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.v5i4.6875

# PENGARUH PH TERHADAP KOAGULASI MIKROPLASTIK *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE* (PET) MENGGUNAKAN KITOSAN DARI CANGKANG KEPITING (*Scylla serrata*)

# Effect of pH on the Coagulation of Polyethylene Terephthalate (PET) Microplastics Using Chitosan from Crab Shells (*Scylla serrata*)

**Haflatul HudaAli & Indang Dewata**
Universitas Negeri Padang
haflaali@student.unp.ac.id; indangdewata@fmipa.unp.ac.id

**Article Info:**

| Submitted: | Revised: | Accepted: | Published: |
|---|---|---|---|
| Jun 17, 2025 | Jul 10, 2025 | Jul 22, 2025 | Jul 27, 2025 |

## Abstract

Polyethylene Terephthalate (PET) microplastics are among the primary contaminants in aquatic environments and pose potential risks to human health. Coagulation is an effective method for reducing microplastics; however, conventional coagulants such as alum may leave harmful residues. This study aims to evaluate the effectiveness of chitosan synthesized from crab shell waste (*Scylla serrata*) as an eco-friendly biocoagulant in the coagulation of PET microplastics. Chitosan synthesis was carried out through three stages: demineralization, deproteinization, and deacetylation. The coagulation process was conducted under varying pH conditions (3, 5, 7, 9, and 11), with a chitosan dosage of 500 mg/L and a sedimentation time of 45 minutes. The results show that optimal conditions were achieved at pH 7, with microplastic removal efficiency reaching 98.4%. Characterization using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Particle Size Analyzer (PSA), and stereo microscopy confirmed successful floc formation and active interaction between chitosan and microplastics. The study concludes that chitosan derived from crab shell waste has strong potential


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

as an effective and environmentally friendly alternative coagulant for treating water contaminated with microplastics.

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

**Abstrak:** Mikroplastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) merupakan salah satu kontaminan utama di lingkungan perairan dan berpotensi membahayakan kesehatan manusia. Proses koagulasi merupakan metode yang efektif untuk mengurangi mikroplastik, namun penggunaan koagulan konvensional seperti tawas dapat meninggalkan residu berbahaya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas kitosan yang disintesis dari limbah cangkang kepiting (*Scylla serrata*) sebagai biokoagulan ramah lingkungan dalam proses koagulasi mikroplastik PET. Sintesis kitosan dilakukan melalui tiga tahapan: demineralisasi, deproteinasi, dan deasetilasi. Proses koagulasi dilakukan dengan variasi pH (3, 5, 7, 9, dan 11), dosis kitosan sebesar 500 mg/L, dan waktu pengendapan selama 45 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum tercapai pada pH 7, dengan efektivitas penghilangan mikroplastik mencapai 98,4%. Karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *Particle Size Analyzer* (PSA), dan mikroskop stereo menunjukkan keberhasilan pembentukan flok serta interaksi aktif antara kitosan dan mikroplastik. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kitosan dari limbah cangkang kepiting berpotensi menjadi alternatif koagulan yang efektif dan ramah lingkungan dalam pengolahan air tercemar mikroplastik.

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

## PENDAHULUAN

Sampah plastik mempunyai dampak yang sangat besar terhadap lingkungan karena kelimpahan dan keberadaannya di lingkungan, khususnya di lingkungan laut, merupakan salah satu ancaman serius terhadap lautan dan keanekaragamannya (Ugwu et al., 2021). Bahan plastik memasuki lingkungan secara langsung sebagai bahan produksi primer atau sebagai bahan sekunder setelah pecahnya puing plastik yang lebih besar (Ikrar Jamika et al., 2023). Partikel plastik yang tersebar dilingkungan dapat terurai menjadi mikroplastik, yang merupakan partikel plastik kecil dengan ukuran kurang dari 5mm yang pada beberapa waktu belakangan muncul sebagai masalah lingkungan yang signifikan (Huang et al., 2023).

Koagulasi merupakan salah satu metode yang umum digunakan dalam pengolahan air dan air limbah untuk menghilangkan partikel tersuspensi dan kotoran dari air, termasuk bahan organik, bakteri, mikroplastik, dan kontaminan lainnya. Koagulasi ini adalah proses yang mudah, sederhana, dan biaya relatif rendah (Wahab et al., 2023), dalam proses ini koagulan ditambahkan untuk mendestabilisasi pengotor yang ada, koagulan yang paling

banyak digunakan pada proses koagulasi yaitu garam berbasis aluminium seperti tawas (Gao & Liu, 2022). Pemanfaatan tawas sebagai koagulan dengan konsentrasi tinggi dapat menyebabkan adanya residu aluminium dalam air yang diolah, yang berpotensi mengakibatkan efek berbahaya pada kesehatan manusia (Uyanga et al., 2023). Tawas dan garam berbasis besi belum cukup aman digunakan sebagai koagulan karena efek sampingnya yang membahayakan, sehingga dibutuhkan agen biokoagulan pembantu pada proses koagulasi yang lebih ramah lingkungan untuk analisis mikroplastik dalam pengolahan air (Nouj et al., 2024).

