

The Effect of Adding Chitosan as a Commercial Coagulant Aid in Reducing Microplastics in Leachate

Pengaruh Penambahan Kitosan sebagai Bantuan Koagulan Komersial dalam Menurunkan Mikroplastik Pada Air Lindi

Hasna Aqilah Putri Agdy¹, Okik Hendriyanto Cahyonugroho^{1*}, Praditya Sigit Ardisty Sitogasa¹

¹UPN "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

*surel: okikhc@upnjatim.ac.id

ABSTRACT

Leachate from the final processing site (TPA) has the potential to pollute the environment because it contains organic compounds, suspended solids, and microplastics. This study aims to analyze the effect of varying doses of polyaluminum chloride (PAC) coagulant and chitosan on the reduction of microplastics, COD, and TSS in leachate from the Randegan landfill. The method used was coagulation-flocculation with a jar test. The results showed that varying doses and combinations of coagulants affected the effectiveness of treatment. The combination of PAC and chitosan at the optimum dosage was able to reduce microplastics by 78%, COD by 86%, and TSS by 91%. The reduction in microplastics occurred through the mechanisms of charge neutralization, adsorption, and sweep flocculation. The combination of PAC and chitosan has the potential to be applied as an effective and sustainable leachate treatment method.

Keywords:

Leachate
Microplastic
Coagulation
PAC
Chitosan

Received: February 07th 2026
Reviewed: February 16th 2026
Published: July 16th 2026

ABSTRAK

Air lindi dari tempat pemrosesan akhir (TPA) berpotensi mencemari lingkungan karena mengandung senyawa organik, padatan tersuspensi, dan mikroplastik. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi dosis koagulan polyaluminium chloride (PAC) dan kitosan terhadap penurunan mikroplastik, COD, dan TSS pada air lindi TPA Randegan. Metode yang digunakan adalah koagulasi-flokulasi dengan uji jar test. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi dosis dan kombinasi koagulan berpengaruh terhadap efektivitas pengolahan. Kombinasi PAC dan kitosan pada dosis optimum mampu menurunkan mikroplastik hingga 78%, COD sebesar 86%, dan TSS sebesar 91%. Penurunan mikroplastik terjadi melalui mekanisme netralisasi muatan, adsorpsi, dan sweep flocculation. Kombinasi PAC dan kitosan berpotensi diterapkan sebagai metode pengolahan air lindi yang efektif dan berkelanjutan.

Kata Kunci:

Air lindi
Mikroplastik
Koagulasi
PAC
Kitosan

Diterima: 07 Februari 2026
Direview: 16 Februari 2026
Dipublikasi: 16 Juli 2026



PENDAHULUAN

Air lindi merupakan cairan yang terbentuk dari aktivitas penguraian sampah serta memiliki aroma yang menyengat [1]. Cairan ini memerlukan penanganan khusus karena mengandung berbagai zat pencemar seperti COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD (*Biological Oxygen Demand*), dan logam berat dengan konsentrasi yang umumnya lebih tinggi dibandingkan air limbah industri. Proses biodegradasi yang berlangsung cepat pada timbunan sampah segar akan menghasilkan senyawa asam dan menurunkan nilai pH air lindi, sehingga menyebabkan tingginya konsentrasi pencemar tersebut. Kemampuan pelarutan air lindi terhadap berbagai zat pencemar yang terkandung dalam sampah meningkat akibat kondisi asam tersebut. Potensi pencemaran lingkungan yang tinggi dapat ditimbulkan oleh air lindi, khususnya apabila terjadi infiltrasi ke badan air di sekitarnya [2].

Risiko pencemaran terhadap perairan di sekitarnya masih ada, karena sistem penampungan air lindi di TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) masih belum sepenuhnya dapat mencegah terjadinya kebocoran. Partikel berukuran mikroskopis yang dikenal sebagai mikroplastik dihasilkan dari proses degradasi fisik, kimia, dan biologi yang dialami sampah plastik yang tertimbun dalam periode waktu panjang di TPA [3]. Permasalahan lingkungan yang signifikan telah ditimbulkan oleh mikroplastik dengan ukuran kurang dari 5 mm, karena memberikan dampak yang luas terhadap ekosistem maupun kesehatan manusia [4]. Partikel ini dapat berperan sebagai vektor polutan, termasuk mengadsorpsi senyawa organik dan membentuk kontaminan yang lebih kompleks dan bersifat toksik, karena karakteristik mikroplastik yang berukuran sangat kecil, bersifat hidrofobik, serta memiliki ketahanan terhadap fotodegradasi [5]. Produksi partikel plastik sintetis maupun degradasi fisik, kimia, dan biologi sampah plastik menjadi sumber primer dan sekunder dalam terbentuknya mikroplastik [6].

