

Pengaruh Kinerja Koagulan PAC, FeCl_3 dan HCA pada Pengadukan Hidrolis dalam *Dissolved Air Flotation* untuk Penyisihan Beban Pencemar Limbah Restoran

Nurul Rahma Anggraini*, Rizka Novembrianto

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: 11nurulrahma@gmail.com

Diterima: 26 Juli 2026

Disetujui: 31 Agustus 2026

Abstract

Restaurant wastewater generally contains high concentrations of COD, TSS, oil and grease, and surfactants, requiring effective treatment before discharge. This study compared the performance of Poly Aluminium Chloride (PAC), Ferric Chloride (FeCl_3), and Hydroxy Aluminum Chloride (HCA) in a hydraulic coagulation system using a static mixer and flocculation pipe assisted by Dissolved Air Flotation (DAF). Optimum coagulant dosages were determined through jar tests and applied in a continuous reactor, while the treated effluent was analyzed at the system outlet. The results showed removal efficiencies of 91.99–96.79% for COD, 74.31–93.58% for TSS, 90.65–96.38% for oil and grease, and 96.36–97.05% for surfactants. Among the tested coagulants, PAC exhibited the most consistent performance across all parameters and was selected as the optimum coagulant for the hydraulic coagulation system assisted by DAF.

Keywords: *hydraulic coagulation, static mixer, coagulant, restaurant wastewater, DAF*

Abstrak

Limbah cair restoran umumnya mengandung kadar COD, TSS, minyak dan lemak, serta surfaktan yang tinggi sehingga memerlukan pengolahan yang efektif sebelum dibuang ke lingkungan. Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC), Ferric Chloride (FeCl_3), dan Hydroxy Aluminum Chloride (HCA) pada proses koagulasi hidrolis menggunakan static mixer dan pipa flokulasi yang dibantu Dissolved Air Flotation (DAF). Dosis optimum koagulan ditentukan melalui uji jar test, kemudian diterapkan pada reaktor kontinu dengan kualitas efluen dianalisis pada outlet sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga koagulan mampu menyisihkan COD sebesar 91,99–96,79%, TSS 74,31–93,58%, minyak dan lemak 90,65–96,38%, serta surfaktan 96,36–97,05%. PAC menunjukkan kinerja paling konsisten pada seluruh parameter sehingga dipilih sebagai koagulan optimum untuk sistem koagulasi hidrolis dengan bantuan DAF.

Kata Kunci: *pengadukan hidrolis, static mixer, koagulan, limbah restoran, DAF*

1. Pendahuluan

Aktivitas restoran menghasilkan limbah cair domestik yang didominasi oleh bahan organik serta minyak dan lemak yang berasal dari proses pengolahan makanan, pencucian peralatan, dan sisa makanan. Kandungan minyak dan lemak bersifat hidrofobik, sulit terdegradasi, serta dapat menyebabkan penyumbatan saluran dan gangguan pada sistem perpipaan apabila dibuang tanpa pengolahan [1]. Oleh karena itu, limbah cair restoran harus diolah terlebih dahulu agar memenuhi baku mutu sebelum dibuang ke badan air sesuai dengan ketentuan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 11 Tahun 2025. Salah satu unit pengolahan yang umum digunakan adalah *grease trap*, namun efektivitasnya terbatas karena hanya mampu memisahkan minyak bebas dan kurang efektif terhadap minyak yang teremulsi akibat keberadaan deterjen [2].

Sebagai alternatif, *Dissolved Air Flotation* (DAF) mampu meningkatkan penyisihan minyak dan lemak melalui gelembung udara mikro yang mengangkat partikel ke permukaan secara cepat [3]. Tingginya nilai COD mengindikasikan kandungan bahan organik yang besar dalam air limbah, sedangkan tingginya TSS menunjukkan banyaknya padatan tersuspensi yang berpotensi meningkatkan kekeruhan [4]. Konsentrasi minyak dan lemak yang tinggi mencerminkan dominasi limbah hasil pengolahan makanan, sementara nilai MBAS yang melebihi baku mutu mengindikasikan adanya kandungan surfaktan yang berasal dari penggunaan deterjen sabun cuci piring dalam kegiatan pencucian peralatan [4][5]. Kondisi

tersebut menunjukkan bahwa air limbah memiliki beban pencemar yang tinggi sehingga memerlukan proses pengolahan yang efektif sebelum dibuang ke lingkungan.

