

**OPTIMASI DOSIS PAC DAN FLOKULAN ANIONIK PADA PROSES
KOAGULASI-FLOKULASI LIMBAH TEKSTIL DI IPAL POLITEKNIK
STTT BANDUNG**

*OPTIMIZATION OF PAC AND ANIONIC FLOCCULANT DOSAGE IN
THE COAGULATION-FLOCCULATION PROCESS OF TEXTILE
WASTEWATER AT THE STTT BANDUNG POLYTECHNIC
WASTEWATER TREATMENT PLANT*

**Sukirman*, Wulan Safrihartini Atikah, Octianne Djamaludin, Eka Oktariani,
Naufal Faris Wijaya**

Politeknik STTT Bandung, Jl. Jakarta No. 31 Bandung, 40272, Indonesia

*Penulis Korespondensi:

Alamat Email : sukirman.st3@gmail.com

Tanggal diterima: 19 Januari 2026, direvisi: 30 April 2026,
disetujui terbit: 08 Mei 2026

Abstrak

Sistem Pengolahan Air Limbah di Politeknik STTT Bandung memproses limbah cair dengan metode koagulasi-flokulasi menggunakan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dan flokulan anionik, namun dosis optimum dari kedua bahan kimia ini belum pernah ditentukan. Penelitian ini bertujuan untuk mencari konsentrasi optimum PAC dan flokulan anionik serta menganalisis efisiensi penurunan polutan dan biaya pengolahannya. Metode yang digunakan adalah jar test dengan memvariasikan konsentrasi PAC (100, 200, 300 mg/L), flokulan anionik (0, 5, 10, 15 mg/L) pada sampel air limbah. Efektivitas setiap perlakuan dianalisis berdasarkan parameter *Total Solids (TS)*, *Total Suspended Solids (TSS)*, *Total Dissolved Solids (TDS)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, *Biological Oxygen Demand (BOD)*, warna, dan kekeruhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi optimum adalah *PolyAluminium Clorida* 200 mg/L dan flokulan anionik 5 mg/L. Pada dosis tersebut, efisiensi penurunan yang dicapai sangat tinggi untuk COD (95%), BOD (81%), TSS (81%), dan kekeruhan (83%), serta signifikan untuk TS (69%) dan TDS (50%). Biaya pengolahan yang diperlukan untuk mencapai efisiensi ini adalah Rp 52.171/m³. Disimpulkan bahwa optimasi dosis koagulan dan flokulan berhasil meningkatkan kinerja pengolahan limbah cair secara signifikan dengan biaya yang efisien, sehingga dapat direkomendasikan untuk aplikasi pada operasional IPAL.

Kata kunci: Koagulasi, Flokulasi, Poly Aluminium Chloride (PAC), Flokulan Anionik, Optimasi Dosis, Air Limbah.

Abstract

The Wastewater Treatment Plant (WWTP) at Politeknik STTT Bandung treats liquid waste using a coagulation-flocculation method with Poly Aluminium Chloride (PAC) and anionic flocculant; however, the optimum dosage of these chemicals has never been determined. This study aims to determine the optimum concentration of PAC and anionic flocculant and analyze the efficiency of pollutant removal and treatment costs. The jar test method was employed by varying the concentrations of

PAC (100, 200, 300 mg/L) and anionic flocculant (0, 5, 10, 15 mg/L) on wastewater samples. The effectiveness of each treatment was analyzed based on the parameters of Total Solids (TS), Total Suspended Solids (TSS), Total Dissolved Solids (TDS), Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand (BOD), color, and turbidity. The results showed that the optimum concentration was 200 mg/L of PAC and 5 mg/L of anionic flocculant. At this dosage, the removal efficiency achieved was very high for COD (95%), BOD (81%), TSS (81%), and turbidity (83%), and significant for TS (69%), and TDS (50%). The treatment cost required to achieve this efficiency is IDR 52,171 per cubic meter. It was concluded that the optimization of coagulant and flocculant dosages successfully and significantly improved liquid waste treatment performance at an efficient cost, thus it is recommended for application in the WWTP's operation.

Keywords: Coagulation, Flocculation, Poly Aluminium Chloride (PAC), Anionic Flocculant, Dosage Optimization, Wastewater.

