

KOAGULASI RAMAH LINGKUNGAN DENGAN KAPUR SIRIH ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) UNTUK PENGHILANGAN MIKROPLASTIK PADA IKAN BILIH (*Mystacoleucus padangensis*) DARI DANAU SINGKARAK, WILAYAH TANAH DATAR, SUMATERA BARAT, INDONESIA

ECO-FRIENDLY COAGULATION WITH SLAKED LIME ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) FOR MICROPLASTIC REMOVAL IN BILIH FISH (*Mystacoleucus padangensis*) FROM LAKE SINGKARAK, TANAH DATAR REGION, WEST SUMATRA, INDONESIA

Zaki Aiwa Putra¹, Deswati^{1,*}, Rahmiana Zein¹

¹Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Limau Manis, Padang, Kode Pos: 25166

*e-mail korespondensi: deswati@sci.unand.ac.id

Abstrak

Kapur sirih ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dimanfaatkan sebagai koagulan anorganik yang ramah lingkungan untuk mengurangi kontaminasi mikroplastik pada ikan bilih (*Mystacoleucus padangensis*) di Danau Singkarak, Sumatera Barat. Penelitian ini membandingkan efektivitas kapur sirih dengan maupun tanpa penambahan garam dapur sebagai agen penyempurna proses koagulasi. Hasil percobaan membuktikan bahwa kapur sirih mampu secara signifikan menekan jumlah mikroplastik, dengan tingkat penghilangan tertinggi dicapai pada perlakuan dengan penambahan garam sebesar 70,73%. Analisis zeta potensial serta citra SEM menegaskan bahwa mekanisme utama melibatkan penetralan muatan dan pembentukan flok. Walaupun hasil yang diperoleh menunjukkan potensi yang baik, penelitian ini masih terbatas pada uji skala laboratorium dengan satu jenis organisme. Studi lanjutan diperlukan untuk memastikan konsistensi hasil pada kondisi alami dan untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap mutu ikan. Secara aplikatif, penggunaan kapur sirih menawarkan opsi sederhana, murah, dan mudah diterapkan sebagai strategi awal pengendalian polutan mikroplastik di danau, sekaligus mendukung keberlanjutan pangan dan kelestarian ikan endemik.

Kata kunci: Danau Singkarak, ikan bilih, kapur sirih, koagulasi, mikroplastik

Abstract

Slaked lime ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) is used as an environmentally friendly inorganic coagulant to reduce microplastic contamination in bilih fish (*Mystacoleucus padangensis*) in Lake Singkarak, West Sumatra. This study compared the effectiveness of slaked lime with and without the addition of table salt as an agent to improve the coagulation process. The results of the experiment proved that slaked lime was able to significantly reduce the amount of microplastics, with the highest removal rate achieved in the treatment with the addition of 70.73% salt. Zeta potential analysis and SEM images confirmed that the main mechanism involved charge neutralization and sweep flocculation. Although the results showed good potential, this study was still limited to laboratory-scale testing with one type of organism. Further studies are needed to ensure the consistency of results under natural conditions and to evaluate its effect on fish quality. In practical terms, the use of betel nut slaked lime offers a simple, inexpensive, and easy to apply option as an initial strategy for controlling microplastic pollutants in lakes, while also supporting food sustainability and the conservation of endemic fish.

Keywords: Lake Singkarak, bilih fish, slaked lime, coagulation, microplastics

PENDAHULUAN

Plastik merupakan bahan serbaguna yang telah banyak dimanfaatkan dalam kehidupan modern. Namun, peningkatan produksinya sejak

pertengahan abad ke-20 menimbulkan persoalan serius akibat akumulasi limbah plastik di lingkungan, khususnya di ekosistem perairan (Cole dkk., 2011). Seiring waktu, plastik akan

terdegradasi menjadi fragmen berukuran kecil atau mikroplastik (<5 mm) melalui proses fisik, kimia, maupun biologis (Andrady, 2017). Partikel ini telah ditemukan di berbagai media, mulai dari air, sedimen, hingga biota, bahkan terdeteksi pada produk konsumsi manusia. Kondisi tersebut menimbulkan kekhawatiran karena berpotensi memengaruhi kesehatan organisme dan ekosistem (Browne dkk., 2013; Deswati dkk., 2023).

Indonesia tercatat sebagai penyumbang limbah plastik terbesar kedua di dunia dengan produksi tahunan sekitar 3,22 juta ton (Jambeck dkk., 2015). Lemahnya sistem pengelolaan sampah turut memperparah masalah ini (Scott, 2015). Di Danau Singkarak, Sumatera Barat, mikroplastik sudah teridentifikasi baik di air maupun dalam jaringan ikan bilih (*Mystacoleucus padangensis*), ikan endemik bernilai ekonomi tinggi yang menjadi sumber pangan sekaligus simbol budaya masyarakat setempat (Deswati dkk., 2025). Keberadaan mikroplastik pada spesies ini menimbulkan isu penting terkait keamanan pangan, keberlanjutan ekosistem, dan kelangsungan mata pencaharian lokal.