Efektivitas DAF sangat bergantung pada pembentukan flok yang stabil melalui proses koagulasi-flokulasi [6]. Penggunaan sistem pengadukan konvensional masih memiliki kelemahan berupa kebutuhan energi dan komponen mekanis [7]. Sebagai alternatif, pengadukan hidrolis menggunakan *static mixer* dan pipa flokulasi mampu menghasilkan pencampuran yang efektif dengan memanfaatkan turbulensi aliran, sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi proses sekaligus menekan konsumsi energi.

Berbeda dengan pengadukan mekanis, pengadukan hidrolis menggunakan *static mixer* dan pipa belokan memanfaatkan energi aliran fluida untuk menghasilkan turbulensi tanpa memerlukan sumber energi tambahan, sehingga lebih sederhana dan efisien [8]. Turbulensi yang terbentuk meningkatkan pencampuran koagulan secara merata serta memperbesar peluang pembentukan flok [9]. Flok yang terbentuk kemudian lebih mudah dipisahkan melalui proses *Dissolved Air Flotation* (DAF), sedangkan media zeolit berperan sebagai tahap adsorpsi lanjutan untuk menyisihkan sisa kontaminan. Kombinasi ketiga proses tersebut diharapkan mampu meningkatkan efisiensi penyisihan pencemar sekaligus menekan konsumsi energi dibandingkan sistem pengadukan konvensional.

Koagulan yang umum digunakan dalam pengolahan air limbah meliputi *Poly Aluminium Chloride* (PAC), *Ferric Chloride* (FeCl_3), dan *Aluminium Hidroksoklorida* (HCA). PAC dan HCA bekerja melalui mekanisme netralisasi muatan dan pembentukan flok aluminium hidroksida, sedangkan FeCl_3 membentuk flok besi hidroksida yang efektif mendestabilisasi partikel koloid. PAC memiliki rentang pH kerja yang luas, HCA menunjukkan laju koagulasi yang tinggi terutama pada suhu rendah, sedangkan FeCl_3 efektif membentuk flok namun cenderung menurunkan pH air olahan [10][11][12]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja PAC, FeCl_3 , dan HCA pada proses koagulasi hidrolis menggunakan *static mixer* dan pipa flokulasi terhadap efisiensi penyisihan COD, TSS, minyak dan lemak, serta surfaktan. Penelitian ini hanya dilakukan pada satu jenis limbah restoran sehingga hasil masih perlu divalidasi pada karakteristik limbah yang berbeda.

2. Metode Penelitian

Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor DAF, pipa *static mixer* dan pipa flokulasi. *Dosing pump* juga digunakan dalam injeksi koagulan sebelum pipa *static mixer*. Berikut merupakan gambar bentuk pipa *static mixer* yang digunakan dalam penelitian ini, dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Pipa *Static Mixer*

Sumber : <https://s.shopee.co.id/Llq2zG9uz>

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah restoran cepat saji di kawasan komersil wilayah Surabaya Timur, beberapa jenis koagulan (PAC, FeCl_3 , dan HCA), dan zeolit komersil. Nilai awal COD sebesar 1152 mg/l, TSS 545 mg/l, minyak-lemak 663 mg/l dan Surfaktan 6,54 mg/l yang dimana seluruh parameter melebihi baku mutu.