Pemilihan TPA Randegan Mojokerto sebagai lokasi penelitian didasarkan pada sistem pengolahan air lindi yang dilengkapi dengan titik outlet yang dapat diakses untuk keperluan pengambilan sampel secara representatif. Adanya akses terhadap titik pengambilan sampel di bagian *outlet* sistem pengolahan memberikan peluang untuk melakukan evaluasi terhadap karakteristik mikroplastik yang terdapat dalam air lindi pascapengolahan. Pengolahan air lindi di TPA Randegan Mojokerto diawali dengan bak penampungan awal, dilanjutkan dengan proses aerasi untuk meningkatkan kadar oksigen [7]. Sedimentasi untuk memisahkan partikel tersuspensi (TSS) melalui mekanisme gravitasi menjadi tahap selanjutnya, dan diakhiri di bak penampungan sementara [8]. Selain sistem tersebut, berbagai metode lain telah dikembangkan untuk menurunkan kadar mikroplastik, antara lain bioreaktor membran [9], *Dissolved Air Flotation* (DAF) [10], dan koagulasi [11].

Menganalisis pengaruh penambahan koagulan kitosan dalam proses koagulasi terhadap penurunan konsentrasi mikroplastik pada air lindi TPA Randegan menjadi tujuan dari penelitian ini berdasarkan latar belakang tersebut. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai efektivitas kombinasi koagulan kimia yaitu PAC (*Poly Aluminium Chloride*) dan alami dalam mengendalikan mikroplastik serta menjadi dasar pengembangan pengolahan air lindi yang lebih efektif dan berkelanjutan.

METODOLOGI

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu beaker glass, *jar test*, neraca analitik, pompa vakum, desikator, *filter holder*, oven, *digestion vessel*, COD heating reactor, dan *magnetic stirrer*. Sedangkan bahan yang digunakan, yaitu PAC (*Poly Aluminium Chloride*), kitosan, kertas saring Whatman No. 42, dan air lindi.

Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini proses koagulasi-flokulasi menggunakan alat *jar test* dalam skala laboratorium. Setiap perlakuan menggunakan sampel air lindi sebanyak 500 mL. Proses koagulasi menggunakan kecepatan 150 rpm selama 3 menit, sedangkan pada proses flokulasi menggunakan kecepatan 40 rpm selama 20 menit. Setelah itu akan dilakukan proses pengendapan flok atau sedimentasi selama 60 menit. Koagulan yang digunakan yaitu PAC dan kitosan dalam bentuk bubuk

yang dilarutkan dengan larutan asam. Seluruh tahapan penelitian dilaksanakan berdasarkan prosedur standar yang tercantum dalam SNI 19-6449-2000 mengenai metode uji *jar test* pada pengolahan air limbah. Parameter yang diuji pada penelitian ini, yaitu mikroplastik, COD, dan TSS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui variasi dosis koagulan terhadap proses koagulasi, penelitian ini menggunakan beberapa kombinasi dosis PAC dan kitosan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Dosis Koagulan