Jenis biokoagulan yang lebih ramah lingkungan bisa didapatkan dari bahan alami, salah satu contohnya yaitu kitosan (A et al., 2018). Kitosan sebagai koagulan organik alami yang ramah lingkungan dapat bergabung dengan polutan melalui kompleksasi dan interaksi hidrofobik, karena struktur rantainya yang panjang dan gugus aktif yang melimpah termasuk gugus hidroksil, amino dan N-asetil (He et al., 2024). Kelimpahan gugus amino dan hidroksil ini berfungsi sebagai tempat pengikatan kontaminan, menjadikan kitosan pilihan yang menarik dan dapat meningkatkan mekanisme koagulasi (Eamrat et al., 2024).

Kitosan bisa didapatkan dari cangkang krustasea, salah satunya cangkang kepiting, cangkang kepiting seringkali menjadi limbah yang tidak dimanfaatkan, padahal cangkang kepiting tersebut mengandung senyawa senyawa kimia yang dapat dimanfaatkan salah satunya kitosan (Huang et al., 2023). Proses yang sederhana dan aman untuk mensintesis bahan berbasis kitin/kitosan dari limbah cangkang hewan laut masih menjadi tantangan, tetapi sangat penting untuk pengembangan produk baru dan produksi skala besar. Mempertimbangkan apa yang telah dibahas sebelumnya, penelitian ini mempertimbangkan pentingnya menangani koagulan berbasis bio baru untuk mengatasi masalah penggunaan koagulan garam logam.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini, biokoagulan baru dikembangkan dari limbah cangkang kepiting, yang mencakup aspek lingkungan mengenai transformasi limbah cangkang kepiting menjadi produk bernilai tambah, tetapi juga aspek kualitas air untuk memastikan efisiensi dan skalabilitas koagulan berbasis bio baru. Biokoagulan ini diperoleh dengan menggunakan cara melarutkan limbah cangkang kepiting yang mengandung kitin dalam pelarut yang murah dan ramah lingkungan. Setelah itu, proses koagulasi/flokulasi dalam air permukaan dilakukan, dengan menggunakan biokoagulan yang diperoleh. Efek

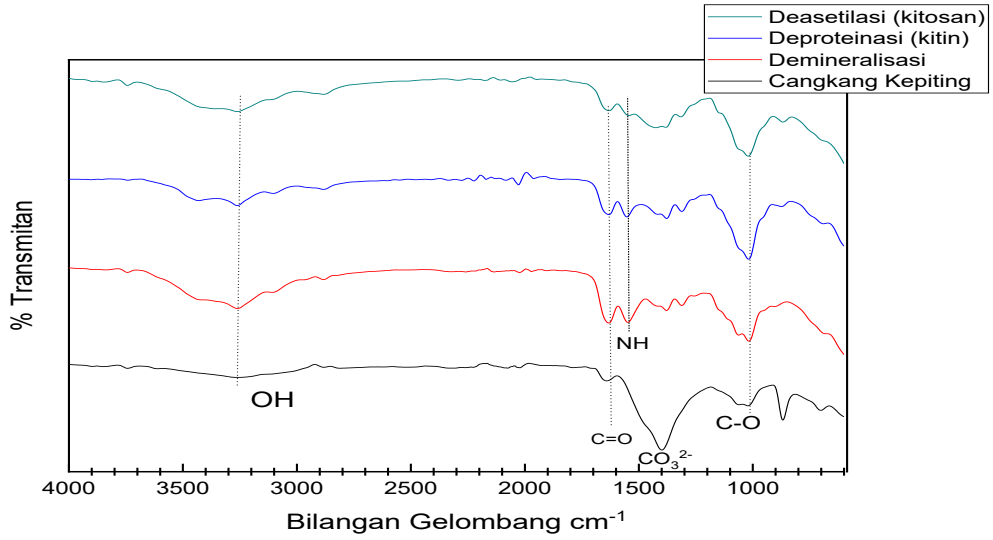
pH pada efektivitas koagulasi diselidiki untuk menjelaskan kondisi eksperimen terbaik dan untuk membahas kemungkinan mekanisme yang terlibat dalam pengolahan.

