Percobaan	Perancangan
		Waktu Tinggal (menit)	
1	Tangki Koagulasi	38	1 - 2
2	Tangki Flokulasi	83	10 – 30
3	Tangki Sedimentasi	110	120 - 4800

Berdasarkan **Tabel 4** dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan waktu tinggal yang didapat pada saat percobaan dengan kriteria rancangan. Menurut Medcalf & Eddy, inch, (5) waktu tinggal pada unit koagulasi yaitu 1 – 2 menit sedangkan pada unit flokulasi yaitu 10 - 30 menit. Selanjutnya waktu tinggal pada tangki sedimentasi yaitu 120 – 4800 menit. Ketidaksesuaian dengan kriteria dapat mempengaruhi kinerja parameter pencemar.

Untuk meningkatkan efisiensi koagulasi dan flokulasi, dilakukannya pendekatan waktu tinggal terhadap kriteria perancangan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan meningkatkan laju alir air limbah.

4. Kesimpulan

Jenis koagulan berpengaruh terhadap efisiensi kekeruhan dan TSS dengan efisiensi penurunan kekeruhan dan TSS terbaik dihasilkan pada koagulan PAC dengan TSS akhir sebesar 10,53 mg/L, kekeruhan akhir sebesar 4,01 NTU, dan pH 6,74 dengan nilai efisiensi TSS sebesar 94,86% dan kekeruhan sebesar 98,29%. Gradien kecepatan dan waktu tinggal pada unit koagulasi dan flokulasi tidak sesuai dengan kriteria rancangan sedangkan untuk sedimentasi baik waktu tinggal maupun overflowrate sudah memenuhi kriteria rancangan .

5. Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih ditujukan kepada pihak terkait yang telah memberikan fasilitas untuk pelaksanaan penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

1. Tzoupanos ND, Zouboulis AI. Coagulation-flocculation processes in water/wastewater treatment: the application of new generation of chemical reagents. In Rhodes; 2008. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/229039796>
2. Teh CY, Budiman PM, Shak KPY, Wu TY. Recent Advancement of Coagulation-Flocculation and Its Application in Wastewater Treatment. Ind Eng Chem Res. 2016 Apr 27;55(16):4363–89.
3. Howe KJ, Hand DW, Crittenden JC, Trussell RR, Tchobanoglous G. Principle of Water Treatment. 3rd ed. John Wiley & Sons; 2012.
4. Davis ML. Water and wastewater engineering: design principle and practice. New York: McGraw-Hill; 2011.
5. Metcalf, Eddy. Wastewater engineering: treatment and reuse. New York: McGraw-Hill; 2003.
6. Norjannah S. Keefektifan Dosis Koagulan Ferri Klorida (FeCl₃) Dalam Menurunkan Kadar Total Suspended Solids (TSS) Pada Air Limbah Batik Brotoseno Masaran Sragen Naskah Publikasi. Surakarta; 2015.
7. Oktavia R. Efektivitas Penurunan Chemical Oxygen. [Jambi]: Universitas Jambi; 2023.
8. Sulistia S, Cahaya Septisya A, Teknologi Lingkungan -BPPT dan Program Studi Analisis Kimia Sekolah Vokasi P, Pertanian Bogor I. Analisis Kualitas Air Limbah Domestik Perkantoran. Analisis Kualitas Air... JRL. 2019;12(1):41–57.

9. Abraham MA, Ikhsan M. Uji Kinerja Unit Koagulasi dan Flokuasi pada IPAL Skala Pilot di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri. [Bandung]: Politeknik Negeri Bandung; 2018.
10. Aziz N, Effendy N, Basuki KT. Comparison of Poly Aluminium Chloride (Pac) And Aluminium Sulphate Coagulants Efficiency In Waste Water Treatment Plant. 2017;2(1):24–31.
11. S W R, Iswanto B, Winarni. Pengaruh pH Pada Proses Koagulasi Dengan Koagulan Aluminium Sulfat Dan Ferri Klorida. Jurnal Teknologi Lingkungan. 2009;5(2):40–5.
12. Nur MFM, Putra H N, Ningsih E. Kombinasi Koagulan dan Flokulan dalam Pengolaha Air Limbah Industri Farmasi. In: Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VIII. Surabaya; 2020. p. 339.
13. Tandiarrang J, Devy SD, Trides T. Studi Perbandingan Penggunaan Tawas ($Al_2(SO_4)_3$) Dan Kapur Padam ($Ca(OH)_2$) Pada Pengolahan Air Asam Tambang Di PT Kaltim Diamond Coal Kecamatan Loa Kulu Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur. Jurnal Teknologi Mineral FT Unmul. 2016 Dec;4(1):23–30.
14. Lin JL, Pan JR, Huang C. Enhanced particle destabilization and aggregation by flash-mixing coagulation for drinking water treatment. Sep Purif Technol. 2013;115:145–51.
15. Muzakky A. Evaluasi dan Desain Ulang Unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri Tekstil di Kota Surabaya Menggunakan Biofilter Tercelup Anaerobik-Aerobik. [Surabaya]: Institut Teknologi Sepuluh Nopember; 2016.