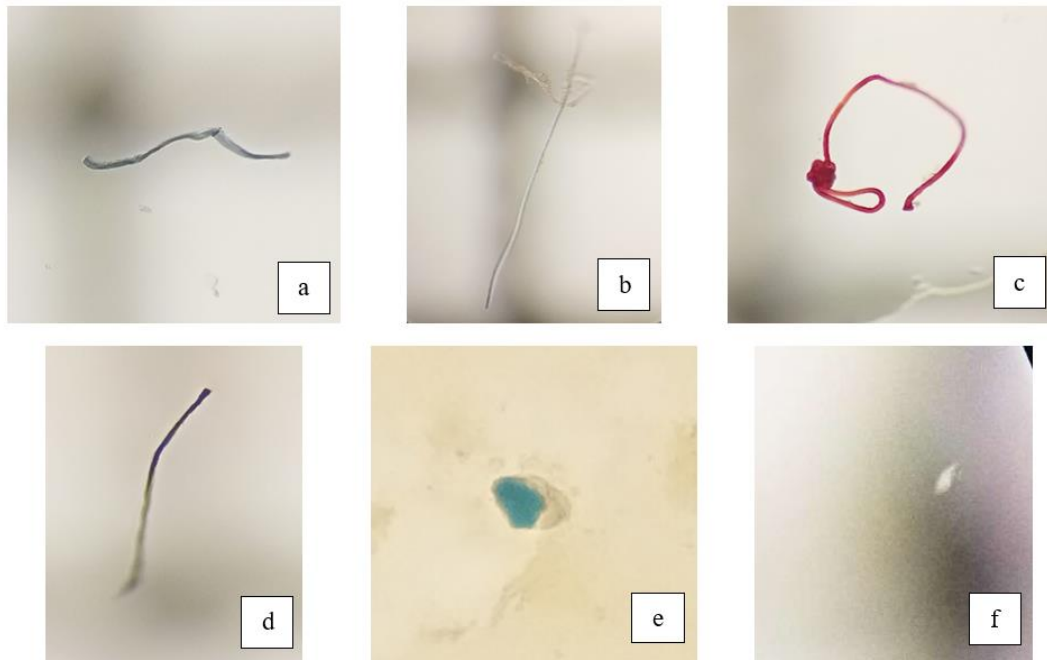
	Jenis Koagulan	Dosis Koagulan (mg/L)		Waktu Pengendapan	Kode Sampel
		PAC	Kitosan		
500 ml	PAC	150		60 menit	A1
	Kitosan	150			B1
	PAC + Kitosan dengan ekstraksi CH ₃ COOH (Kontrol)	60	90		C1
		75	75		C2
		90	60		C3
	PAC + Kitosan dengan ekstraksi 3000 mg/L HCl 0,1 N	60	90		D1
		75	75		D2
		90	60		D3
	PAC + Kitosan dengan ekstraksi 4000 mg/L HCl 0,1 N	60	90		E1
		75	75		E2
		90	60		E3

Penelitian ini menggunakan sampel air lindi yang berasal dari TPA Randegan, Kota Mojokerto. Analisis awal dilakukan untuk mengetahui karakteristik sampel sebelum proses pengolahan menggunakan metode *jar test* dengan koagulan PAC dan kitosan. Parameter yang dianalisis meliputi uji FTIR untuk mengetahui jenis polimer mikroplastik, uji fisik untuk mengetahui bentuk dan warna mikroplastik, COD, dan TSS, dengan hasil analisis awal pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Awal Air Lindi

Parameter	Hasil	Satuan
COD	460,8	mg/L
TSS	308	mg/L
Mikroplastik	900	partikel/L

Identifikasi fisik mikroplastik dilakukan berdasarkan karakteristik visual, yaitu bentuk dan warna mikroplastik. Pengamatan mikroplastik dilakukan dengan menggunakan mikroskop dengan perbesaran 40x. Hasil pengamatan awal disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk dan warna mikroplastik pada air lindi

a) fiber biru; b) fiber bening; c) fiber merah; d) fiber hitam; e) fragmen biru; f) film putih

Hasil uji fisik mikroplastik ditemukan terdapat jenis mikroplastik fiber biru, fiber bening, fiber merah, fiber hitam, fragmen biru, dan film putih pada air lindi. Keragaman karakteristik warna dari mikroplastik ini mencerminkan heterogenitas asal-usul material plastik yang terakumulasi di lokasi tempat pemrosesan akhir sampah. Mikroplastik berwarna biru dan merah umumnya bersumber dari material tekstil sintetis serta produk-produk keperluan rumah tangga yang menggunakan pewarna, menunjukkan adanya kontribusi signifikan dari sektor limbah domestik dalam pencemaran mikroplastik di lingkungan TPA. Keberadaan mikroplastik berwarna hitam mengindikasikan material berasal dari bahan kemasan berbasis polimer berpigmen gelap. Di sisi lain, serat transparan dan film putih pada umumnya berasal dari material plastik tipis seperti kantong plastik atau kemasan fleksibel yang memiliki densitas jenis rendah sehingga cenderung mengalami kesulitan dalam proses pengendapan secara alamiah. Meskipun variasi warna mikroplastik tidak memberikan pengaruh langsung terhadap karakteristik parameter kimia air lindi, diversitas warna tersebut mengindikasikan adanya variabilitas sumber material serta tingkat degradasi plastik yang berbeda-beda. Kondisi ini berimplikasi pada peningkatan konsentrasi padatan tersuspensi total (TSS) serta kemungkinan terjadinya interaksi antara partikel mikroplastik dengan berbagai senyawa organik yang terkandung dalam air lindi [12].