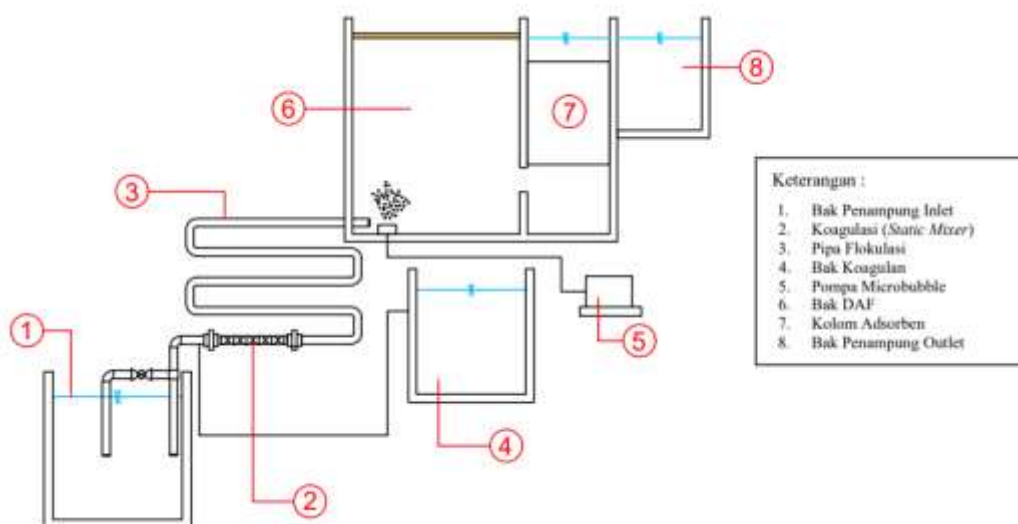
Persiapan *jar test*

Uji *jar test* sebelum penelitian utama digunakan dengan tujuan untuk mengetahui dosis optimum yang digunakan dalam penelitian utama. Berikut merupakan variasi dosis pada setiap jenis koagulan.

- FeCl_3 : 50 mg/l, 75 mg/l, dan 100 mg/l
- HCA: 10 mg/l, 13 mg/l, dan 15 mg/l
- PAC: 10 mg/l, 15 mg/l, dan 20 mg/l

Berdasarkan hasil uji *jar test*, didapatkan hasil dosis pada masing-masing koagulan adalah sebagai berikut: FeCl_3 (75 mg/l), HCA (15 mg/l), dan PAC (15 mg/l). Dosis tersebutlah yang akan digunakan pada penelitian utama.

Desain reaktor



Gambar 2. Reaktor Utama

Sumber : Hasil Penelitian, 2026

Prosedur kerja

Limbah dipompa menuju *static mixer* bersamaan dengan injeksi koagulan menggunakan *dosing pump*. Limbah yang sudah tercampur dengan koagulan dialirkan menuju pipa flokulasi hidrolis sebelum memasuki unit DAF. Air hasil flotasi selanjutnya dialirkan ke kolom adsorpsi zeolit sebagai tahap polishing sebelum dilakukan analisis kualitas efluen.

3. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik awal limbah restoran

Sebelum dilakukan proses pengolahan, limbah cair restoran dikarakterisasi untuk mengetahui kondisi awal kualitas air limbah. Parameter yang dianalisis meliputi COD, TSS, minyak dan lemak, serta surfaktan. Hasil karakteristik awal limbah cair restoran disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Awal

No	Parameter	Hasil (mg/l) ^{*)}	Baku Mutu ^{#)}	Satuan
1	COD	1152	30	mg/l
2	TSS	545	30	mg/l
3	Minyak Lemak	663	5	mg/l
4	Surfaktan	6,54	5	mg/l

Sumber:

*) Hasil Penelitian, 2026

#) Peraturan Pemerintah Lingkungan Hidup Nomor 11 Tahun 2025 tentang Baku Mutu Air Limbah dan Standar Teknologi Pengolahan Air Limbah untuk Air Limbah Domestik

Pengujian karakteristik awal air limbah dilakukan sekali sebelum penelitian utama dimulai. Karakteristik awal limbah dibandingkan langsung dengan baku mutu dari PP LH Nomor 11 Tahun 2025. Pengujian karakteristik awal menghasilkan parameter yang jauh dari baku mutu. Karakteristik awal air limbah perlu diketahui untuk menggambarkan kondisi aktual limbah sebelum dilakukan proses pengolahan. Parameter yang dianalisis meliputi COD, TSS, minyak dan lemak, serta surfaktan yang merupakan indikator utama pencemar pada air limbah restoran maupun domestik.