Berbagai teknik pengurangan mikroplastik telah diteliti, termasuk metode koagulasi. Akan tetapi, sebagian besar riset berfokus pada sampel air atau limbah cair (Khan dkk., 2023; Mao dkk., 2024; Tang dkk., 2022), sedangkan kajian langsung pada biota masih jarang dilakukan. Kesenjangan inilah yang mendasari penelitian ini melalui penerapan kapur sirih ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) sebagai koagulan anorganik yang tersedia secara lokal dan relatif ramah lingkungan (Cai dkk., 2023; Nadir dkk., 2022).

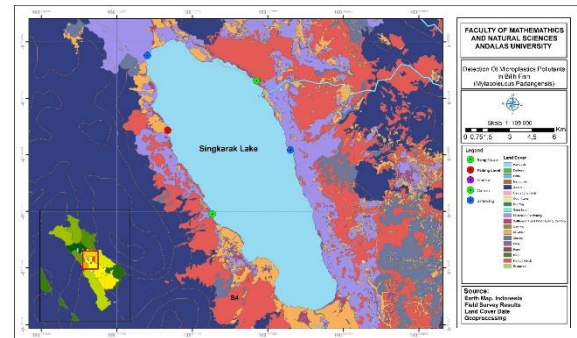
Keunggulan penelitian ini terletak pada penerapan metode koagulasi langsung terhadap ikan bilih, bukan sekadar pada media air, sehingga memberikan informasi yang lebih relevan terkait paparan mikroplastik pada rantai makanan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi berbasis sumber daya lokal yang mendukung konservasi dan keamanan pangan masyarakat di sekitar Danau Singkarak.

METODE PENELITIAN

Lokasi Pengambilan Sampel

Ikan bilih (*Mystacoleucus padangensis*) dikumpulkan dari lima titik pengambilan sampel di Danau Singkarak yang mewakili variasi

aktivitas manusia, mulai dari daerah padat penduduk, kawasan pertanian, pusat wisata, area perdagangan, hingga wilayah yang relatif alami (Lin dkk., 2023). Seluruh kegiatan pengambilan sampel dilakukan berdasarkan izin penelitian dan memperhatikan etika penggunaan organisme akuatik.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel

Preparasi Sampel dan Koagulan

Setelah diperoleh, ikan dibilas menggunakan akuades untuk menghilangkan kontaminan eksternal, kemudian dikeringkan pada suhu 60 °C selama 24 jam. Sebanyak 20 gram sampel digunakan pada tiap perlakuan. Bahan koagulan berupa kapur sirih ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang diperoleh dari pasar lokal, kemudian disiapkan dalam bentuk suspensi dengan konsentrasi 0% (kontrol), 1%, 3%, dan 5% (w/v) menggunakan pengaduk magnetik (Khan dkk., 2023).

Proses Koagulasi

Setiap sampel ikan dicampurkan dengan suspensi kapur sirih sesuai variasi konsentrasi. Sebagian perlakuan diberi tambahan larutan NaCl 5% untuk mengevaluasi pengaruh peningkatan densitas dan kekuatan ionik terhadap proses koagulasi (Kılıç et al., 2022). Proses pencampuran dilakukan dengan variasi waktu kontak dan kecepatan pengadukan tertentu, kemudian campuran disaring guna memisahkan flok yang terbentuk.

Analisis Mikroplastik

- Kelimpahan partikel diamati dengan mikroskop stereo.
- Jenis polimer diidentifikasi menggunakan ATR-FTIR.
- Sifat permukaan sampel dianalisis melalui pengukuran zeta potensial.
- Morfologi partikel diidentifikasi menggunakan SEM

Analisis Risiko Kesehatan dan Ekotoksikologi Mikroplastik

Analisis risiko kesehatan dan ekotoksikologi akibat adanya mikroplastik dilakukan menggunakan pendekatan berbasis indeks kuantitatif, yaitu Indeks Bahaya Potensial (PHI), Indeks Beban Polusi (PLI), dan Indeks Risiko Ekologis Potensial (PERI). Langkah awal dalam prosedur ini melibatkan penentuan konsentrasi mikroplastik yang terdeteksi di setiap titik pengambilan sampel air. Data konsentrasi ini kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan masing-masing indeks untuk menilai dampak potensial terhadap organisme biotik dan kesehatan manusia (Ramakrishnan & Sathiyamoorthy, 2024).

Perhitungan Efisiensi Koagulasi

Efektivitas koagulasi dihitung dengan persamaan: (Azizi et al., 2023).

$$\text{Efisiensi} = \frac{N0 - N1}{N0} \times 100\%$$

dengan N0 menyatakan jumlah mikroplastik pada kontrol dan N1 jumlah mikroplastik setelah koagulasi.