Pada hasil pengujian FTIR menunjukkan bahwa mikroplastik yang terdapat di dalam air lindi memiliki jenis polimer *nylon* (*all polyimides*), *polypropylene* (PP), dan *polyethylene terephthalate* (PETE) [13]. Polimer *nylon* umumnya berasal dari jaring atau limbah pencuci pakaian. *Polypropylene* (PP) sering ditemukan pada kemasan makanan, kantong plastik, dan peralatan rumah tangga sekali pakai. Sedangkan *polyethylene terephthalate* (PETE) berasal dari botol air mineral [14]. Untuk hasil uji awal jumlah mikroplastik ditemukan sebanyak 9 partikel per 10 ml atau 0,9 partikel/ml pada air lindi.

Penurunan Jumlah Mikroplastik

Pengujian penurunan jumlah mikroplastik secara fisik dilakukan pada sampel awal sebelum dilakukan pengolahan sebagai kontrol serta beberapa sampel hasil jar test yang dipilih berdasarkan nilai TSS. Pemilihan sampel didasarkan pada hasil pengujian TSS, di mana sampel dengan kode D3 dan E3 mewakili kondisi perlakuan dengan nilai TSS terendah, sedangkan kode A1, B1, C1, C2, dan C3 digunakan sebagai kontrol pembandingan dengan kondisi pengolahan yang belum optimal terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Persentase penurunan jumlah mikroplastik

% Penurunan Jumlah Mikroplastik					
Kode Sampel	Dosis Koagulan		Jumlah Mikroplastik		% Penurunan
	PAC	Kitosan	Awal	Akhir	
A1	150	0	9	3	67
B1	0	150		3	67
C1	60	90		4	56
C2	75	75		3	67
C3	90	60		4	56
D3	90	60		2	78
E3	90	60		3	67

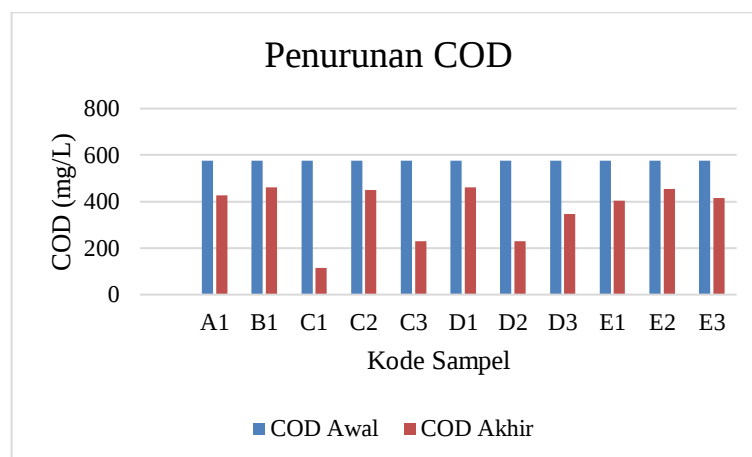
Perbedaan efektivitas penurunan mikroplastik pada air lindi ditunjukkan oleh variasi dosis koagulan PAC dan kitosan. Persentase penurunan tertinggi sebesar 78% dihasilkan oleh kombinasi dosis pada sampel dengan kode D3 dibandingkan dengan variasi dosis lainnya yang hanya mencapai 56-67%, sehingga kombinasi pada kode sampel D3 dapat diindikasikan sebagai kombinasi yang efektif. Persentase penurunan yang lebih rendah ditunjukkan pada kode sampel C1, C2, dan C3 sebagai variasi dosis yang belum optimal, hal tersebut menandakan bahwa flok yang stabil dan efektif dalam mengikat mikroplastik belum mampu dibentuk oleh dosis koagulan tersebut. Sementara itu, penurunan mikroplastik sebesar 67% tetap mampu dicapai oleh penggunaan koagulan tunggal pada kode sampel A1 (PAC) dan B1 (Kitosan), meskipun efektivitasnya masih lebih rendah dibandingkan kombinasi koagulan pada kode sampel D3.

