MASALIQ
Jurnal Pendidikan dan Sains

e-ISSN: 2808-8115
p-ISSN: 2809-1051

**Terindeks**: Sinta 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/masaliq.v5i6.7720

# KONDISI OPTIMUM PH LARUTAN DAN KECEPATAN PENGADUKAN DALAM MENGIDENTIFIKASI MIKROPLASTIK JENIS PET MENGGUNAKAN KITOSAN DARI CANGKANG KEPITING (*SCYLLA SERRATA*)

# Optimum Solution pH and Stirring Speed Conditions for Identifying PET-Type Microplastics Using Chitosan from Crab Shells (*Scylla serrata*)

**Nurila Rati & Indang Dewata**
Universitas Negeri Padang
larastudent19@gmail.com; indangdewata@fmipa.unp.ac.id

**Article Info:**

| Submitted: | Revised: | Accepted: | Published: |
|---|---|---|---|
| Sep 15, 2025 | Oct 7, 2025 | Oct 19, 2025 | Oct 24, 2025 |

## Abstract

This study aims to determine the optimal pH and stirring speed for the identification and removal of polyethylene terephthalate (PET) microplastics using chitosan extracted from crab shell waste (*Scylla serrata*) through the coagulation method. The chitosan extraction process involved demineralization, deproteinization, and deacetylation stages. Subsequently, the extracted chitosan was applied as a coagulant in a solution containing PET microplastics under various pH levels and stirring speeds. The results indicate that chitosan derived from crab shell waste is effective in reducing microplastic concentrations, achieving a removal efficiency of 97.30% under optimal conditions of pH 6 and a stirring speed of 250 rpm. These findings highlight the significant potential of utilizing marine waste as an eco-friendly natural biopolymer in microplastic wastewater treatment. This research contributes to the advancement of sustainable


Masaliq Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

biopolymer-based waste treatment technologies and supports efforts to mitigate microplastic pollution in aquatic environments.

**Keywords**: Chitosan; Microplastics; Polyethylene Terephthalate (PET); Coagulation; Crab Shells

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi optimum pH larutan dan kecepatan pengadukan dalam proses identifikasi dan penghilangan mikroplastik jenis *polyethylene terephthalate* (PET) menggunakan kitosan yang diekstraksi dari limbah cangkang kepiting (*Scylla serrata*) melalui metode koagulasi. Proses ekstraksi kitosan dilakukan melalui tahapan demineralisasi, deproteinasi, dan deasetilasi. Selanjutnya, kitosan diaplikasikan sebagai koagulan dalam larutan yang mengandung mikroplastik PET pada berbagai variasi pH dan kecepatan pengadukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kitosan dari limbah cangkang kepiting efektif dalam menurunkan konsentrasi mikroplastik, dengan efisiensi penghilangan mencapai 97,30% pada kondisi optimum pH 6 dan kecepatan pengadukan 250 rpm. Temuan ini menunjukkan potensi signifikan pemanfaatan limbah laut sebagai sumber biopolimer alami yang ramah lingkungan dalam pengolahan limbah mikroplastik. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi pengolahan limbah berbasis biopolimer yang berkelanjutan dan mendukung upaya pengurangan pencemaran mikroplastik di lingkungan perairan.

**Kata Kunci**: Kitosan; Mikroplastik; *Polyethylene Terephthalate* (PET); Koagulasi; Cangkang Kepiting.

## PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan kini menjadi salah satu permasalahan global paling serius yang mengancam keberlanjutan lingkungan. Pencemaran lingkungan didefinisikan sebagai masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, atau komponen kedalam lingkungan hidup (Dewata & danhan, 2023). Polutan pencemar lingkungan yang umum dijumpai antara lain adalah sampah plastik. Berdasarkan data dari Kementerian Kehutanan dan Lingkungan Hidup, Indonesia menghasilkan sekitar 67,8 juta ton sampah setiap tahun, dan angka ini diprediksi terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk. Dalam satu dekade mendatang, volume sampah plastik diperkirakan akan mengalami peningkatan sebesar 6% dibandingkan dengan data tahun 2021. Dari total sampah harian yang dihasilkan, sekitar 15% merupakan sampah plastik, setara dengan 28,4 ribu ton dari total 189 ribu ton sampah per hari (Ekoputri et al., 2023). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penanganan sampah plastik telah menjadi tantangan serius yang membutuhkan solusi inovatif dan berkelanjutan.