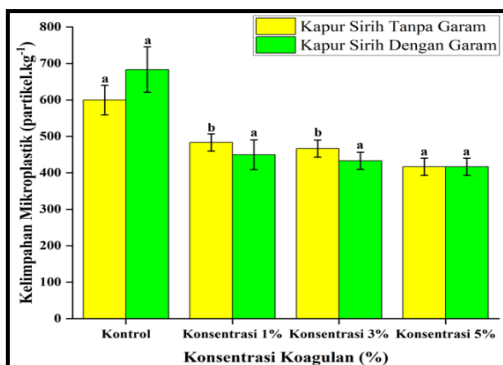
Analisis Data

Setiap perlakuan dilakukan dalam tiga ulangan. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan ANOVA satu arah untuk melihat perbedaan signifikan antar perlakuan, kemudian dilanjutkan dengan uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada taraf kepercayaan 95% (p < 0,05).

HASIL DAN PEMBAHASAN

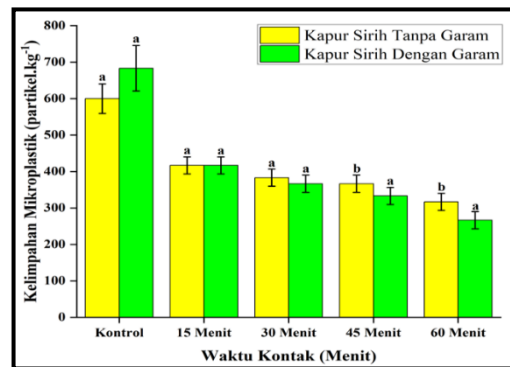
Efisiensi Koagulasi

Hasil uji menunjukkan bahwa penambahan kapur sirih (Ca(OH)₂) secara signifikan menurunkan jumlah mikroplastik dalam jaringan ikan bilih. Peningkatan konsentrasi koagulan, lamanya kontak, serta kecepatan pengadukan terbukti memperbaiki efisiensi proses.



Gambar 2. Konsentrasi Koagulan Ca(OH)₂

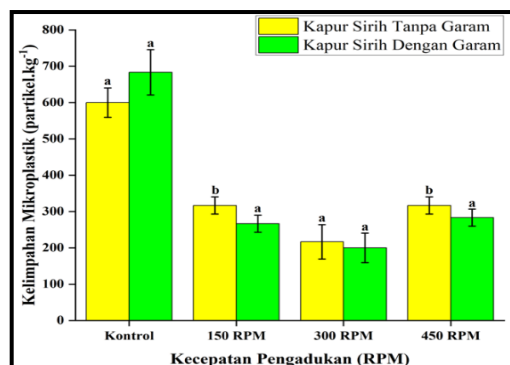
Variasi konsentrasi kapur sirih pada Gambar 2, memperlihatkan tren peningkatan efisiensi penghilangan mikroplastik seiring dengan kenaikan dosis koagulan. Pada konsentrasi rendah, proses koagulasi belum optimal karena jumlah ion Ca²⁺ yang dilepaskan masih terbatas untuk menetralkan muatan negatif partikel mikroplastik. Namun, pada konsentrasi 5% didapatkan efisiensi tertinggi, baik pada perlakuan tanpa maupun dengan garam, dimana penambahan garam meningkatkan efisiensi kapur sirih dalam menghilangkan mikroplastik. Hasil ini konsisten dengan studi Azizi dkk., 2023 dan Mao dkk.,



2024, yang menekankan pentingnya konsentrasi koagulan dalam mendukung terbentuknya flok yang stabil.

Gambar 3. Waktu Kontak Koagulan Ca(OH)₂

Berdasarkan Gambar 3, efisiensi penghilangan mikroplastik juga meningkat seiring lamanya waktu kontak antara koagulan dan partikel mikroplastik. Pada menit-menit awal, flok yang terbentuk masih relatif kecil sehingga belum mampu mengendap secara sempurna. Setelah 60 menit, efisiensi mencapai nilai tertinggi karena partikel memiliki cukup waktu untuk mengalami tumbukan dan bergabung menjadi flok besar yang stabil. Temuan ini sejalan dengan Dayarathne dkk., 2021, yang menyatakan bahwa durasi waktu



kontak memengaruhi proses pembesaran flok sebelum terjadi sedimentasi.