Berdasarkan hasil identifikasi, mikroplastik pada sampel awal ditemukan dalam bentuk fiber, fragmen, dan film. Penurunan yang signifikan dialami oleh mikroplastik jenis fragmen dan film pada hampir seluruh sampel setelah proses koagulasi, sedangkan mikroplastik jenis fiber masih ditemukan namun dengan jumlah yang jauh lebih rendah. Mikroplastik jenis film dan fragmen lebih mudah tereduksi karena ukurannya relatif kecil dan memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga mudah teradsorpsi dan terperangkap dalam flok. Sebaliknya, kesulitan mengendap cenderung dialami oleh mikroplastik jenis fiber yang berbentuk memanjang dan fleksibel, meskipun tetap mengalami penurunan melalui mekanisme adsorpsi.

Penurunan mikroplastik pada air lindi melalui penambahan koagulan PAC dan kitosan terjadi melalui beberapa mekanisme utama, yaitu netralisasi muatan, adsorpsi, dan *sweep flocculation*. Netralisasi muatan merupakan mekanisme flokulasi yang diusulkan berdasarkan model lapisan ganda listrik yang menyebar. Gugus amina yang terprotonasi dimiliki oleh kitosan sebagai polielektrolit kationik dan mampu berinteraksi dengan muatan negatif di permukaan polutan, sehingga efektivitas netralisasi muatan meningkat dibandingkan koagulan tunggal [15]. Kondisi optimum yang mendukung pembentukan flok dan mekanisme *sweep flocculation* dihasilkan oleh kombinasi koagulan PAC dan kitosan yang tepat, seperti pada kode sampel D3, sehingga penangkapan mikroplastik secara fisik di dalam struktur flok yang terbentuk dapat terjadi [16].

Penurunan COD (Chemical Oxygen Demand)

Penelitian ini menggunakan variasi dosis koagulan PAC dan kitosan untuk menurunkan COD, dengan hasil yang menunjukkan bahwa perbedaan dosis dan kombinasi koagulan berpengaruh terhadap efektivitas penurunan COD. Pengaruh variasi dosis koagulan dalam menurunkan COD dapat dilihat pada Gambar 2.



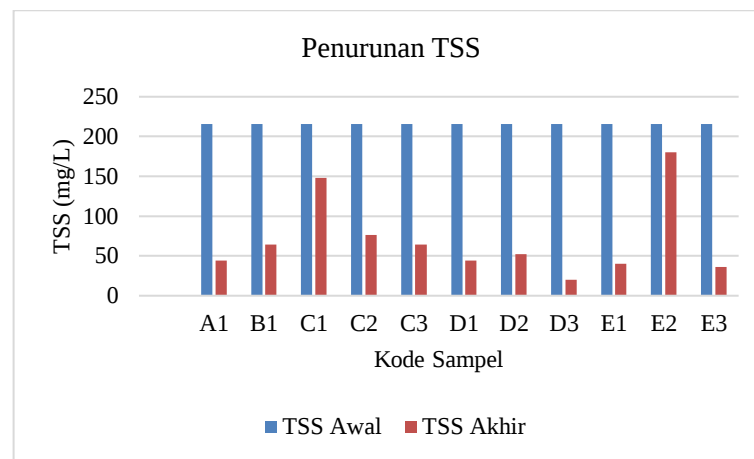
Gambar 2. Grafik pengaruh dosis koagulan dalam menurunkan COD

Berdasarkan grafik penurunan COD, diketahui seluruh sampel mengalami penurunan nilai COD setelah proses pengolahan dibandingkan dengan kondisi awal dengan nilai COD yaitu sebesar 576 mg/L. Penurunan COD sebesar 26% dan 20% hanya dicapai oleh penggunaan koagulan tunggal PAC (A1) dan kitosan (B1), yang menunjukkan bahwa kemampuan menghilangkan senyawa organik terlarut dari masing-masing koagulan masih terbatas. Proses destabilisasi partikel organik belum berlangsung secara optimal ketika hanya mengandalkan satu jenis koagulan diindikasikan oleh kondisi ini, sehingga flok yang terbentuk relatif kecil dan kurang stabil [17]. Sebaliknya, kombinasi PAC dan kitosan pada sampel kontrol (C1–C3) menunjukkan peningkatan kinerja yang nyata, dengan penurunan COD tertinggi sebesar 80% pada sampel C1. Pembentukan flok yang lebih besar dan lebih stabil didorong oleh interaksi kedua koagulan tersebut, sehingga proses pengendapan senyawa penyebab COD berlangsung lebih optimal [18].