PENDAHULUAN

Industri tekstil merupakan salah satu sektor industri yang berkontribusi cukup besar terhadap total beban limbah cair global¹. Limbah cair industri tekstil biasanya memiliki warna yang pekat dan tingkat polutan yang tinggi². Karakteristik limbah tersebut dianalisis melalui parameter kualitas air seperti pH, suhu, warna, oksigen terlarut (DO), kebutuhan oksigen biologis (BOD), kebutuhan oksigen kimia (COD), total padatan (TS), total padatan terlarut (TDS), dan total padatan tersuspensi (TSS). Limbah tekstil memiliki nilai BOD dan COD yang cukup tinggi, sehingga dapat menimbulkan pencemaran ke daerah perairan. Oleh karena itu, pengolahan limbah cair menjadi tahap krusial sebelum dilakukan pembuangan ke lingkungan.³

Pengolahan air limbah umumnya melibatkan tahap primer, sekunder, dan lanjutan, di mana proses koagulasi-flokulasi pada tahap sekunder berperan dalam menurunkan kekeruhan, warna, dan kandungan bahan organik melalui destabilisasi partikel koloid dan pembentukan flok. Penggunaan koagulan berbasis aluminium, seperti polialuminium klorida (PAC), serta flokulan polimer anionik telah banyak dilaporkan efektif dalam meningkatkan

efisiensi pengolahan limbah tekstil. Namun, kinerja proses ini sangat dipengaruhi oleh konsentrasi bahan kimia yang digunakan; dosis yang tidak tepat dapat menyebabkan restabilisasi partikel, penurunan efisiensi pemisahan, serta peningkatan biaya operasional.⁴

Sejumlah penelitian sebelumnya melaporkan keberhasilan penggunaan PAC dan flokulan dalam menurunkan kekeruhan, COD, dan BOD secara signifikan, seperti yang disampaikan Penggunaan PAC dapat menurunkan nilai COD sebesar 74,5%. Meskipun demikian, sebagian besar studi dilakukan dalam kondisi laboratorium atau tidak secara spesifik mempertimbangkan variasi karakteristik limbah pada instalasi pengolahan aktual. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian terkait evaluasi optimasi dosis koagulan-flokulan yang berbasis pada kondisi operasional nyata, khususnya pada instalasi pengolahan limbah tekstil skala pilot pada pendidikan vokasi yang berfokus di bidang tekstil.⁵

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi optimum koagulan dan flokulan pada proses koagulasi-flokulasi di Instalasi Pengolahan Air Limbah Politeknik STTT

Bandung dengan karakter air limbah yang mirip seperti air limbah pada industri tekstil umumnya.

Kontribusi kebaruan penelitian ini berfokus pada optimasi dosis bahan kimia yang digunakan pada kondisi operasional aktual instalasi pengolahan limbah tekstil skala pilot di Politeknik STTT Bandung. Temuan penelitian ini diharapkan memberikan dasar ilmiah bagi peningkatan efektivitas pengolahan limbah cair tekstil serta menjadi referensi untuk pengembangan studi lanjutan di bidang serupa.

METODOLOGI

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu percobaan koagulasi-flokulasi skala laboratorium dengan menggunakan jar tester pada beberapa variasi konsentrasi dan jenis koagulan dan flokulan. Jar test merupakan metode uji laboratorium untuk menentukan kondisi terbaik dalam proses koagulasi-flokulasi. Rapid mixing merupakan tahap awal dalam proses koagulasi, di mana air dicampur dengan koagulan secara cepat, yang selanjutnya akan melalui tahapan slow mixing. Koagulan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Poly Aluminium Chloride (teknis) yang berfungsi untuk destabilisasi partikel koloid melalui mekanisme netralisasi muatan dan jembatan polimer. Flokulan yang dipilih adalah flokulan anionik Polyflock (teknis) dari PT Brata Chemical yang bekerja mempercepat pembentukan flok besar sehingga memudahkan proses sedimentasi atau filtrasi. Kecepatan putaran pada saat jartes adalah 100 rpm (*rotation per menit*) selama 1 menit untuk putaran cepat dan 20 rpm selama 20 menit untuk putaran lambat. Limbah disimpan dalam lemari pendingin sebelum dilakukan proses pengolahan. Volume limbah yang diproses sebanyak 500 mL untuk setiap kali proses.