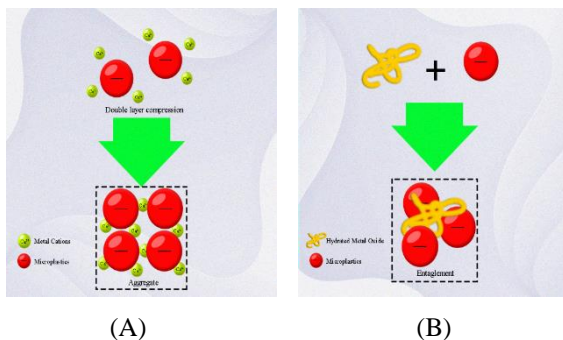
Gambar 4. Kecepatan Pengadukan Koagulan $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Kecepatan pengadukan pada Gambar 4 turut menentukan efektivitas koagulasi. Pada kecepatan terlalu rendah, distribusi koagulan tidak merata sehingga peluang tumbukan antar partikel berkurang. Sebaliknya, kecepatan terlalu tinggi berisiko merusak flok yang telah terbentuk akibat gaya gesek mekanis. Kondisi optimum tercapai pada 300 rpm, yang menghasilkan flok besar dan stabil, terutama pada perlakuan dengan penambahan garam, dengan efisiensi tertinggi mencapai 70,73%. Hasil ini mendukung temuan Badawi., 2025, yang menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan yang tepat menjadi faktor kunci dalam menjaga keseimbangan antara pembentukan dan kestabilan flok.

Jika dibandingkan dengan koagulan lain, performa kapur sirih relatif kompetitif. Efisiensi PAC dilaporkan mencapai 60-90% pada air (Azizi et al., 2023), sementara koagulan nabati seperti moringa dan okra rata-rata menghasilkan 40-88% (Patchaiyappan & Devipriya, 2021; Eydi Gabrabad dkk., 2024). Hal ini menegaskan bahwa kapur sirih dapat menjadi alternatif lokal dengan kinerja yang sebanding dengan koagulan komersial.

Mekanisme Koagulasi

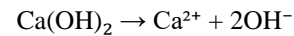
Proses koagulasi mikroplastik menggunakan kapur sirih melibatkan beberapa tahap fisikokimia utama: (1) netralisasi muatan, (2) destabilisasi koloid, dan (3) pembentukan flok sapan. Proses-proses ini bekerja secara sinergis untuk menghilangkan partikel mikroplastik dari medium air (Gambar 5).



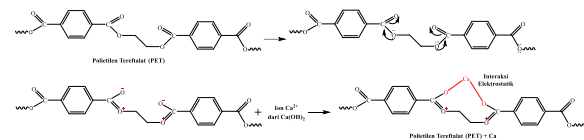
Gambar 5. Mekanisme Koagulasi Mikroplastik: A. Charge Neutralization, B. Sweep Flocculation

1. Netralisasi Muatan (*Charge Neutralization*)

Partikel mikroplastik dalam air umumnya memiliki muatan negatif pada permukaannya, yang menyebabkan tolak-menolak antar partikel sehingga partikel stabil dalam keadaan koloid. Saat kapur sirih ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dilarutkan dalam air, senyawa ini terurai menjadi ion kalsium (Ca^{2+}) dan ion hidroksida (OH^-):



Ion Ca^{2+} yang bermuatan positif berinteraksi dengan permukaan partikel mikroplastik bermuatan negatif, menetralkan muatan dan mengurangi tolak-menolak elektrostatis yang mempertahankan stabilitas koloid. Akibatnya, partikel-partikel mulai mendekati satu sama lain dan membentuk agregat:



Gambar 6. Mekanisme Reaksi Koagulasi Mikroplastik dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Proses ini dikenal sebagai netralisasi muatan, yang merupakan langkah awal dan krusial dalam koagulasi (Hübner dkk., 2024).

2. Destabilisasi Koloid

Setelah muatan permukaan partikel mikroplastik dinetralkan, sistem koloid kehilangan kestabilannya. Dalam kondisi ini, partikel cenderung menggumpal akibat hilangnya gaya tolak elektrostatis. Selain itu, ion OH^- dari kapur sirih meningkatkan pH media, membuatnya lebih alkali, yang memperkuat proses koagulasi. Ketidakstabilan ini menyebabkan pembentukan gumpalan kecil atau mikroflokk yang belum cukup besar untuk mengendap dengan cepat (Yadai & Suzuki, 2023).

3. Flok Sapan (*Sweep Flocculation*)

Pada konsentrasi kapur sirih yang lebih tinggi, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mengendap dan membentuk padatan amorf yang berfungsi sebagai agen pengendap (*sweep flocculation*). Endapan ini secara efektif menangkap partikel mikroplastik sisa dalam air. Ketika endapan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ berikatan dengan mikroplastik, terbentuklah flok besar. Gumpalan besar ini kemudian mengendap

karena gravitasi, memungkinkan pemisahan mikroplastik dari air secara efisien.

sweep flocculation dianggap sebagai salah satu mekanisme paling efektif untuk menghilangkan kontaminan tersebar, karena menggabungkan proses fisik dan kimia (Patchaiyappan & Devipriya, 2021).

Secara keseluruhan, mekanisme ini menawarkan keunggulan seperti efisiensi tinggi serta kemudahan dalam penerapan. Penggunaan kapur sirih sebagai koagulan juga memberikan nilai tambah dalam hal ekonomi dan keberlanjutan lingkungan, terutama dalam pengolahan air yang terkontaminasi mikroplastik di wilayah danau atau perairan daratan Indonesia.