Pada kombinasi PAC dan kitosan dengan penambahan HCl 3000 mg/L (D1–D3), efisiensi penurunan COD berada pada kisaran 20–60% dan cenderung lebih rendah dibandingkan perlakuan tanpa penambahan asam. Nilai penurunan yang lebih rendah ini menunjukkan bahwa penambahan HCl dapat memengaruhi kondisi pH sistem koagulasi. Penurunan efisiensi yang serupa juga terlihat pada penambahan HCl 4000 mg/L (E1–E3), dengan persentase penurunan COD berkisar antara 21–30%. Di sisi lain, kitosan tetap menunjukkan peran penting sebagai komponen penguat proses koagulasi ketika dikombinasikan dengan media atau material lain. Interaksi yang lebih intens dengan senyawa organik bermuatan negatif dimungkinkan oleh sifat kationik kitosan, sehingga mekanisme adsorpsi dan pembentukan flok yang lebih stabil meningkat [19]. Perluasan luas permukaan aktif dan peningkatan kapasitas pengikatan polutan dapat dilakukan oleh kombinasi kitosan dengan material pendukung, yang berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi penurunan COD secara keseluruhan [20].

Penurunan TSS (*Total Suspended Solid*)

Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian TSS air lindi setelah proses koagulasi-flokulasi dengan berbagai variasi dosis koagulan.



Gambar 3. Grafik pengaruh dosis koagulan dalam menurunkan TSS

Berdasarkan grafik penurunan TSS, terlihat bahwa seluruh sampel mengalami penurunan nilai TSS setelah proses pengolahan dengan nilai TSS awal yaitu sebesar 216 mg/L. Koagulan tunggal seperti PAC (A1) dan kitosan (B1) menunjukkan kemampuan yang cukup baik dalam menurunkan TSS, masing-masing sebesar 80 % dan 70 %, yang menandakan bahwa kedua koagulan memiliki kemampuan dasar dalam mengendapkan padatan tersuspensi melalui mekanisme netralisasi muatan dan penggumpalan partikel. Sementara itu, aplikasi kombinasi PAC dan kitosan yang diterapkan pada sampel C2 dan C3 menghasilkan efisiensi penurunan TSS berkisar antara 65-70%, yang mengindikasikan terjadinya fluktuasi efektivitas sebagai konsekuensi dari perbedaan dosis koagulan. Fluktuasi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan koagulan secara kombinasi dapat mengubah sifat-sifat flok yang dihasilkan, khususnya dalam hal dimensi partikel, kerapatan massa, dan kestabilan struktur, yang pada akhirnya akan mempengaruhi kapasitas flok dalam menjerap dan mengendapkan padatan tersuspensi [21].

Pada kombinasi PAC dan kitosan dengan penambahan HCl 3000 mg/L (D1–D3), penurunan TSS secara umum tergolong tinggi, dengan sampel D3 menunjukkan efisiensi tertinggi sebesar 91 % dan nilai TSS akhir 20 mg/L, sementara sampel D2 menunjukkan penurunan yang lebih rendah dalam kelompok yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa keseimbangan parameter proses, khususnya rasio koagulan, berperan penting dalam menghasilkan flok dengan karakteristik yang efektif [22]. Sementara itu, pada kelompok sampel dengan penambahan HCl 4000 mg/L (E1–E3), diperoleh variasi penurunan TSS yang cukup lebar, di mana sampel E2 menunjukkan efisiensi terendah sebesar 17 % dan E3 mencapai 83 %. Kondisi ini mengindikasikan bahwa penambahan asam dalam dosis berlebihan berpotensi mengakibatkan restabilisasi koloid atau pembentukan flok dengan stabilitas rendah, sehingga menghambat proses sedimentasi padatan tersuspensi secara efisien [23].