Plastik yang terbawa ke ekosistem perairan dapat mengalami degradasi mekanis sehingga ukurannya menyusut dan membentuk partikel mikroplastik (Aulia et al., 2023). Menurut Arossa et al., (2019), mikroplastik didefinisikan sebagai partikel plastik berukuran kurang dari 5 mm. Mikroplastik dapat berasal dari berbagai sumber seperti emisi industri, degradasi plastik di lingkungan, serta penggunaan produk rumah tangga, dan berpotensi masuk ke tubuh manusia melalui jalur konsumsi maupun inhalasi (Zhao et al., 2025). Secara umum, mikroplastik terdiri dari polimer alami dan sintetik; polimer alami berasal dari lignin dan selulosa, sementara polimer sintetik seperti HDPE (*High Density Polyethylene*), PS (*Polystyrene*), PVC (*Polyvinyl Chloride*), dan PET (*Polyethylene Terephthalate*) banyak ditemukan di lingkungan (K et al., 2021). Di antara jenis-jenis tersebut, PET menjadi perhatian khusus karena penggunaannya yang meluas pada kemasan minuman, makanan, serta industri tekstil (Zhao et al., 2025).

Penelitian sebelumnya telah mengembangkan teknologi untuk mengurangi kontaminasi mikroplastik, termasuk metode penyaringan, biodegradasi, pemisahan membran, adsorpsi, serta koagulasi (Sulistyaningsih et al., 2021). Di antara metode tersebut, koagulasi menonjol karena prosesnya yang sederhana, efisien, dan ekonomis sehingga menarik perhatian peneliti untuk diterapkan dalam proses penghilangan mikroplastik dari air (Huang et al., 2023). Prinsip utama koagulasi adalah destabilisasi partikel koloid agar dapat bergabung membentuk flok yang lebih besar dan mudah mengendap. Dengan mempertimbangkan efektivitas dan efisiensi biaya, metode koagulasi menjadi alternatif yang potensial dalam pengolahan air tercemar mikroplastik.

Dalam proses koagulasi, berbagai jenis koagulan dapat digunakan seperti tawas (aluminium sulfat), natrium aluminat, dan besi klorida. Meskipun koagulan konvensional tersebut terbukti efektif (Amran et al., 2018), namun penggunaannya memiliki sejumlah keterbatasan, antara lain biaya operasional yang tinggi, sifat non-biodegradable, serta potensi toksisitas terhadap organisme hidup. Paparan aluminium berlebih dari koagulan anorganik bahkan dikaitkan dengan peningkatan risiko penyakit Alzheimer (Liemin et al., 2023). Oleh karena itu, diperlukan alternatif koagulan yang lebih ramah lingkungan, ekonomis, dan aman digunakan, salah satunya melalui pemanfaatan biokoagulan alami seperti kitosan.

Kitosan merupakan biopolimer alami yang bersifat non-toksik, biodegradable, biokompatibel, serta memiliki aktivitas antimikroba (Dyah & Bahri, 2022). Sifat-sifat tersebut menjadikan kitosan sebagai kandidat ideal untuk diaplikasikan dalam proses koagulasi air

tercemar. Biokoagulan ini dapat diekstraksi dari berbagai sumber alami seperti cangkang udang, kepiting, kerang, serta dari jamur dan cendawan (Eamrat et al., 2024). Dalam penelitian ini, kitosan diperoleh dari limbah cangkang kepiting melalui tiga tahapan utama, yaitu deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi (Hariyanto et al., 2023). Cangkang kepiting diketahui mengandung komponen kimia penting berupa kitin, protein, mineral, dan lemak (Dali et al., 2016). Pemanfaatan limbah cangkang kepiting sebagai sumber kitosan dinilai efisien karena ketersediaannya melimpah, biaya produksi rendah, serta memberikan nilai tambah pada limbah yang selama ini kurang dimanfaatkan.

Penelitian ini memiliki kebaruan (*novelty*) dalam mengombinasikan dua variabel utama, yaitu pH larutan dan kecepatan pengadukan, guna menentukan kondisi optimum dalam proses identifikasi mikroplastik jenis PET menggunakan kitosan alami dari cangkang kepiting. Kombinasi kedua parameter tersebut diharapkan dapat memberikan hasil optimal terhadap efektivitas proses koagulasi dan penghilangan mikroplastik. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi optimum pH larutan dan kecepatan pengadukan dalam mengidentifikasi mikroplastik jenis PET menggunakan kitosan dari cangkang kepiting (*Scylla serrata*).