Pengaruh Variasi Jenis Koagulan terhadap Efisiensi Penyisihan Polutan

Setelah karakteristik awal limbah diketahui, dilakukan pengujian menggunakan tiga jenis koagulan, yaitu PAC, HCA, dan FeCl_3 , untuk mengetahui pengaruhnya terhadap efisiensi penyisihan polutan. Kinerja masing-masing koagulan dievaluasi berdasarkan persentase removal setiap parameter pencemar. Hasil persentase removal menggunakan masing-masing jenis koagulan disajikan pada **Tabel 2**.

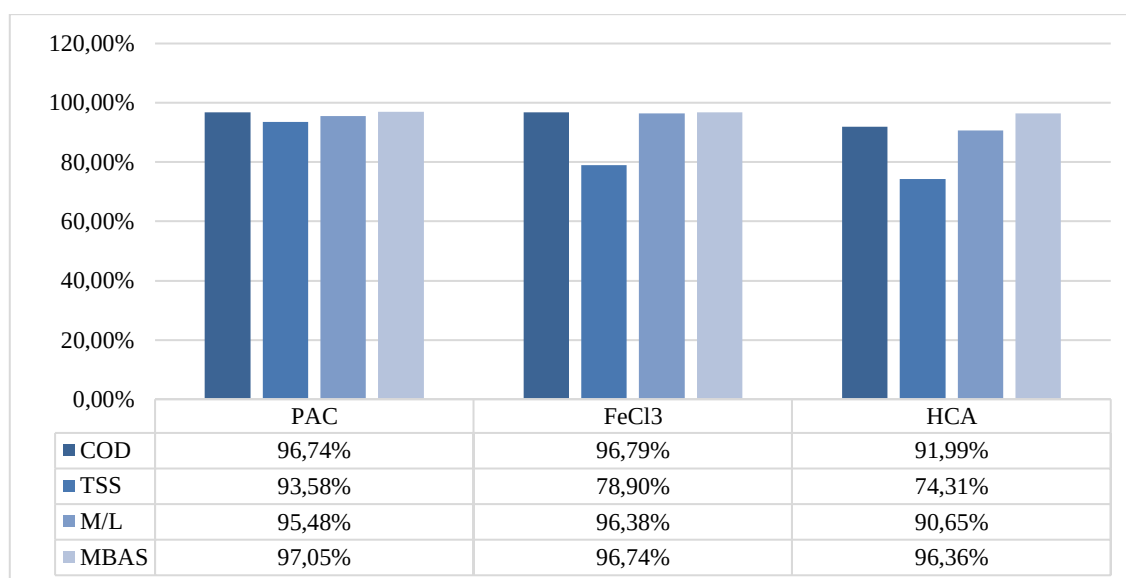
Tabel 2. Persentase Removal Hasil Penelitian

Parameter	Jenis Koagulan		
	PAC	HCA	FeCl ₃
COD	96,74%	96,79%	91,99%
TSS	93,58%	78,90%	74,31%
Minyak Lemak	95,48%	96,38%	90,65%
Surfaktan	97,05%	96,74%	96,36%

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Berdasarkan **Tabel 2**, didapatkan hasil pengujian penelitian yang menunjukkan efisiensi penyisihan sebesar 74,31%–97,05%. Pengambilan sampel dilakukan pada *outlet* sistem pengolahan untuk memperoleh kualitas efluen akhir. Meskipun analisis dilakukan pada efluen akhir, pembahasan dalam penelitian ini difokuskan pada pengaruh variasi jenis koagulan pada proses koagulasi hidrolis sebelum DAF dan adsorpsi, karena tahap tersebut merupakan variabel utama yang dievaluasi.