Analisis Zeta Potensial dan Mobilitas Elektroforetik

Zeta potensial mewakili potensial elektrokinetik yang terkait dengan muatan permukaan partikel dan stabilitas sistem koloid dalam suspensi. Sistem koloid dengan nilai potensial zeta absolut $\geq \pm 30$ mV dikategorikan stabil karena adanya gaya tolak elektrostatis yang kuat antara partikel, sedangkan nilai yang mendekati nol menunjukkan kecenderungan agregasi partikel akibat melemahnya gaya tolak-menolak (Rommelfanger dkk., 2022).

Tabel 1. Potensial Zeta dan Mobilitas Elektroforetik Mikroplastik, Kapur Sirih, dan Hasil Koagulasi

Nama Sampel	Zeta Potential (mV)	Mobilitas Elektroforetik (cm ² /V·s)
Mikroplastik	-24.36	-0.0001897
Kapur Sirih	-4.84	-0.00003771
Mikroplastik + Kapur Sirih	-7.62	-0.00005941

Dalam penelitian ini, mikroplastik yang tidak dikoagulasi menunjukkan nilai zeta potensial sebesar -24,36 mV dan mobilitas elektroforetik sebesar -0,0001897 cm²/V·s, menunjukkan stabilitas koloidal yang cukup tinggi akibat permukaan mikroplastik yang bermuatan negatif. Di sisi lain, kapur sirih (Ca(OH)₂) menunjukkan nilai zeta potensial sebesar -4,84 mV, menunjukkan muatan permukaan yang relatif netral.

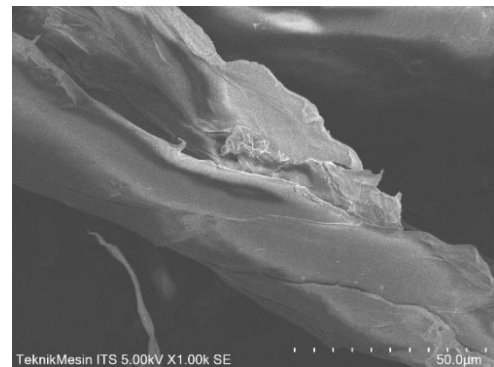
Setelah proses koagulasi, campuran mikroplastik dan kapur sirih menunjukkan nilai zeta potensial sebesar -7,62 mV, yang mencerminkan keberhasilan netralisasi muatan dan dimulainya pembentukan flok. Mekanisme

koagulasi kapur sirih didasarkan pada disosiasi Ca(OH)₂ menjadi ion Ca²⁺ dan OH⁻, di mana ion kalsium (Ca²⁺) memainkan peran penting dalam menetralkan muatan negatif mikroplastik dan membentuk agregat antara partikel melalui mekanisme *Sweep Flocculation* (Wang dkk., 2025).

Hasil ini menunjukkan bahwa kapur sirih secara signifikan efektif untuk menghilangkan mikroplastik dan mempercepat proses koagulasi. Selain itu, kapur sirih memiliki keunggulan dalam hal ketersediaan, keterjangkauan, dan nontoksitas, menjadikannya pilihan yang cocok dalam aplikasi mitigasi polutan mikroplastik (Nadir dkk., 2022).

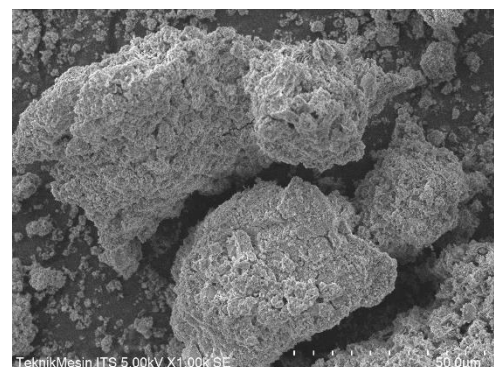
Analisis Morfologi Permukaan Sampel

Pengamatan morfologi permukaan sampel menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) memberikan dukungan visual untuk data zeta potensial yang dibahas sebelumnya dan memperkuat interpretasi yang mendasari mekanisme koagulasi.



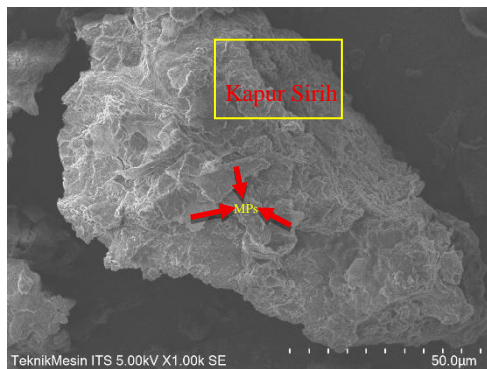
Gambar 7. Morfologi Permukaan Mikroplastik dengan Perbesaran 1000x

Hasil SEM pada Gambar 7, memperlihatkan mikroplastik sebelum koagulasi memiliki bentuk partikel yang tidak teratur dengan morfologi permukaan yang relatif kasar dan kontur yang tajam. Ciri-ciri ini merupakan karakteristik umum dari mikroplastik sintesis yang mengalami proses degradasi fisik di lingkungan (Ibrahim dkk., 2025). Informasi ini penting untuk dibandingkan dengan morfologi pascakoagulasi guna mengidentifikasi perubahan struktural yang terjadi.