## METODE

Penelitian ini dilakukan di bulan Mei 2025 sampai Agustus 2025 di Laboratorium Kimia Analitik serta Laboratorium Riset Jurusan Kimia, Universitas Negeri Padang. Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu botol semprot, oven, kertas saring whatman, hotplate magnetic stirrer, gelas kimia, gelas ukur, suntik 5 mL, pipet tetes, , saringan 30 mesh, batang pengaduk, corong, spatula, dan kaca arloji. Sedangkan bahan yang digunakan yaitu sampel mikroplastik PET murni, larutan NaOH, limbah cangkang kepiting, aquades, limbah plastik PET (teh botol bekas), dan larutan HCl.

Awalnya limbah cangkang kepiting yang sudah dikumpulkan dicuci bersih terlebih dahulu, kemudian dijemur di bawah sinar matahari dan di oven kurang lebih selama 10 menit dengan suhu 120$^{o}$C. Cangkang kepiting yang telah di oven diblender sehingga membentuk serbuk. Setelah itu, dilakukan pembuatan kitosan dilakukan dengan 3 cara yaitu demineralisasi, deprotonasi, dan deasetilasi. Pada proses demineralisasi ini serbuk cangkang kepiting yang telah diperoleh direndam dalam larutan HCl 1,5 M dengan rasio berat sampel dan voleme HCl yaitu 1 :10 dan diaduk selama 120 menit menggunakan magnetik hotplate.

Kemudian dilakukan penyaringan dan pencucian hingga pH netral dan dikeringkan menggunakan oven selama 120 menit dengan suhu 40°C. Selanjutnya yaitu proses deproteinasi. Pada proses ini dilakukan dengan merendam serbuk yang dihasilkan pada proses demineralisasi ke dalam larutan NaOH 3,5% dengan rasio berat sampel : volume larutan NaOH yaitu 1 : 20 lalu panaskan pada suhu 65°C menggunakan hotplate magnetic stirrer selama 120 menit. Campuran ini kemudian disaring dan dicuci hingga pH nya netral dan dikeringkan di dalam oven selama 120 menit dengan suhu 40°C sehingga, terbentuk bubuk kitin. Selanjutnya yaitu proses deasetilasi. Pada proses ini merupakan lanjutan dari proses deproteinasi. Awalnya dilakukan proses perendam kitin menggunakan NaOH 40% dengan rasio sampel : pelarut (1 : 10) selama 8 jam di atas hotplate magnetic stirrer pada suhu 120°C. Kemudian disaring dan dicuci sehingga pH nya netral netral dan dikeringkan di dalam oven dengan suhu 40°C. Sehingga terbentuk serbuk kitosan

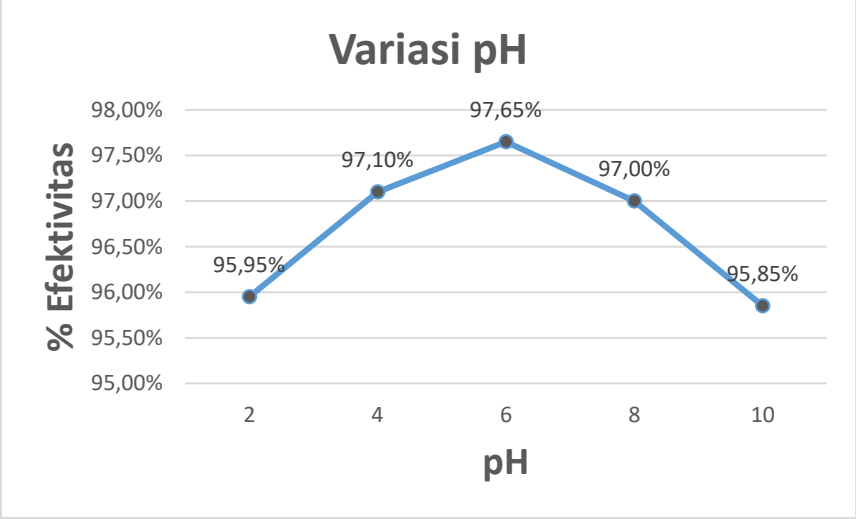
Preparasi larutan sampel mikroplastik PET. Awalnya yaitu PET murni komersil digiling dan diayak sehingga terbentuk serbuk sampel mikroplastik. Lalu sebanyak 0,02g serbuk tersebut direndalam dan diaduk dengan air sebanyak 250mL. Sehinngga, terbentuklah larutan mikroplastik. Kemudian perlakuan yang sama dilakukan juga untuk sampel limbah plastik PET.