Untuk memperjelas perbedaan kinerja masing-masing koagulan pada setiap parameter, hasil penyisihan yang telah disajikan pada **Tabel 2** divisualisasikan dalam bentuk grafik seperti ditunjukkan pada **Gambar 3**. Grafik tersebut memudahkan perbandingan efisiensi penyisihan COD, TSS, minyak dan lemak, serta MBAS oleh koagulan PAC, FeCl₃, dan HCA.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Persen Removal Jenis Koagulan pada Setiap Parameter

Sumber : Hasil Penelitian, 2026

Berdasarkan **Gambar 3**, ketiga jenis koagulan mampu memberikan efisiensi penyisihan yang tinggi terhadap parameter COD dan surfaktan, sedangkan efisiensi penyisihan TSS merupakan yang terendah dibandingkan parameter lainnya. Secara umum, PAC, FeCl₃, dan HCA menunjukkan kinerja yang relatif sebanding dalam menurunkan COD, dengan efisiensi berkisar 91,99–96,74%. Tingginya penyisihan COD menunjukkan bahwa sebagian besar senyawa organik pada limbah cair restoran berada dalam bentuk partikel tersuspensi maupun koloid yang dapat didestabilisasi melalui mekanisme *charge neutralization* dan pembentukan flok selama proses koagulasi. Flok yang terbentuk selanjutnya berikatan dengan gelembung mikro pada proses *Dissolved Air Flotation* (DAF) sehingga lebih mudah terangkat ke permukaan. Mekanisme tersebut menjadikan kombinasi koagulasi–DAF efektif dalam menurunkan beban organik pada air limbah [13].

Efisiensi penyisihan TSS berada pada kisaran 74,31 – 93,58%, lebih rendah dibandingkan parameter lainnya. Hasil ini mengindikasikan bahwa masih terdapat partikel halus yang belum sepenuhnya terdestabilisasi atau membentuk flok dengan ukuran yang cukup besar untuk dapat terangkat secara optimal oleh gelembung mikro. Selain itu, sebagian flok yang berukuran kecil masih berpotensi lolos bersama aliran efluen sehingga menyebabkan efisiensi penyisihan TSS lebih rendah dibandingkan COD maupun surfaktan. PAC memberikan efisiensi penyisihan TSS tertinggi karena koagulan polimerik aluminium

tersebut menghasilkan distribusi spesies hidroksida yang lebih stabil sehingga proses destabilisasi partikel dan pembentukan flok berlangsung lebih efektif dibandingkan koagulan lainnya [14].

Pada parameter minyak dan lemak, koagulan FeCl_3 memberikan efisiensi penyisihan tertinggi hingga 96,38% dibandingkan PAC (95,48%) dan HCA (90,65%). Kinerja tersebut berkaitan dengan hidrolisis FeCl_3 yang menghasilkan flok $\text{Fe}(\text{OH})_3$, yang memiliki kemampuan tinggi dalam mengadsorpsi dan menjebak droplet minyak melalui mekanisme *charge neutralization* dan *sweep flocculation*. Flok yang lebih padat dan berukuran lebih besar meningkatkan peluang terjadinya pelekatan dengan gelembung mikro sehingga minyak dan lemak lebih mudah terangkat ke permukaan selama proses flotasi. Mekanisme ini menjadikan FeCl_3 banyak digunakan pada pengolahan limbah berminyak karena efektif dalam memecah emulsi minyak dan meningkatkan pembentukan flok [15].

Sementara itu, efisiensi penyisihan surfaktan menunjukkan nilai tertinggi pada seluruh jenis koagulan, yaitu sekitar 96,36%–97,05%. Perbedaan efisiensi antar koagulan relatif kecil, yang mengindikasikan bahwa setelah proses koagulasi dan flotasi, keberadaan media zeolit sebagai tahap adsorpsi memberikan kontribusi yang dominan terhadap penurunan konsentrasi surfaktan. Zeolit memiliki luas permukaan dan kapasitas adsorpsi yang tinggi sehingga mampu mengadsorpsi sisa molekul surfaktan yang tidak tersisihkan pada tahap koagulasi-flotasi [16]. Oleh karena itu, mekanisme penyisihan surfaktan tidak hanya dipengaruhi oleh jenis koagulan, tetapi juga oleh sinergi antara proses koagulasi, flotasi menggunakan gelembung mikro, dan adsorpsi menggunakan zeolit.