Tahap selanjutnya adalah menentukan kondisi optimum koagulan dan flokulan yang ditambahkan dengan metode pembobotan atau perankingan dari hasil pengujian beberapa parameter kualitas air limbah. Parameter uji yang digunakan untuk menentukan konsentrasi optimum yaitu pH, DO, BOD, COD, TS, TDS, dan TSS. Pengujian dilakukan dengan pengulangan dua kali (*duplo*) untuk setiap variasi proses, untuk keperluan pengujian analisis dilakukan oleh pihak terkait yaitu UPTD Laboratorium Lingkungan Hidup Ujungberung Bandung.

Penentuan bobot dalam metode perankingan didasarkan pada relevansi parameter terhadap efektivitas proses koagulasi-flokulasi serta kepatuhan terhadap regulasi baku mutu yang berlaku. Parameter Total Suspended Solids (TSS) diberi bobot tertinggi (50%) dalam metode *ranking* karena perannya yang paling dominan dalam menyebabkan kerusakan ekosistem perairan secara langsung (kekeruhan dan sedimentasi), sementara TDS dan TS dianggap sebagai faktor pendukung dalam mengevaluasi padatan total. Selain itu, TSS menjadi satu-satunya parameter padatan yang memiliki ambang batas baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.16/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019. Sementara itu, parameter Total Solids (TS) dan Total Dissolved Solids (TDS) masing-masing diberikan bobot 25% sebagai parameter pendukung. Keduanya berfungsi untuk memberikan gambaran mengenai total beban padatan dan fraksi terlarutnya, namun tidak dijadikan sebagai tolok ukur utama dalam menilai keberhasilan proses koagulasi-flokulasi.

PEMBAHASAN

Hasil Pengujian TS, TSS, dan TDS

Pengaruh konsentrasi penggunaan koagulan dan flokulan anionik dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil pengujian menunjukkan nilai total (TS) yang sebelumnya sebesar 1352 mg/L menjadi 414 mg/L, hasil padatan tersuspensi total (TSS) sebelum diolah sebesar 834 mg/L setelah dilakukan pengolahan dengan konsentrasi optimum menjadi 156 mg/L dan hasil padatan terlarut total (TDS) sebelum diolah sebesar 518 mg/L dan setelah diolah dengan konsentrasi optimum menjadi 258 mg/L. Penurunan kadar padatan disebabkan oleh kinerja penyisihan yang dihasilkan oleh zat koagulan (PAC) dan zat flokulan. Ketika PAC ditambahkan ke dalam air limbah, senyawa ini akan mengalami hidrolisis dan membentuk endapan $Al(OH)_3$ yang bersifat amorf dan bermuatan positif. Endapan ini berperan sebagai media penangkap partikel-partikel pencemar. Pada kondisi dosis tertentu, jumlah endapan yang terbentuk cukup banyak sehingga menciptakan mekanisme yang disebut sweep flocculation.

Pada data dengan dosis PAC 100 mg/L, penyisihan belum berjalan optimal. Hal ini terlihat dari nilai TS, TSS, dan TDS yang masih berfluktuasi. Meskipun pada penambahan flokulan 5 mg/L terjadi penurunan TSS (dari 254 menjadi 195 mg/L), namun pada dosis flokulan yang lebih tinggi justru terjadi kenaikan kembali. Kondisi ini menunjukkan bahwa jumlah flok yang terbentuk belum cukup untuk menyapu seluruh partikel secara efektif, sehingga mekanisme sweep flocculation belum dominan.

Ketika dosis PAC ditingkatkan menjadi 200 mg/L, terlihat penurunan yang paling signifikan pada seluruh parameter, terutama pada kombinasi dengan flokulan 5 mg/L. Nilai TSS turun drastis menjadi 156 mg/L, TS menjadi 414 mg/L, dan TDS juga menurun

hingga 187 mg/L. Kondisi ini menunjukkan bahwa jumlah endapan $Al(OH)_3$ yang terbentuk sudah cukup untuk membentuk flok besar dan padat. Flok ini kemudian menyapu partikel tersuspensi dan sebagian zat terlarut, sehingga terjadi penyisihan yang optimal. Dengan demikian, pada dosis ini mekanisme sweep flocculation berlangsung paling efektif. Namun, pada dosis PAC 300 mg/L, efektivitas penyisihan kembali menurun. Hal ini mengindikasikan terjadinya overdosis koagulan, di mana kelebihan $Al(OH)_3$ dapat menyebabkan flok menjadi terlalu halus atau bahkan pecah kembali. Selain itu, kelebihan muatan positif dapat menyebabkan partikel kembali stabil (restabilisasi), sehingga mengurangi efisiensi penyisihan.