Proses selanjutnya yaitu penentuan kondisi optimum. Awalnya larutan sampel mikroplastik PET yang murni dimasukkan ke dalam gelas kimia dan di tambahklan dosis kitosan yang bervariasi yaitu (0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1)gram dengan pH yang bervariasi mlai dari pH (2;4;5;6; dan 8) dan diaduk selama 30 menit dengan kecepatan 250rpm menggunakan hot plate. Kemudian dilakukan pengendapan selama 60 menit untuk memisahkan antara supernatan dan floc. Spernatan yang dihasilkan dikeringkan dengan oven selama 120 menit pada suhu 110°C. Perlakuan yang sama juga dilakukan untuk memperoleh kondisi optimum ketika didapatkan dosis kitosan dan pH optimum dengan variasi kecepatan pengadukan dari (100; 150; 200; 250; dan 300)rpm.

## HASIL

### pH Larutan

Proses koagulasi untuk analisis mikroplastik salah satunya sangat pengaruhi oleh variasi pH larutan. Hasil dari variasi pH larutan dapat dilihat pada gambar 1.




**Gambar 1.** Variasi pH larutan dalam proses koagulasi

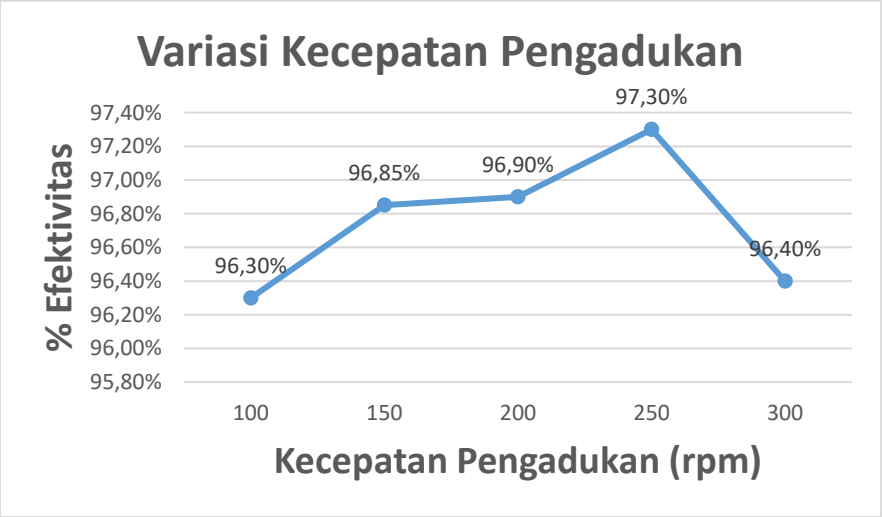
Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 1, terlihat bahwa variasi pH memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efektivitas proses identifikasi maupun adsorpsi mikroplastik dengan menggunakan kitosan sebagai biokoagulan. Pada kondisi pH 2, efektivitas penghilangan mikroplastik tercatat sebesar 95,95%, kemudian mengalami peningkatan pada pH 4 dengan nilai 97,10%, dan mencapai performa tertinggi pada pH 6 sebesar 97,65%. Setelah melewati titik optimum tersebut, efektivitas menurun menjadi 97,00% pada pH 8 dan kembali berkurang hingga 95,85% pada pH 10. Pola ini mengindikasikan bahwa kondisi optimum dicapai pada pH mendekati netral atau sedikit asam, yakni sekitar pH 6, di mana gugus amina pada kitosan bermuatan positif maksimum sehingga interaksi elektrostatik dengan mikroplastik PET berlangsung lebih kuat. Sebaliknya, pada pH yang terlalu asam atau terlalu basa, perubahan muatan permukaan kitosan menyebabkan penurunan kemampuan adsorpsi, sehingga efektivitas proses menjadi lebih rendah. Hasil lengkap perubahan efektivitas berdasarkan variasi pH dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 1.** Pengaruh variasi pH terhadap persentase efektivitas

| pH | % Efektivitas |
|---|---|
| pH 2 | 95,95% |
| pH 4 | 97,10% |
| pH 6 | 97,65% |
| pH 8 | 97,00% |
| pH 10 | 95,85% |