Secara keseluruhan, masing-masing koagulan menunjukkan karakteristik kinerja yang berbeda pada sistem koagulasi hidrolis. PAC menghasilkan efisiensi penyisihan yang paling konsisten pada seluruh parameter, terutama COD, TSS, dan surfaktan, sehingga menunjukkan kemampuan yang baik dalam mendestabilisasi partikel koloid dan membentuk flok yang stabil. FeCl_3 memberikan efisiensi tertinggi pada penyisihan minyak dan lemak karena pembentukan flok $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang efektif mengadsorpsi droplet minyak melalui mekanisme *charge neutralization* dan *sweep flocculation*. Sementara itu, HCA menghasilkan efisiensi yang relatif lebih rendah pada sebagian besar parameter, yang mengindikasikan bahwa kondisi operasi pada penelitian ini kurang optimal untuk memaksimalkan kinerja koagulan tersebut [17]. Dengan demikian, PAC dipilih sebagai koagulan optimum karena memberikan keseimbangan efisiensi penyisihan terhadap seluruh parameter pencemar yang dianalisis.

Analisis hidrolis

Analisis hidrolis dilakukan dengan cara menghitung Nre kecepatan aliran pada pipa *static mixer* dan belokan flokulasi. Debit disesuaikan dengan diameter pipa *static mixer* pasaran, sedangkan diameter pipa flokulasi disesuaikan dengan debit yang sudah direncanakan. Pada jumlah belokan pipa flokulasi disesuaikan dengan asumsi panjang pipa yang telah disesuaikan. Untuk memastikan bahwa proses rapid mixing dan flokulasi berlangsung sesuai dengan kriteria desain, dilakukan perhitungan hidrolis pada static mixer dan pipa flokulasi.

$$\text{Debit} = 2,0 \text{ liter/menit} \rightarrow 0,000034 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Diameter pipa static mixer pasaran} = 0,0127 \text{ m} \rightarrow 1,27 \text{ cm} \rightarrow \frac{1}{2} \text{ inch}$$

$$\text{Panjang pipa} = 0,335 \text{ m}$$

$$\text{Luas permukaan} = \frac{3,14 \times 0,0127^2}{4} = 0,00013 \text{ m}^2$$

$$\text{Kecepatan aliran} = \frac{0,000034 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00013 \text{ m}^2} = 0,27 \text{ m/s}$$

$$\text{Cek Nre static mixer} = \frac{995,7 \text{ kg/m}^3 \times 0,0127 \text{ m} \times 0,27 \text{ m/s}}{8,004 \times 10^{-7} \text{ N.s/m}^2} = 4.211,4 \text{ (Nre} > 4.000, \text{ aliran turbulen)}$$

$$\text{Diameter pipa} = 0,025 \text{ m} = 2,5 \text{ cm}$$

$$\text{Luas permukaan} = \frac{3,14 \times 0,025^2}{4} = 0,0005 \text{ m}^2$$

$$\text{Kecepatan} = \frac{0,000036 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0005 \text{ m}^2} = 0,07 \text{ m/s}$$

$$\text{Cek Nre pipa flokulasi} = \frac{995,7 \text{ kg/m}^3 \times 0,025 \text{ m} \times 0,07 \text{ m/s}}{8,004 \times 10^{-7} \text{ N.s/m}^2} = 2.139 \text{ (Nre } 2.000 > x < 4.000, \text{ aliran transisi)}$$

$$\text{Panjang pipa yang direncanakan} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Keliling lingkaran pipa} = 3,14 \times 0,025 \text{ m} = 0,078 \text{ m}$$

$$\text{Panjang belokan} = \frac{1}{2} \times 3,14 \times 0,025 \text{ m} = 0,04 \text{ m}$$

$$\text{Pipa lurus yang direncanakan} = 0,2 \text{ m}$$

Total panjang pipa = 0,04 m + 0,2 m = 0,24 m

Jumlah belokan = $\frac{1 \text{ m}}{0,24 \text{ m}} = 4$ belokan

Headloss mayor = $0,02 \times \frac{1 \text{ m}}{0,025 \text{ m}} \times \frac{(0,07 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}} = 0,000192 \text{ m}$

Headloss minor = $\left(\frac{(0,07 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81} \right) \times 4 \times 1,5 \text{ m} = 0,00144 \text{ m}$

HF total = 0,000192 m + 0,00144 m = 0,00164 m

TD = $\frac{(0,0005 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m})}{0,000036 \text{ m}^3/\text{s}} = 14,54 \text{ s}$