Gambar 8. Morfologi Permukaan Kapur Sirih Sebelum Koagulasi dengan Mikroplastik

Pada Gambar 8, permukaan partikel kapur sirih tampak tidak beraturan dengan tekstur kasar dan berpori. Struktur ini menunjukkan bahwa kapur memiliki luas permukaan aktif yang relatif besar, yang dapat meningkatkan interaksi dengan kontaminan melalui mekanisme adsorpsi fisik.



Gambar 9. Morfologi Permukaan Kapur Sirih Setelah Koagulasi dengan Mikroplastik

Setelah proses koagulasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9, partikel mikroplastik (MP) tampak menempel pada matriks kapur sirih. Partikel ini terlihat sebagai fragmen kecil dengan morfologi berbeda dari struktur kapur sirih. Pori-pori mikroskopis dan sifat hidrofobik kapur sirih memperkuat interaksi permukaan, sehingga memfasilitasi adsorpsi dan penempelan partikel. Temuan ini menegaskan bahwa kapur sirih mampu mengikat mikroplastik secara efektif melalui kombinasi mekanisme netralisasi muatan (*charge neutralization*) dan pembentukan flok (*sweep flocculation*) (Tang dkk., 2022).

Penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa bahan berbasis kalsium, termasuk kapur sirih, memiliki potensi tinggi dalam pengolahan air limbah karena keterjangkauan, ketersediaan, dan ramah lingkungannya (Salazar-Gómez dkk., 2024). Oleh karena itu, hasil SEM memperkuat hipotesis bahwa kapur sirih dapat digunakan sebagai koagulan dan adsorben yang efektif untuk menghilangkan mikroplastik.

Penilaian Risiko Mikroplastik dan Implikasi

Berdasarkan Tabel 2, indikator risiko ekologi untuk kontaminasi mikroplastik di Danau Singkarak menunjukkan tingkat keprihatinan yang relatif rendah. Indeks Bahaya Polusi (PHI) sebesar 2,54 menunjukkan tingkat bahaya rendah hingga sedang, sementara Indeks Beban Polusi (PLI) tetap di bawah ambang batas kritis

sebesar 5,9, menunjukkan tingkat polusi secara keseluruhan yang rendah. Indeks Risiko Ekologis Potensial (PERI) sebesar 0,0634, jauh di bawah batas yang terkait dengan risiko ekologis. Temuan ini menunjukkan bahwa, dalam konteks wilayah studi di Kabupaten Tanah Datar, kontaminasi mikroplastik belum menimbulkan ancaman signifikan bagi ekosistem atau kesehatan manusia.

Tabel 2. Klasifikasi Risiko Mikroplastik Berdasarkan Parameter dan Nilai PHI, PLI, dan PERI dari Penelitian Ini

Level Risiko	Kategori	PHI	PLI	PERI
I	Rendah	0–1	<10	<150
II	Sedang	1–10	–	150–300
III	Tinggi	10–100	10–20	300–600
IV	Bahaya	100–1000	20–30	600–1200
V	Sangat Bahaya	>1000	>30	>1200
Penelitian saat ini	Rendah-Sedang (I–II)	2.54	5.9	0.0634

Walaupun belum tergolong mengkhawatirkan, keberadaan mikroplastik dalam ikan bilih tetap menandakan ancaman bagi ekosistem dan kesehatan manusia, terutama dalam jangka panjang (Liu dkk., 2019). Dengan demikian, penggunaan kapur sirih dapat menjadi strategi mitigasi dini untuk mencegah peningkatan risiko ke kategori yang lebih tinggi. Hal ini juga penting bagi upaya konservasi ikan bilih dan menjaga keberlanjutan pangan lokal.