**Kecepatan Pengadukan**

Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap proses koagulasi mikroplastik dengan kitosan cangkakang kepiting juga diselidiki. Hasil dari variasi kecepatan pengadukan ini dapat dilihat pada gambar 2.




**Gambar 2**. Variasi kecepatan pengadukan

Berdasarkan hasil yang tersaji pada Gambar 2, dapat diketahui bahwa variasi kecepatan pengadukan memberikan pengaruh yang nyata terhadap efektivitas proses koagulasi atau adsorpsi mikroplastik menggunakan kitosan. Pada kecepatan pengadukan 100 rpm, efektivitas proses tercatat sebesar 96,30%, kemudian mengalami sedikit penurunan pada 150 rpm dengan nilai 95,85%. Ketika kecepatan pengadukan ditingkatkan hingga 200 rpm, efektivitas meningkat menjadi 96,90% dan mencapai nilai tertinggi pada 250 rpm sebesar 97,30%. Namun, pada kecepatan 300 rpm, efektivitas kembali menurun menjadi 96,40%. Pola tersebut mengindikasikan bahwa kecepatan pengadukan yang terlalu rendah menyebabkan distribusi partikel dalam larutan tidak merata, sedangkan kecepatan yang terlalu tinggi menimbulkan turbulensi berlebih yang dapat mengganggu proses flokulasi antara kitosan dan mikroplastik PET. Dengan demikian, kondisi optimum diperoleh pada kecepatan pengadukan 250 rpm, di mana proses pencampuran berlangsung stabil dan efisien sehingga menghasilkan efektivitas maksimum. Hasil lengkap pengaruh variasi kecepatan pengadukan terhadap efektivitas proses dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 2.** Pengaruh variasi kecepatan pengadukan terhadap persentase efektivitas

| Kecepatan pengadukan | % Efektivitas |
|---|---|
| 100 rpm | 96,30% |
| 150 rpm | 95,85% |
| 200 rpm | 96,90% |
| 250 rpm | 97,30% |
| 300 rpm | 96,40% |

## PEMBAHASAN

### Kondisi Optimum pH Larutan

Pada prinsipnya kondisi optimum pH merupakan keadaan dimana suatu sistem mencapai tingkat efisiensi tertinggi, baik dalam hal kecepatan reaksi, kestabilan produk, maupun efektivitas interaksi antar molekul. Proses koagulasi untuk analisis mikroplastik salah satunya sangat pengaruhi oleh variasi pH larutan. Tingkat kebasaan dan keasaman suatu larutan dapat mempengaruhui efektivitas kinerja koagulan dalam mengendapkan dan mengikat partikel (Indrayani, 2018). kondisi pH memiliki pengaruh tidak langsung yang signifikan terhadap efektivitasnya. pH yang tepat akan menjaga integritas muatan gugus amina serta mencegah hidrolisis dari kation yang digunakan (seperti pada tawas). Jika pH terlalu tinggi atau terlalu rendah, muatan gugus atau kation bisa berubah sehingga efektivitas netralisasi menurun, yang pada akhirnya memperlemah efek bridging dan agregasi. Literatur *Microplastic removal by coagulation: a review* menekankan bahwa keberhasilan koagulasi sangat tergantung pada kondisi operasi seperti pH, karakteristik mikroplastik (ukuran, bentuk, muatan), dan jenis koagulan yang digunakan (Khan et al., 2023).

Pada pH yang lebih asam seperti pH 2 dan pH 4, efektivitas koagulasi hanya sebesar 95,95 % dan 97,10 %. Hal ini disebabkan oleh tingginya konsentrasi ion $H^+$ yang bersaing dengan gugus amina ($-NH_2$) pada kitosan dalam mengikat partikel mikroplastik. Akibatnya, flok yang terbentuk menjadi lebih sedikit dan tidak stabil. Kondisi asam yang terlalu kuat juga dapat menyebabkan kitosan terprotonasi berlebihan sehingga interaksinya dengan partikel bermuatan negatif menurun, dan hal ini mengurangi efektivitas koagulasi secara keseluruhan (Junisu et al., 2017).