Data tersebut menunjukkan bahwa mekanisme sweep flocculation sangat bergantung pada dosis PAC yang tepat. Dosis yang terlalu rendah tidak mampu membentuk flok yang cukup, sedangkan dosis yang terlalu tinggi justru menurunkan efektivitas proses. Dalam kasus ini, kondisi optimum terjadi pada PAC 200 mg/L dengan flokulan 5 mg/L, di mana proses penyapuan partikel oleh flok berlangsung maksimal sehingga menghasilkan penurunan TS, TSS, dan TDS yang paling baik.

Tabel 1. Pengaruh Konsentrasi Koagulan dan Flokulan Anionik terhadap Nilai rata-rata Hasil Pengujian TS, TSS dan TSS Limbah Politeknik STTT Bandung

Hasil Pengujian				
Koagulan (mg/L)	Flokulan (mg/L)	TS (mg/L)	TSS (mg/L)	TDS (mg/L)
100	0	561	254	307
	5	479	195	284
	10	522	270	252
	15	494	218	276
200	0	568	302	266
	5	414	156	258
	10	483	296	187
	15	452	233	219
300	0	464	219	245
	5	448	236	212
	10	431	176	255
	15	467	206	261

Penambahan koagulan dan flokulan berfungsi membentuk aglomerasi serta mempercepat pembentukan padatan menjadi flok, sehingga mudah diendapkan dan beban pencemaran dari padatan dalam air limbah berkurang. Hasil pengolahan koagulasi-flokulasi terhadap TS, TSS, dan TDS menunjukkan adanya penyisihan.

Tabel 2 memperlihatkan bahwa penggunaan konsentrasi optimal koagulan dan flokulan anionik memberikan efisiensi positif terhadap beberapa parameter limbah lainnya.

Tabel 2. Pengaruh Konsentrasi Optimum terhadap Beberapa Parameter Limbah Politeknik STTT Bandung

Parameter	Ekualisasi	Koagulasi-Flokulasi	Efisiensi Penyisihan
TS	1352 mg/L	414 mg/L	69%
TSS	834 mg/L	156 mg/L	81%
TDS	518 mg/L	258 mg/L	50%
COD	614 mg/L	29,5 mg/L	95%
BOD	105 mg/L	19,9 mg/L	81%
Kekeruhan	9,98 NTU	1,7 NTU	83%
Warna	76,3 Pt.Co	26,1 Pt.Co	66%
pH	7,96	5,86	-
Suhu	27 °C	27 °C	-

Pengujian *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Nilai Kimia Oksigen Demand (COD) sangat menentukan kualitas air limbah dalam mendegradasi bahan organik secara kimia. Teori menyatakan bahwa COD mengukur jumlah oksigen diperlukan untuk mengoksidasi materi organik dan anorganik di dalam air melalui reaksi kimia ⁽¹⁰⁾. Semakin tinggi nilai COD pada limbah, semakin buruk kualitas air tersebut. Pada Tabel 2, hasil pengukuran COD sebelum pengolahan adalah 614 mg/L, kemudian turun setelah proses menggunakan konsentrasi optimum menjadi 29,5 mg/L. Tingginya nilai COD disebabkan tingginya konsentrasi senyawa organik

dalam air limbah. Proses koagulasi dan flokulasi mampu mengurangi zat organik karena kemampuannya menurunkan senyawa atau padatan penyebab nilai COD tinggi. Oleh karena itu, nilai COD dapat turun, sesuai dengan fungsi koagulasi untuk "menyisihkan zat organik dan padatan sehingga beban polusi berkurang". Berdasarkan laporan terdahulu proses koagulasi dan flokulasi dapat menurunkan kadar COD dalam sampel air limbah ⁷.