KESIMPULAN

Proses koagulasi–flokulasi menggunakan kombinasi koagulan polyaluminium chloride (PAC) dan kitosan mampu menurunkan kandungan mikroplastik serta meningkatkan kualitas air lindi TPA Randegan. Variasi dosis koagulan menunjukkan perbedaan efektivitas, di mana kombinasi dosis optimum menghasilkan penurunan mikroplastik hingga 78% pada kode sampel D3, COD hingga 80% pada kode sampel C1, dan TSS hingga 91 % pada kode sampel D3, lebih tinggi dibandingkan penggunaan koagulan tunggal maupun dosis yang belum optimal. Penurunan tersebut terjadi melalui mekanisme netralisasi muatan, adsorpsi, dan pembentukan flok yang stabil, sehingga mikroplastik dan senyawa pencemar dapat terperangkap dan terendapkan secara efektif.

REFERENSI

- [1] H. Permono, A. Mustain, M. K. Pratiwi “Pemanfaatan Air Lindi Untuk Pupuk Organik Cair,” *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 10, no. 9, pp. 498–504, 2024, Link: <https://doi.org/10.33795/distilat.v10i2.5225>
- [2] N. L. Angrianto, J. Manusawai, and A. S. Sinery, “Analisis Kualitas Air Lindi dan Permukaan pada areal TPA Sowi Gunung dan Sekitarnya di Kabupaten Manokwari Papua Barat,” *Cassowary*, vol. 4, no. 2, pp. 221–233, 2021, Link: [10.30862/cassowary.cs.v4.i2.79](https://doi.org/10.30862/cassowary.cs.v4.i2.79)
- [3] B. P. A. Pradiptaadi and F. Fallahian, “Analisis Kelimpahan Mikroplastik Pada Air dan Sedimen di Kawasan Hilir DAS Brantas,” *Environmental Pollution Journal*, vol. 2, no. 1, pp. 344–352, 2022, Link: [10.58954/epj.v2i1.39](https://doi.org/10.58954/epj.v2i1.39)
- [4] R. Eamrat, S. Rujakom, T. Pussayanavin, A. Taweesan, C. Witthayaphirom, and T. Kamei, “Optimizing biocoagulant aid from shrimp shells (*Litopenaeus vannamei*) for enhancing microplastics removal from aqueous solutions,” *Environmental Technology Innovation*, vol. 33, no. November 2023, p. 103457, 2024, Link: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103457>
- [5] S. Prasetyo, C. A. Santos, A. K. Sugih, and H. Kristianto, “Utilization of chitosan as a natural coagulant for polyethylene microplastic removal,” *Sustainable Chemistry for the Environment*, vol. 9, 2025, Link: [10.1016/j.scenv.2025.100225](https://doi.org/10.1016/j.scenv.2025.100225)
- [6] Nurhasanah, M. R. Cordova, and E. Riani, “Micro- and mesoplastics release from the Indonesian municipal solid waste landfill leachate to the aquatic environment: Case study in Galuga Landfill Area, Indonesia,” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 163, 2021, Link: [10.1016/j.marpolbul.2021.11198A6](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.11198A6)
- [7] A. A. Sulianto, E. Kurniati, and C. T. Rahmawati, “Sebaran Kualitas Air Sumur Di Sekitar TPA Randegan Kota Mojokerto Berbasis Sistem Informasi Geografis,” *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, vol. 7, no. 1, pp. 28–35, 2020, Link: <https://jsal.ub.ac.id/index.php/jsal/article/view/331/1000>
- [8] R. Tafaqury, “Kelimpahan dan Karakteristik Mikroplastik pada Air Lindi TPA Randegan , Kota Mojokerto,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2022. Link: [http://repository.its.ac.id/id/eprint/115927](https://repository.its.ac.id/id/eprint/115927)
- [9] L. Li, D. Liu, K. Song, and Y. Zhou, “Performance evaluation of MBR in treating microplastics polyvinylchloride contaminated polluted surface water,” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 150, no. November, pp. 1–6, 2020, Link: [10.1016/j.marpolbul.2019.110724](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110724)
- [10] T. D. Somer, M. V. Melkebeke, B. Goethals, S. Gusev, P. V. Meeren, K. M. V. Geem, S. D. Meester, “Modelling and application of dissolved air flotation for efficient separation of microplastics from sludges and sediments,” *Journal Environmental Chemical Engineering*, vol. 12, no. 3, 2024, Link: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112864>
- [11] I. Lee, S. Khujaniyoz, H. Oh, H. Kim, and T. Hong, “The Removal of Microplastics from Reverse