Krtika pH naik, gaya tolak-menarik antar partikel menjadi lebih kuat sehingga sulit dinetralkan (netralisasi muatan menjadi kurang efektif), dan kemampuan bridging antar

partikel oleh koagulan melemah. Pola seperti ini sejalan dengan makalah tinjauan tentang koagulasi mikroplastik, yang menyebut bahwa optimasi kondisi seperti pH sangat krusial karena pH mempengaruhi hidrolisis koagulan dan struktur flok yang terbentuk (Khan et al., 2023). Selain itu, penelitian tentang aplikasi kitosan untuk menghilangkan mikroplastik juga menunjukkan performa terbaik pada pH sekitar 6, mendukung temuan bahwa titik optimum koagulasi berada di pH mendekati netral (Prasetyo et al., 2025).

Pada sisi lain, efektivitas koagulasi juga menurun ketika pH berada dalam kondisi basa, misalnya pada pH 10 ( 95,85 %). Penurunan ini terjadi karena pada suasana basa, kitosan kehilangan muatan positifnya sehingga interaksi dengan partikel bermuatan negatif berkurang (Antasionasti et al., 2020). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pH optimum dalam proses koagulasi mikroplastik menggunakan kitosan berada pada kisaran pH 6. Pada kondisi ini, terbentuk flok yang lebih stabil, mudah mengendap, dan memberikan efektivitas koagulasi tertinggi.

**Kondisi Optimum Kecapatan Pengadukan**

.Pada kecepatan 100 rpm dan 300 rpm efektivitas koagulasi hanya mencapai 96,30 % dan 96,40 %, hal ini dikarenakan kecepatan yang terlalu rendah atau terlalu tinggi mampu menurunkan efesiensi penyisihan padatan pada proses koagulasi. Kecepatan pengadukan yang melebihi kecepatan maksimal, membuat proses pengadukan tidak memperbesar ukuran flok, karena flok pada proses koagulasi telah berada pada kondisi jenuh, sedangkan kecepatan yang begitu lambat menyebabkan pengendapan partikel tidak efektif atau pembuatan flok berlangsung tidak optimal (Priambudi & Purnomo, 2024).

Berdasarkan temuan yang diperoleh, kecepatan pengadukan mampu meningkatkan interaksi antara partikel-partikel kaloid dengan koagulan sehingga memudahkan penggumpalan flok dan membantu proses pengendapan. Hasil ini menjelaskan semakin tinggi kecepatan pengadukan, semakin optimal proses koagulasi yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan pengadukan membantu proses pencampuran koagulan dalam air, proses destabilisasi partikel dan penggabungan partikel kaloid yang terbentuk menjadi flok-flok. Sejalan dengan temuan ini penelitian Angraini et al., (2016) menyatakan bahwa semakin tinggi kecepatan pengadukan, semakin baik proses koagulasi berlangsung.

Selanjutnya penelitian terdahulu menyatakan bahwa kecepatan pengadukan 150 rpm menghasilkan efisiensi hingga 99,30 % dalam penghilangan microbeads pada kondisi elektrokoagulasi, sementara kecepatan yang lebih tinggi (200–250 rpm) menurunkan efisiensi

karena turbulensi yang terlalu besar (Fadhila et al., 2024). Lebih lanjut, dalam kajian terhadap nano-plastik, ditemukan bahwa kecepatan pengadukan lambat (25 rpm) menghasilkan efisiensi >95 % dibandingkan 100 rpm yang hanya sekitar 90-95 % karena flok yang terbentuk rusak oleh geseran tinggi (Ezugbe et al., 2025). Oleh karena itu, kecepatan pengadukan optimum bersifat spesifik untuk kondisi sistem (jenis koagulan, ukuran mikroplastik, densitas, konfigurasi reaktor) dan perlu dioptimalkan secara empiris melalui pengujian sistematis untuk memperoleh efisiensi maksimum dalam proses identifikasi ataupun penghilangan mikroplastik