Setelah pengolahan dengan konsentrasi optimum, nilai COD mengalami penurunan yang signifikan. Efisiensi penyisihan COD mencapai 95%, menunjukkan bahwa proses koagulasi-flokulasi efektif menurunkan kandungan zat organik. Penurunan ini disebabkan oleh pengendapan partikel-partikel penyebab tingginya nilai COD. Pemberian dosis koagulan-flokulan yang tepat juga berkontribusi terhadap penurunan nilai COD tersebut. Nilai COD hasil pengolahan telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor P.16/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019

Pengujian *Biological Oxygen Demand* (BOD)

BOD merupakan parameter dalam pengolahan air limbah tekstil. BOD adalah jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh bakteri untuk mengurai hampir semua zat organik yang ada dalam air limbah. Pada tabel 2 nilai BOD pada proses ekualisasi sebesar 105 mg/L setelah dilakukan proses koagulasi dan flokulasi nilai BOD turun menjadi 19,9 mg/L. tingginya nilai BOD disebabkan karena tingginya bahan organik yang diurai oleh bakteri atau mikroorganisme sehingga oksigen yang tersedia di badan air berkurang. Penurunan ini disebabkan oleh penurunan zat organik ada pada air limbah karena telah di proses pada tahap koagulasi dan flokulasi. Proses

koagulasi dan flokulasi bertujuan untuk memisahkan padatan-padatan atau zat organik sehingga kadar BOD dapat mengalami penurunan. Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa kadar TSS yang tinggi akan mengakibatkan menurunnya konsentrasi DO (Dissolved Oxygen) yang akan mengakibatkan meningkatnya konsentrasi BOD⁸. Selain itu proses Penurunan nilai BOD diiringi dengan penurunan nilai TSS hal tersebut menunjukkan bahwa proses koagulasi dan flokuasi dapat menurunkan zat organik sehingga nilai BOD menjadi makin baik. Penurunan tersebut menghasilkan efisiensi penurunan nilai BOD sebesar 81%. Efektivitas koagulasi-flokulasi terhadap COD lebih dominan dibandingkan BOD karena proses koagulasi-flokulasi bekerja melalui mekanisme fisika-kimia berupa pembentukan flok aluminium.

Pengujian Kekeruhan (*Turbidity*)

Kekeruhan air limbah disebabkan oleh partikel tersuspensi yang menghambat transmisi cahaya, membuat air tampak keruh⁹. Nilai kekeruhan di bak ekualisasi adalah 9,98 NTU; setelah diolah dengan konsentrasi optimum, efisiensi penurunannya mencapai 83% menjadi 1,7 NTU. Berdasarkan data dan teori bahwa koagulasi-flokulasi memisahkan padatan dan bahan organik dalam air limbah, penurunan kekeruhan ini membuktikan bahwa penyisihan padatan pada proses tersebut berpengaruh terhadap penurunan kekeruhan. Berkurangnya nilai TSS menyebabkan partikel tersuspensi menurun, sehingga kekeruhan air limbah berkurang. Hasil pengujian pH menunjukkan penurunan dari 7,89 di bak ekualisasi menjadi 6,86 setelah pengolahan optimum. Penambahan koagulan PAC dapat melepas ion hidrogen, sehingga pH menjadi lebih asam. Ion H⁰ yang dilepaskan menyebabkan penurunan

nilai pH¹⁰. Proses koagulasi-flokulasi di IPAL Politeknik STTT Bandung tidak mengatur pH. Hussain dkk. menyatakan bahwa untuk mengetahui pengaruh pH, perlu uji koagulasi pada pH ekstrem (2–12) agar dapat memahami pengaruhnya dan memudahkan proses lanjut yang memerlukan pH netral¹¹. pH dalam penelitian ini mengikuti kondisi aktual di IPAL, sehingga parameter pH tidak menjadi fokus pembahasan.

Pengujian Suhu

Suhu terukur di bak ekualisasi adalah 27°C dan tidak berubah setelah koagulasi-flokulasi. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. P.16/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 Lampiran II menetapkan suhu ideal adalah suhu ambient dengan toleransi ±2°C. Dengan demikian, pada penelitian ini, suhu telah memenuhi baku mutu air limbah dan tidak menjadi faktor yang mempengaruhi proses koagulasi-flokulasi.