Gradien kecepatan (G) = $\sqrt{\frac{9810 \times 0,00164 \text{ m}}{0,001 \times 14,54 \text{ s}}} = 33,267 \text{ s}^{-1} \rightarrow \text{flokulasi lambat (20–80 s}^{-1}\text{)}$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa Nre *static mixer* sudah memenuhi kriteria desain yaitu >4.000 yang menandakan aliran sudah turbulen. Sedangkan Nre pipa flokulasi juga sudah memenuhi kriteria desain, yaitu sebesar 2.139 dimana aliran harus transisi diantara 2.000–4.000 agar flok tetap terbentuk dan tidak mengendap dan menyebabkan penyumbatan flok di aliran pipa. Nilai Reynolds menunjukkan aliran turbulen pada static mixer sehingga koagulan dapat terdistribusi secara merata. Kondisi tersebut mendukung pembentukan flok pada pipa flokulasi yang kemudian berkontribusi terhadap tingginya efisiensi penyisihan.

Peran Pengadukan Hidrolis terhadap Pembentukan Flok

Berdasarkan hasil analisis hidrolis, *static mixer* menghasilkan nilai Reynolds (NRe) sebesar 4.211 yang menunjukkan kondisi aliran turbulen, sedangkan pipa flokulasi memiliki NRe sebesar 2.139 yang berada pada daerah transisi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengadukan hidrolis telah memenuhi kriteria desain, di mana turbulensi pada *static mixer* mampu mendistribusikan koagulan secara merata ke seluruh aliran limbah sehingga meningkatkan frekuensi tumbukan (*particle collision*) antara partikel koloid dan koagulan [8]. Selanjutnya, aliran transisi pada pipa flokulasi memberikan kondisi yang cukup stabil untuk mendorong proses agregasi partikel menjadi flok tanpa menyebabkan flok yang telah terbentuk mengalami pecah akibat gaya geser yang berlebihan [7].

Flok yang terbentuk dengan ukuran dan stabilitas yang baik memiliki peluang lebih besar untuk berikatan dengan gelembung mikro pada unit *Dissolved Air Flotation* (DAF) sehingga lebih mudah terangkat ke permukaan. Dengan demikian, kombinasi kondisi turbulen pada *static mixer* dan aliran transisi pada pipa flokulasi berkontribusi terhadap tingginya efisiensi penyisihan COD, TSS, minyak dan lemak, serta surfaktan yang diperoleh pada penelitian ini. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengadukan hidrolis menggunakan *static mixer* dan pipa flokulasi mampu menjadi alternatif yang efektif terhadap pengadukan mekanis karena menghasilkan pencampuran koagulan yang baik dengan kebutuhan energi yang lebih rendah.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa jenis koagulan memengaruhi efisiensi penyisihan parameter pencemar pada sistem koagulasi hidrolis berbantu *Dissolved Air Flotation*. Ketiga koagulan mampu menyisihkan COD sebesar 91,99–96,79%, TSS sebesar 74,31–93,58%, minyak dan lemak sebesar 90,65–96,38%, serta surfaktan sebesar 96,36–97,05%. FeCl₃ menghasilkan efisiensi penyisihan minyak dan lemak tertinggi, sedangkan PAC menunjukkan kinerja paling konsisten pada seluruh parameter yang diuji. Oleh karena itu, PAC direkomendasikan sebagai koagulan optimum pada sistem koagulasi hidrolis karena mampu memberikan efisiensi penyisihan yang tinggi dan stabil terhadap COD, TSS, minyak dan lemak, serta surfaktan.

5. Daftar Pustaka

- [1] S. Indana and T. Harmawan, "Analisis Kandungan Minyak dan Lemak pada Limbah Outlet Pabrik Kelapa Sawit di Aceh Tamiang Quimica," *Jurnal Kimia Sains dan Terapan*, vol. 4, no. April, pp. 15–19, 2022.
- [2] Aniska, Salma, Nia Yuniarti Hasan, and Ujang Nurjaman. "Penurunan Minyak dan Lemak pada Limbah Cair Kantin menggunakan Modifikasi Grease Trap Media Zeolit." *Jurnal Kesehatan Siliwangi* 2.3 (2022): 1049-1056.
- [3] Srinivasan, A., and T. Viraraghavan. "Dissolved air flotation in industrial wastewater treatment." *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)* 1 (2009): 111-127.