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kitosan dari limbah cangkang kepiting tanpa pambahan koagulan lain, berpotensi sebagai biokoagulan yang ramah lingkungan dan cukup efektif (90 %) dibandingkan beberapa koagulan konvensional. Namun, efektivitasnya belum terlalu maksimal dibandingkan dengan penggunaannya dengan menambahkan koagulan anorganik tertentu dalam kondisi optimal. Menurut tinjauan (Khan et al., 2023),koagulan konvensional seperti $Al_2(SO_4)_3$ atau $FeCl_3$ kadang-kadang menunjukkan efisiensi rendah dalam kasus mikroplastik, tergantung jenis dan ukuran partikel, sehingga diperlukan kombinasi untuk dapat diteliti lebih lanjut.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, kitosan yang diekstraksi dari cangkang kepiting terbukti efektif sebagai biokoagulan dalam proses koagulasi mikroplastik dengan efektivitas penghilangan mencapai 97,30%. Kondisi optimum diperoleh pada pH 6 dan kecepatan pengadukan 250 rpm, di mana kitosan menunjukkan aktivitas terbaik dalam mengendapkan partikel mikroplastik jenis PET melalui pembentukan flok yang stabil. Hasil ini menegaskan bahwa pemanfaatan kitosan berbasis limbah biota laut tidak hanya berpotensi sebagai solusi ramah lingkungan untuk pengolahan air tercemar mikroplastik, tetapi juga memberikan nilai tambah terhadap limbah perikanan yang sering tidak termanfaatkan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan kajian lanjutan mengenai pengaruh parameter lain seperti waktu kontak, dosis kitosan, serta karakterisasi struktur flok menggunakan metode spektroskopi atau mikroskopi, guna memperdalam pemahaman mekanisme interaksi antara kitosan dan mikroplastik pada berbagai kondisi lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA


Amran, A. H., Zaidi, N. S., Muda, K., & Loan, L. W. (2018). *Effectiveness of natural coagulant in coagulation process: A review. International Journal of Engineering and Technology(UAE), 7(3), 34–37. https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.9.15269*

Angraini, S., Pinem, J. A., & Saputra, E. (2016). Pengaruh Kecepatan Pengadukan dan Tekanan Pemompaan pada Kombinasi Proses Koagulasi dan Membran Ultrafiltrasi dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Karet. Jom FTEKNIK, 3(1), 1–9.

Antasionasti, Jayanto, I., Abdullah, S. S., & Siampa, J. P. (2020). Karakterisasi Nanopartikel Ekstrak Etanol Kayu Manis (Cinnamomum burmanii) dengan Kitosan Sodium. Chem.Prog, 13(2), 77–85.

Arossa, S., Martin, C., Rossbach, S., & Duarte, C. M. (2019). *Microplastic removal by Red Sea giant clam ( Tridacna maxima ) ☆. Environmental Pollution, 252, 1257–1266*. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.149

Aulia, A., Azizah, R., Sulistyorini, L., & Rizaldi, M. A. (2023). *Literature Review : Dampak Mikroplastik Terhadap Lingkungan Pesisir , Biota Laut dan Potensi Risiko Kesehatan. 22(3), 328–341.*

Dali, S., Safitri, N. R. D., & Fawwaz, M. (2016). Isolasi Kitosan dari Limbah Cangkang Kepiting Bakau (Scylla Serrata) dan Aplikasinya Terhadap Penyerapan Trigliserida. Jurnal Ilmiah As-Syifaa, 8(2), 20–27. https://doi.org/10.33096/jifa.v8i2.200

Dewata, I., & Danhas, Y. H. (2023). *Pencemaran Lingkungan*. PT. Raja Grafindo Persada Rajawali Pers.

Dyah, H. S., & Bahri, D. F. (2022). *Antimicrobial Activity of Nanochitosan Shrimp Shell as a Hands Sanitizer. Journal of Marine and Coastal Science, 11(1).* https://doi.org/https://doi.org/10.20473/jmcs.v11i1.33821

Eamrat, R., Rujakom, S., Pussayanavin, T., Taweesan, A., Witthayaphirom, C., & Kamei, T. (2024). *Optimizing biocoagulant aid from shrimp shells (Litopenaeus vannamei) for enhancing microplastics removal from aqueous solutions. Environmental Technology and Innovation,* 33(November 2023), 103457. https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103457

Ekoputri, S. F., Rahmatunnissa, A., Nulfaidah, F., Ratnasari, Y., Djaeni, M., & Sari, D. A. (2023). PengEkoputri, S. F., Rahmatunnissa, A., Nulfaidah, F., Ratnasari, Y., Djaeni, M., & Sari, D. A. (2023). Pengolahan Air Limbah dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Industri Kimia. Jurnal Serambi Engineering, 9(1), 7781–7787. https://doi.org/10.32672/jse. Jurnal Serambi Engineering, 9(1), 7781–7787.