Penentuan Konsentrasi Optimum

Penentuan konsentrasi optimum didasarkan pada pertimbangan tiga hasil uji: TS, TSS, dan TDS. Pemilihan konsentrasi optimum menggunakan nilai TS, TSS, dan TDS sesuai dengan fungsi pengolahan air limbah melalui metode koagulasi dan flokulasi. Teori menyatakan bahwa fungsi utama proses ini adalah memisahkan padatan dalam air limbah dan mempercepat pembentukan flok, sehingga mengurangi beban pencemaran¹². Sistem perankingan digunakan untuk menetapkan konsentrasi optimum dengan memberikan prioritas pada setiap uji: TS 25%, TSS 50%, dan TDS 25%. Pembobotan tertinggi pada TSS disebabkan oleh standar baku mutu dalam Peraturan Menteri LHK RI No. P.16/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 yang hanya mencantumkan batas maksimal untuk parameter TSS. Nilai TS dan TSS terendah terdapat

pada variasi koagulan 200 mg/L dan flokulan 5 mg/L, dengan nilai TS 414 mg/L dan TSS 156 mg/L. Sementara nilai TDS terendah ada pada variasi koagulan 200 mg/L dan flokulan 10 mg/L, dengan TDS 187 mg/L.

Berdasarkan hal tersebut, titik optimum ditentukan menggunakan sistem perankingan. Hasil perankingan menunjukkan konsentrasi optimum pada koagulan 200 mg/L dan flokulan 5 mg/L dengan total nilai 0,852083. Sistem ini menggunakan normalisasi data terbalik untuk menyamakan skala nilai sehingga memudahkan perankingan.

Berdasarkan hasil, konsentrasi koagulan dan flokulan berpengaruh terhadap penurunan padatan dalam sampel uji, yang tercermin dari penurunan nilai TS, TSS, dan TDS. Penambahan koagulan dan flokulan yang tinggi tidak meningkatkan kualitas air limbah, justru cenderung meningkatkan nilai TS, TSS, dan TDS. Sebaliknya, konsentrasi yang terlalu rendah menyebabkan penguraian air limbah tidak maksimal. Oleh karena itu, konsentrasi optimum ditetapkan pada koagulan 200 mg/L dan flokulan 5 mg/L. Hal ini telah sesuai dengan penggunaan koagulan dan flokulan di Unit IPAL Politeknik STTT Bandung.

Penelitian terdahulu melaporkan bahwa penambahan polielektrolit ke dalam dosis tawas sebagai koagulan konvensional seperti tawas. Namun, efisiensi penyisihan TSS menurun seiring dengan peningkatan dosis tawas dan polielektrolit di atas dosis optimumnya. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh suspensi kembali (*re-suspension*) partikel pada dosis tawas dan polielektrolit yang lebih tinggi.¹³

Biaya Proses Koagulasi dan Flokulasi

Bahan kimia yang digunakan dalam proses koagulasi dan flokulasi adalah koagulan PAC dan flokulan

Anionik. Perhitungan biaya didasarkan pada konsumsi bahan kimia dan penggunaan energi listrik. Biaya proses dihitung per meter kubik dengan waktu operasi 8 jam untuk mengolah volume 1 m³. Berdasarkan Tabel 3, biaya listrik yang digunakan adalah Rp48.376/m³ dan biaya bahan kimia sebesar Rp3.795/m³, sehingga total biaya operasi koagulasi dan flokulasi adalah Rp52.171/m³. Biaya ini belum termasuk biaya tenaga kerja, pemeliharaan, maupun pengolahan limbah padat yang dihasilkan.

Tabel 3. Rekapitulasi Biaya Koagulasi dan Flokulasi Limbah Politeknik STTT Bandung.

Biaya Zat Koagulan dan Zat Flokulan (Rp/m ³)	Biaya Listrik (Rp/m ³)	Total Biaya (Rp/m ³)
Rp 3.795	Rp. 48.376	Rp. 52.171

Analisis biaya dalam penelitian ini dibatasi pada biaya operasional langsung (*direct OPEX*) yang sensitif terhadap variasi kondisi proses, sehingga tidak mencakup keseluruhan biaya IPAL seperti investasi, penyusutan, dan pengelolaan lumpur jangka panjang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen optimasi koagulan dan flokulan, diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Konsentrasi koagulan dan flokulan mempengaruhi penurunan nilai TS, TSS, TDS, COD, BOD, warna, dan kekeruhan.
2. Konsentrasi optimum koagulan PAC adalah 200 mg/L dan flokulan anionik 5 mg/L, sesuai dengan standar IPAL Politeknik STTT Bandung.
3. Konsentrasi optimum menghasilkan efisiensi penyisihan: TS 68%, TSS

81%, TDS 50%, COD 95%, BOD 81% dan kekeruhan 83%.