- Osmosis Wastewater by Coagulation,” *Journal Environmental Chemical Engineering*, vol. 12, no. 4, p. 113198, 2024, Link: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.113198>
- [12] M. P. G. Setiawan and Sudarmaji, “Implikasi Cemaran Mikroplastik terhadap Kesehatan Lingkungan pada Ekosistem Sungai : Literature Review,” *Jurnal Kesehatan Tambusai*, vol. 6, no. 4, pp. 16877–16886, 2025, Link: <https://doi.org/10.31004/jkt.v6i4.51678>
- [13] M. R. Jung, F. D. Horgen, S. V. Orski, V. Rodriguez, K. L. Beers, G. H. Balazs, T. T. Jones, T. M. Work, K. C. Brignac, S. Royer, K. D. Hyrenbach, B. A. Jensen, J. M. Lynch, “Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris , including those ingested by marine organisms,” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 127, no. December 2017, pp. 704–716, 2018, Link: [10.1016/j.marpolbul.2017.12.061](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.061)
- [14] R. Adawiyah, E. Sunarwidhi, and D. A. Candri, “Isolation and Analysis of Microplastics in Vaname Shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone , 1931) at Tanjung Luar Fish Landing Base , East Lombok Regency,” *Jurnal Biologi Tropis*, vol. 24, pp. 157–164, 2024, Link: [http://doi.org/10.29303/jbt.v24i4.7567](https://doi.org/10.29303/jbt.v24i4.7567)
- [15] X. Wu, X. Ge, D. Wang, and H. Tang, “Distinct Coagulation Mechanism and Model Between Alum and High Al₁₃-PACl,” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 305, pp. 89–96, 2007, Link: [10.1016/j.colsurfa.2007.04.046](https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.04.046)
- [16] L. Huang, W. He, Y. Zhang, X. Wang, K. Wu, Z. Yang, J. Zhang, “Chitosan Enhances Poly Aluminum Chloride Flocculation System Removal of Microplastics: Effective, Stable, and Pollution Free,” *Journal Water Process Engineering*, vol. 54, no. 2, p. 103929, 2023, Link: [10.1016/j.jwpe.2023.103929](https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103929)
- [17] D. Anggarwati, “Efektivitas Koagulan Terhadap Penurunan Parameter Limbah Cair Industri Tahu,” *RUWA JURAI: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 12, pp. 9–16, 2018, Link: <https://doi.org/10.26630/rj.v12i1.2745>
- [18] I. F. Purwanti, H. S. Titah, B. V. Tangahu, M. Anes, R. M. Syawlia, and H. A. Hassan, “Optimization of The Coagulation Flocculation Process of Benowo Landfill Using Poly Aluminum Chloride and Chitosan,” *Ecology, Environment and Conservation Paper*, vol. 26, 2020, Link: https://www.envirobiotechjournals.com/issues/article_abstract.php?aid=10473&iid=302&jid=3.
- [19] I. H. Alsohaimi, M. S. Alhumaimess, H. M. A. Hassan, M. Reda, A. M. Aldawsari, Q. Chen, M. A. Kariri, “Chitosan Polymer Functionalized-Activated Carbon/Montmorillonite Composite for the Potential Removal of Lead Ions from Wastewater,” *Polymers*, 2023, Link: <https://doi.org/10.3390/polym15092188>
- [20] F. Batool, T. A. Kurniawan, A. Mohyuddin, M. H. D. Othman, A. Anouzla, C. Medina, H. H. Goh, K. W. Chew “Fixed-Bed Studies of Landfill Leachate Treatment Using Chitosan-Coated Carbon Composite,” *Water*, 2023, Link: <https://doi.org/10.3390/w15122263>

- [21] E. K. Tsoutsas, A. K. Tolkou, and G. Z. Kyzas, I. A. Katsoyiannis, "New Trends in Composite Coagulants for Water and Wastewater Treatment," *Macromol*, pp. 509–532, 2024, Link: <https://doi.org/10.3390/macromol4030030>
- [22] S. F. Ramli and H. A. Aziz, "Use of Ferric Chloride and Chitosan as Coagulant to Remove Turbidity and Color from Landfill Leachate," *International Integrated Engineering Summit 2014*, pp. 1163–1167, 2015, Link: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.773-774.1163>
- [23] T. Partuti, Y. Dwiyantri, "Penentuan Kondisi Optimum Pengendapan Limbah Tailing Hasil Penambangan Emas di Daerah Cibaliung," *Journal Industrial Servicess*, vol. 3, no. 1, pp. 93–97, 2017, Link: <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jiss/article/view/2068>