Ezugbe, E. O., Rutten, S. B., de Vries-Onclin, B., Wagterveld, R. M., de Vos, W., & Lindhoud, S. (2025). *Evaluating the Efficiency of Enhanced Coagulation for Nanoplastics Removal Using Flow Cytometry [Research-article]. ACS ES and T Water, 5(7), 3908–3919*. https://doi.org/10.1021/acsestwater.5c00219

Fadhila, F., Zulkarnaini, Z., Husin, A., & Syawal, F. A. (2024). *Effect of Electrode Distance, Stirring Speed and Contact Time on Removal of Polyethylene Microplastics (Microbeads) Using Electrocoagulation Method. Elkawnie, 10(1), 158*. https://doi.org/10.22373/ekw.v10i1.22195

Hariyanto, Y. A., Antasionasti, I., & Jayanti, M. (2023). Peningkatan Nilai Guna Cangkang Kepiting sebagai Kitosan untuk Raw Material pada Pasta Gigi Herbal. Briliant: Jurnal Riset Dan Konseptual, 8(3), 696. https://doi.org/10.28926/briliant.v8i3.1574

Huang, L., He, W., Zhang, Y., Wang, X., Wu, K., Yang, Z., & Zhang, J. (2023). *Chitosan enhances poly aluminum chloride flocculation system removal of microplastics: Effective, stable, and pollution free. Journal of Water Process Engineering, 54, 103929.* https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103929

Indrayani, L. (2018). Nilai Parameter Kadar Pencemar sebagai Penentu Tingkat Efektivitas. 12(1), 41–50. https://doi.org/10.22146/jrekpros.35754

Junisu, B. A., Handayani, E., Ismuyanto, B., Hidayati, A. S. D. S. N., & Himma, N. F. (2017). Pengaruh Penambahan Kitosan terhadap Efektivitas Proses Koagulasi Menggunakan Besi (III) Klorida Heksahidrat. Jurnal Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Berkelanjutan, 1(2), 63–69.

K, S. B., Basri, K., Syaputra, E. M., & Handayani, S. (2021). *Microplastic Pollution in Waters and its Impact on Health and Environment in Indonesia : A Review. 4(2).*

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

Liemin, A. N., Sembiring, M. K., & Hadiyanto, H. (2023). *Utilization of chicken eggshell and chitosan as coagulants for microplastic removal from aquatic system. Journal of Bioresources and Environmental Sciences*, *2*(1), 21–30. https://doi.org/10.14710/jbes.2023.16478

Prasetyo, S., Santos, C. A., Sugih, A. K., & Kristianto, H. (2025). *Utilization of chitosan as a natural coagulant for polyethylene microplastic removal. Sustainable Chemistry for the Environment*, *9*, 100225. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scenv.2025.100225

Priambudi, N. S., & Purnomo, Y. S. (2024). Penggunaan Limbah Cangkang Bekicot ( Achatina Fulica ) sebagai Biokoagulan untuk Menurunkan Kandungan Fosfat , Kekeruhan , dan TSS pada Limbah Laundry. *Jurnal Serambi Engineenig*, *9*(3), 9341–9348.

Sulistyaningsih, T., Astuti, W., & Ariyani, S. (2021). Modifikasi Magnetit Menggunakan Asam Humat untuk Meningkatkan Kemampuan Adsorpsi terhadap Zat Warna Malachite Green. *Inovasi Sains Dan Kesehatan*, 1–22. https://doi.org/https://doi.org/10.15294/.v0i0.12

Zhao, W., Yang, S., Hu, S., Feng, Y., & Bai, B. (2025). *Ecotoxicology and Environmental Safety Polyethylene terephthalate microplastics promote pulmonary fibrosis via AKT1 , PIK3CD , and PIM1 : A network toxicology and multi-omics analysis. 303*(16).