4. Biaya pengolahan air limbah dengan metode koagulasi-flokulasi adalah Rp 52.171,00 per meter kubik.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disarankan bahwa pada

proses pengolahan limbah di IPAL Politeknik STTT Bandung agar mendapat efisiensi penyisihan partikel yang optimum digunakan konsentrasi PAC 200 mg/L dan Flokulan Anionik 5 mg/L.

DAFTAR PUSTAKA

1. Efendy, Ryan Phillip., Dewi, Kania. (2024). Greenhouse Gasses Inventory On Textile Finishing Industry PT. X. *Journal of Community Based Environmental Engineering and Management*. **Vol 8(1)** : 1-8. (2024).
2. Azanaw, A., Birlie, B., Teshome, B., Jemberie, M. Textile Effluent Treatment Methods and Eco-friendly Resolution of Textile Wastewater. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. **Vol 6** : 1-13. (2022).
3. Yuniarti, B.I., Widayatno, T. Analisa Perubahan BOD, COD, dan TSS Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Metode Elektooksidasi-elektrokoagulasi Elektroda Fe-C dengan Sistem Semi Kontinyu. *Rekayasa Hijau : Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*. **Vol 5(3)** : 238 -247. (2021)
4. Dwidewitra, R.P., Huda, M.M., Rachmanto, T.A. Pengaruh Konsentrasi Koagulan Terhadap Proses Pengolahan Air di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya. *Globe: Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumihan, Ilmu Perkapalan*. **Vol 2(2)** : 145-153. (2024)
5. Nurrahmajanti, A., Djamaludin, O., Klatatiana, A.I.S. Efek Koagulasi-Flokulasi terhadap Penurunan COD Menggunakan *Poly Alumunium Chloride* (PAC) dan Kapur pada Limbah Cair Tekstil dengan Zat Warna Direk. *Journal of Energy, Materials & Manufacturing Technology (JEMMTEC)*. **Vol 5(1)** : 23 – 29.(2026).
6. Lolo, E. U., & Pambudi, Y. S. Penurunan Parameter Pencemar Limbah Cair Industri Tekstil Secara Koagulasi Flokulasi (Studi Kasus : IPAL Kampung Batik Laweyan , *Jurnal Serambi Engineering*. **Vol V**, No. 3. 1090–1098. (2020)
7. Budiman, A. (2008). Kinerja Koagulan Poly Alumunium Chloride (PAC) Dalam Penjernihan Air Sungai Kalimas Surabaya Menjadi Air Bersih. *Widya Teknik*. **Vol. 7**, No. 1, 25-34. (2008)
8. Abidin, A. Z. (2018). Kompilerasi Kinerja Flokulan Akrililamida Methacryloyloxyethyl Trimethylammonium Chloride Seminar Nasional Sains dan Teknologi. **1-7**. (2018)
9. Fitri, I. T., Samudro, G., & Sumiyati, S. Studi Penurunan Parameter TSS Dn Turbidity Dalam Air Limbah Domestik Artifisial Menggunakan Kombinasi Vertical Roughing) Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP.(2013).
10. Putri, D. K., Artiyani, A., & Sudiro. Efektivitas Koagulan Pac Dalam Pengolahan Air Di Ipa Krikilan Kabupaten Gresik. *Jurnal Enviro*, **4–10**.(2023)
11. Hussain, S., Ghouri, A. S., & Ahmad, A. (2019). Pine cone extract as natural coagulant for purification of turbid water. *Heliyon*, **5(3)**. (2019).
12. Ekoputri, S. F., Rahmatunnissa, A., Nulfaidah, F., Ratnasari, Y., Djaeni, M., & Sari, D. A. Pengolahan Air Limbah dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Industri Kimia. *Jurnal Serambi Engineering*, **9(1)**, 7781–7787. (2023)
13. Amudaa. O.S, Alade. A. Coagulation/flocculation process in the treatment of abattoir wastewater. *Desalination* **196**. 22–31.(2006)