- [4] Aniska, Salma, Nia Yuniarti Hasan, and Ujang Nurjaman. "Penurunan Minyak dan Lemak pada Limbah Cair Kantin menggunakan Modifikasi Grease Trap Media Zeolit." *Jurnal Kesehatan Siliwangi* 2.3 (2022): 1049-1056.
- [5] I. Ahmad *et al.*, "Micro and macro analysis of restaurant wastewater containing fat, oil, grease (FOG): An approach based on prevention, control, and sustainable management.," *Chemosphere*, vol. 325, p. 138236, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.138236.
- [6] I. Fatma, A. Budiono, and R. Baskoro, "Penentuan Dosis Optimum Koagulan Aluminium Sulfat Unit Dissolved Air Flotation Waste Water Treatment Plant PT Kawasan Industri Intiland," *Distilat J Teknol Separasi*, vol. 8, no. 1, pp. 169–175, 2022.
- [7] Novembrianto, Rizka, et al. "Comparison of DAF Pretreatment between Static Mixer and Impeller Mixer for Oil and Grease Reduction." *PROISRM* 8.Part-3 (2023): 130-130.
- [8] A. Masduqi, & F.Assomadi, *Operasi dan Proses Pengolahan Air (Kedua)*., Edisi 2. ITS Press, 2016.
- [9] R. Ariyansah, I. Budhi, and A. Gamayel, "Design Analysis of Static Mixer Pipe to Increase Coagulation Process in External," *ASIIMETRIK J. Ilm. Rekayasa Inov.*, vol. 2, no. 2, pp. 95–106, 2020.
- [10] S. R. Qasim, *Wastewater treatment plants: planning, design, and operation*. Routledge, 2017.
- [11] Rahmadany, Najya, et al. "Efektivitas Penggunaan Koagulan Alami dan Konvensional Dalam Proses Koagulasi Limbah Cair Industri (Waste Water Treatment): Parameter Chemical Oxygen Demand (COD)." *Indonesian Journal Of Materials Chemistry* 4.2.
- [12] Tantri, Nanda Brilian, Swatika Juhana, and Ragil Yuliatmo. "Effect of FeCl₃ Coagulan Dosage On Decreasing Turbidity Of Leather Tannery Waste Processing." *Berkala Penelitian Teknologi Kulit, Sepatu, dan Produk Kulit* 22.2 (2023): 100-105.
- [13] M. S. Lucas, A. R. Teixeira, N. Jorge, and J. A. Peres, "Industrial Wastewater Treatment by Coagulation – Flocculation and Advanced Oxidation Processes : A Review," 2025.
- [14] E. A. Sharghi and L. Davarpanah, "Optimization of chemical coagulation – flocculation process of detergent manufacturing plant wastewater treatment for full scale applications: a case study," *Desalin. Water Treat.*, vol. 262, pp. 38–53, 2022, doi: 10.5004/dwt.2022.28494.
- [15] C. Zhao *et al.*, "Application of coagulation/flocculation in oily wastewater treatment: A review," *Sci. Total Environ.*, vol. 765, p. 142795, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142795.
- [16] Kharabsheh, Raha M., and Ahmed Bdour. "Adsorption of SDBS-MBAS from aqueous solutions using natural zeolite and activated carbon: A comparative study." *Journal of Ecological Engineering* 26.5 (2025): 102-113.
- [17] D. Teguh, T. E. Agustina, M. H. Ridho, N. Febriyanti, and D. Ermaya, "The Effectiveness and Cost Optimization of Coagulant Aluminum Chlorohydrate (ACH), Aluminum Sulfate (AS), and Poly Aluminium Chloride (PAC) in Coagulation Process at The PT. Pupuk Sriwijaya (PT. Pusri) Utility Unit," *Indones. J. Environ. Manag. Sustain.*, vol. 6, pp. 189–195, 2022.