Namun, efektivitas kapur sirih perlu diimbangi dengan perhatian terhadap dampak lanjutannya, karena sifat alkalis dapat meningkatkan pH dan residunya berpotensi menimbulkan masalah baru bila terakumulasi (Nadir dkk., 2022). Oleh sebab itu, aplikasi lapangan harus memperhatikan dosis dan dampak ekologi, termasuk kemungkinan kombinasi dengan koagulan nabati untuk menjaga keseimbangan lingkungan. Secara keseluruhan, kapur sirih menawarkan keunggulan sebagai koagulan yang efisien, murah, mudah diperoleh, dan lebih berkelanjutan dibandingkan koagulan berbasis aluminium atau polimer. Namun, keterbatasan penelitian ini terletak pada skala laboratorium, fokus pada satu spesies, serta belum

dianalisisnya kualitas sensoris ikan, sehingga penelitian lanjutan di skala lapangan dengan cakupan spesies dan durasi lebih luas tetap diperlukan untuk memperkuat validitas temuan.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menegaskan bahwa kapur sirih ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) mampu mengurangi kandungan mikroplastik pada ikan bilih secara signifikan, dengan efisiensi tertinggi sebesar 70,73% saat dikombinasikan dengan NaCl . Mekanisme penghilangan terjadi melalui penetralan muatan dan pembentukan flok besar, sebagaimana dibuktikan dengan analisis zeta potensial dan SEM. Jika dibandingkan dengan koagulan lain, seperti tawas, PAC, maupun koagulan nabati, kapur sirih menunjukkan kinerja yang kompetitif dengan keunggulan tambahan seperti mudah didapat dan biaya yang rendah.

Nilai indeks risiko (PHI, PLI, PERI) yang berada pada kategori rendah hingga sedang menegaskan urgensi perlunya upaya mitigasi sejak dini sebelum risiko meningkat. Penerapan kapur sirih berpotensi menjadi strategi praktis, namun perlu diperhatikan kemungkinan efek samping seperti peningkatan pH atau residu kapur yang dapat menimbulkan dampak sekunder.

Penelitian ini masih terbatas pada skala laboratorium, hanya melibatkan satu spesies ikan, dan belum menguji aspek organoleptik pascaperlakuan. Oleh karena itu, studi lapangan jangka panjang sangat diperlukan untuk menilai keberlanjutan dan dampak aplikasinya secara lebih menyeluruh. Secara praktis, kapur sirih dapat diarahkan untuk pengendalian mikroplastik pada tahap pengolahan pascapanen ikan maupun dalam pengelolaan kualitas air danau, sehingga mendukung konservasi ikan endemik, menjaga ketahanan pangan, serta memberikan solusi sederhana yang sesuai dengan prinsip keberlanjutan lingkungan.

DAFTAR RUJUKAN

Andrady, A. L. (2017). The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 119(1), 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>

Application of plant-based natural coagulants in water treatment Patchaiyappan, A., & Devipriya, S. P. (2021). Application of plant-based natural coagulants in water treatment. *Cost Effective Technologies for Solid Waste and Wastewater Treatment*,

51–58. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822933-0.00012-7>

Azizi, N., Pirsaeheb, M., Jaafarzadeh, N., & Nabizadeh Nodehi, R. (2023). Microplastics removal from aquatic environment by coagulation: Selecting the best coagulant based on variables determined from a systematic review. *Heliyon*, 9(5), e15664. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15664>

Badawi, A. K. (2025). RSC Advances Sustainable coagulative removal of microplastic from aquatic systems: recent progress and outlook. *RSC Advances*, 15, 25256–25273. <https://doi.org/10.1039/D5RA04074D>

Browne, M. A., Niven, S. J., Galloway, T. S., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2013). Microplastic moves pollutants and additives to worms, reducing functions linked to health and biodiversity. *Current Biology*, 23(23), 2388–2392. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.10.012>

Cai, Q., Li, X., Ding, X., Wang, H., & Hu, X. (2023). Effects of quercetin and $\text{Ca}(\text{OH})_2$ addition on gelatinization and retrogradation properties of Tartary buckwheat starch. *Lwt*, 178(October 2022), 114488. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114488>

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588–2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>

Dayarathne, H. N. P., Angove, M. J., Aryal, R., Abuel-Naga, H., & Mainali, B. (2021). Removal of natural organic matter from source water: Review on coagulants, dual coagulation, alternative coagulants, and mechanisms. *Journal of Water Process Engineering*, 40(December 2020), 101820. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101820>

Deswati, D., Kurnia Hamzani, B., Yusuf, Y., Elsa Fitri, W., & Putra, A. (2023). Detection of microplastic contamination in table salts in Padang City, Indonesia, and control strategies for choosing healthy salt. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*,

- 00(00), 1–16.
<https://doi.org/10.1080/03067319.2023.2268523>
- Deswati, D., Yusuf, Y., Putra, Z. A., & Putra, A. (2025). *Abundance and Characteristics of Microplastics in Surface Water of Lake Singkarak in Tanah Datar, West Sumatra, Indonesia. 2015.*
- Eydi Gabrabad, M., Bonyadi, Z., Davoudi, M., & Barikbin, B. (2024). Microplastic removal using Okra (*Abelmoschus esculentus*) seed from aqueous solutions. *Applied Water Science, 14*(10). <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02249-5>
- Hübner, U., Spahr, S., Lutze, H., Wieland, A., Rütting, S., Gernjak, W., & Wenk, J. (2024). Advanced oxidation processes for water and wastewater treatment – Guidance for systematic future research. *Heliyon, 10*(9), e30402. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30402>
- Ibrahim, Y. S., Abd Razak, N. I., Roslan, N. S., Yusof, K. M. K. K., Mohd Ali, A. A., Omar, N. F., Chinglenthoba, C., Mohamad, N. N., & Anuar, S. T. (2025). Morphochemical information on microplastic fibers found in edible tissue of local commercial fishes from the South China Sea and the Straits of Malacca for potential human consumption††Electronic supplementary information (ESI) available. See DOI: <https://doi.org/10.1039/d4va00425f>. *Environmental Science Advances, 4*(6), 964–979. <https://doi.org/10.1039/d4va00425f>
- Jambeck, J. R., Roland, G., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Marine pollution. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science, 347*(6223), 764–768.
- Khan, M. T., Ahmad, M., Hossain, M. F., Nawab, A., Ahmad, I., Ahmad, K., & Panyametheekul, S. (2023). Microplastic removal by coagulation: a review of optimizing the reaction conditions and mechanisms. *Water Emerging Contaminants and Nanoplastics, 2*(4). <https://doi.org/10.20517/wecn.2023.39>
- Kılıç, E., Yücel, N., & Mübarek Şahutoğlu, S. (2022). First record of microplastic occurrence at the commercial fish from Orontes River. *Environmental Pollution, 307*(June). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119576>
- Lin, X., Gowen, A. A., Pu, H., & Xu, J. L. (2023). Microplastic contamination in fish: Critical review and assessment of data quality. *Food Control, 153*(March), 109939. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109939>
- Liu, J., Zhang, T., Tian, L., Liu, X., Qi, Z., Ma, Y., Ji, R., & Chen, W. (2019). Aging Significantly Affects Mobility and Contaminant-Mobilizing Ability of Nanoplastics in Saturated Loamy Sand. *Environmental Science & Technology, 53*(10), 5805–5815. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b00787>
- Mao, Y., Hu, Z., Li, H., Zheng, H., Yang, S., Yu, W., Tang, B., Yang, H., He, R., Guo, W., Ye, K., Yang, A., & Zhang, S. (2024). Recent advances in microplastic removal from drinking water by coagulation: Removal mechanisms and influencing factors. *Environmental Pollution, 349*(March), 123863. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123863>
- Nadir, H. M., Ahmed, A., Yates, C., Yates, L., & Ahmed, A. (2022). A Review of the Utilisation of Hydrated Lime (CL-90) in Engineering Applications and its Sustainability Implications. *Journal of Materials and Polymer Science, September*, 1–8. <https://doi.org/10.47485/2832-9384.1017>
- Ramakrishnan, D., & Sathiyamoorthy, M. (2024). Seasonal distribution, source apportionment and risk exposure of microplastic contaminants along the Muttukadu backwater estuary, Tamil Nadu, India. *Results in Engineering, 23*(July), 102776. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102776>
- Rommelfanger, N., Vowinckel, B., Wang, Z., Dohrmann, R., Meiburg, E., & Luzzatto-Fegiz, P. (2022). A simple criterion and experiments for onset of flocculation in kaolin clay suspensions. 1–18. <http://arxiv.org/abs/2203.15545>
- Salazar-Gómez, L., Luna-Delrisco, M., Narváez-Jojoa, E., Salazar-Cano, R., Rosales-Delgado, D., Pinchao, D., Santander-Yela, E. I., Cortez-Lopera, J. D., Calderón-

- Estrada, L. M., Enríquez-Apraéz, G. M., Revelo, M. C. B., Delgado-Garcés, S., & Rocha-Meneses, L. (2024). Turbidity Removal Performance of Selected Natural Coagulants for Water Treatment in Colombian Rural Areas. *Civil Engineering Journal (Iran)*, *10*(2), 655–667. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-02-020>
- Scott, R. (2015). Managing Marine Plastic Pollution: Policy initiatives to address wayward waste. *Environmental Health Perspectives*, *123*(4), 90–94. <https://doi.org/10.1289/ehp.123-A90>
- Tang, W., Li, H., Fei, L., Wei, B., Zhou, T., & Zhang, H. (2022). The removal of microplastics from water by coagulation: A comprehensive review. *Science of the Total Environment*, *851*(July), 158224. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158224>
- Wang, Y., Tang, Z., Liu, Y., Qian, Y., Yang, S., Wang, A., Dong, Z., & Xing, B. (2025). Heterogeneous aggregation of microplastics and mineral particles in aquatic environments: Effects of surface functional groups, pH, and electrolytes. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, *7*(April), 848–858. <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2025.04.012>
- Yadai, T., & Suzuki, Y. (2023). Development of softening and ballasted flocculation as a pretreatment process for seawater desalination through a reverse osmosis membrane. *Npj Clean Water*, *6*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41545-023-00226-0>