## METODE

Peneitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2025 hingga Mei 2025 di Laboratorium Penelitian Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Cangkang kepiting bakau dikumpulkan dari limbah rumah makan seafood yang ada di kota Padang. Kitosan diekstraksi dari cangkang kepiting melalui 3 tahapan, yaitu demineralisasi, deproteinasi, dan deasetilasi. Demineralisasi dilakukan dengan merendam bubuk cangkang kepiting dengan HCl 1M dengan perbandingan 1:10, deproteinasi dilakukan dengan merendam bubuk cangkang kepiting dengan NaOH 4%, kemudian deasetilasi dilakukan dengan merendam bubuk cangkang kepiting dengan NaOH 40% (Kurniawan, 2021). Selanjutnya dilakukan eksperimen koagulasi pada sampel mikroplastik PET yang berasal dari sampah botol plastic dan mikroplastik PET murni sebagai pembanding. Eksperimen koagulasi dilakukan dalam variasi pH larutan mikroplastik pada pH 3,5,7,9 dan 11. Larutan mikroplastik tersebut diatur pH nya pada pH yang diinginkan, kemudian diaduk secara merata dengan magnetic stirrer selama 30 menit, kemudian koagulan dan biokoagulan yang dalam penelitian ini digunakan tawas dan kitosan dengan dosis tawas 20mg/L dan dosis kitosan 500mg/L lalu diaduk kembali secara merata menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan 700rpm selama 10 menit dan dilanjutkan dengan kecepatan lambat 70rpm. Setelah itu larutan didiamkan selama 45 menit untuk terjadinya proses pengendapan flok, kemudian larutan dan flok dipisahkan dan flok dikeringkan dioven suhu 120°C sampai kering (Mulyani et al., 2019).

## HASIL

Analisis menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared*) digunakan untuk mengetahui gugus fungsi dari kitosan yang sudah diekstraksi dari cangkang kepiting. Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi menggunakan FTIR pada setiap tahapan ekstraksi yaitu pada cangkang kepiting, cangkang kepiting setelah demineralisasi, deproteinasi (kitin) dan deasetilasi (kitosan). Berikut merupakan gambar spectrum dari semua tahapan ekstraksi:




Gambar 1. Hasil karakterisasi FTIR setiap tahapan ekstraksi kitosan dari cangkang kepiting

Tabel 1 berikut menyajikan data perubahan bilangan gelombang dan persen transmitansi yang diamati pada setiap langkah ekstraksi kitosan dari cangkang kepiting.

| Jenis gugus fungsi | Cangkang kepiting | | Cangkang kepiting demineralisasi | | Cangkang kepiting deproteinasi | | Cangkang kepiting deasetilasi | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bil gel ($cm^{-1}$) | % T | Bil gel ($cm^{-1}$) | % T | Bil gel ($cm^{-1}$) | % T | Bil gel ($cm^{-1}$) | % T |
| OH/NH | 3260,44 | 96,26 | 3260,99 | 88,49 | 3261,79 | 92,25 | 3260,45 | 84,98 |
| C=O (amida I) | 1640,71 | 95,35 | 1632,43 | 84,40 | 1631,93 | 89,83 | 1631,03 | 85,40 |
| NH (amida II) | - | - | 1548,03 | 84,59 | 1552,85 | 89,21 | 1543,20 | 83,26 |
| CH (amida III) | - | - | 1311,69 | 89,36 | 1311,60 | 90,68 | 1315,76 | 82,75 |
| C-O (polisakarida) | 1021,84 | 88,86 | 1017,49 | 79,27 | 1018,71 | 77,87 | 1020,88 | 65,92 |
| $CO_3^{2-}$ | 1399,25 | 77,31 | - | - | - | - | - | - |

Selanjutnya, dilakukan eksperimen koagulasi menggunakan larutan mikroplastik murni, dengan variasi pH 3,5,7,9 dan 11 untuk mengetahui pH optimum koagulasi larutan mikroplastik. Percobaan ini dilakukan pada larutan mikroplastik yang dikontrol pada konsentrasi 200mg/L, dosis tawas 20mg/L dan dosis kitosan 500mg/L dan didapatkan pH optimum pada pH 7, pH optimum didapatkan dari perhitungan % efektifitas koagulasi, dimana:

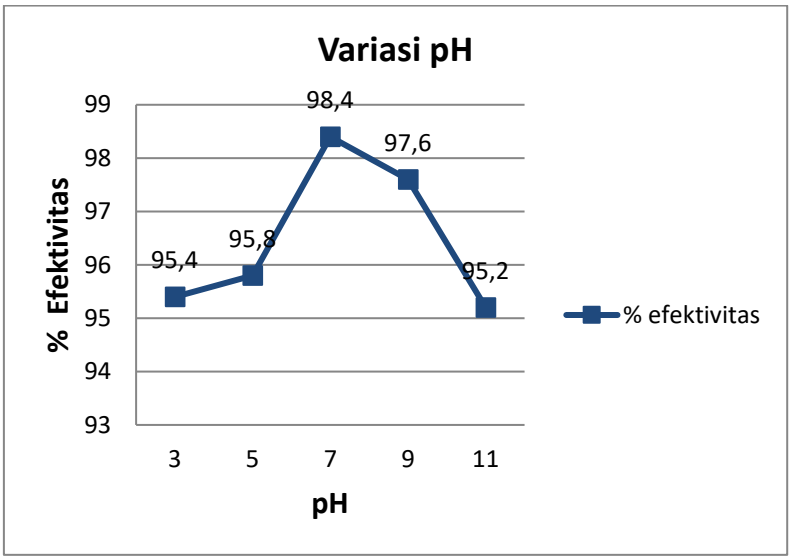
$$\frac{N_{awal} - N_{akhir}}{N_{awal}} \times 100\%$$

Berikut merupakan data hasil koagulasi pada penentuan efektivitas kitosan sebagai biokoagulan dalam analisis mikroplatk PET dengan variasi pH 3,5,7,9, dan 11 dapat dilihat pada tabel 2.

Table 2. Data koagulasi pada penentuan pH optimum

| pH larutan mikroplastik | % efektivitas koagulasi |
|---|---|
| **3** | 95,4% |
| **5** | 95,8% |
| **7** | 98,4% |
| **9** | 97,6% |
| **11** | 95,2% |

Tabel 2 memperlihatkan bahwa pH optimum untuk koagulasi mikroplastik didapatkan pada pH 7, pada pH asam yaitu pH 3 dan 5, % efektivitas naik secara bertahap dan pada pH basa yaitu 7 dan 9 %efektivitas koagulasi menurun. Selanjutnya visualisasi data % efektivitas koagulasi yang menunjukkan perbandingan antar % efektivitas pada setiap variasi pH ditampilkan pada Gambar 2




Gambar 2. Grafik pengaruh pH terhadap % efektivitas koagulasi

Grafik pada gambar diatas menunjukkan ph 7 sebagai pH optimum koagulasi, hasil ini menunjukkan bahwa dengan adanya perbedaan pH pada larutan mikroplastik, sangat berpengaruh pada % efektivitas koagulasi mikroplastik, dimana pada pH asam dan pH basa % efektivitas koagulasi menurun, menandakan tidak optimalnya proses koagulasi.

## PEMBAHASAN

Pada proses ekstraksi kitosan, dilakukan 3 tahap, yang pertama yaitu pada tahap demineralisasi bertujuan untuk menghilangkan mineral dari cangkang kepiting, yang sebagian besar terdiri dari kalsium karbonat. Proses demineralisasi biasanya dilakukan dengan menggunakan asam, seperti asam klorida (HCl). Penelitian (Luthfiyana et al., 2022) menunjukkan bahwa perbandingan antara serbuk cangkang kepiting dan HCl yang tepat berperan penting dalam efisiensi proses demineralisasi (Luthfiyana et al., 2022). Tahap berikutnya adalah deproteinasi yaitu untuk menghilangkan protein dari cangkang yang tersisa. Ini dapat dilakukan menggunakan larutan alkali, seperti natrium hidroksida (NaOH). Djaenudin et al. menekankan pentingnya lama perendaman dalam larutan NaOH untuk meningkatkan derajat deasetilasi kitosan yang dihasilkan (Djaenudin et al., 2019). Serbuk cangkang kepiting yang sudah melalui tahapan demineralisasi dan deproteinasi disebut dengan kitin.tahap terakhir deasetilasi, proses ini bertujuan untuk mengkonversi kitin menjadi kitosan dengan menghilangkan gugus asetilmya menggunakan basa kuat yaitu larutan NaOH dengan konsentrasi tinggi. Saat pencampuran dengan larutan NaOH terjadi adisi $OH^-$ pada amida kemudian terjadi eliminasi gugus $COCH^{3-}$ sehingga terbentuklah gugus NH2 yang berikatan dengan polimer kitin, senyawa inilah yang disebut kitosan (Mulyani et al., 2019).

Berdsarkan hasil karakterisasi FTIR pada Gambar 1. Berdasarkan gambar spektrum FTIR diatas, setiap tahapan ekstraksi menunjukkan perubahan struktur kimia yang dapat dikarakterisasi menggunakan FTIR. Puncak lebar sekitar 3260 cm-1 terlihat di semua tahapan ekstraksi, pita ini mengindikasikan vibrasi O-H stretching dari gugus hidroksil serta tumpang tindih dengan N-H stretching dari gugus amino, yang menunjukkan banyak ikatan hidrogen dalam kitin atau kitosan, sesuai dengan kisaran gugus hidroksil 3600-3200 cm-1. Selanjutnya gugus C-O stretching Amida I pada 1640,71 pada cangkang kepiting dengan % T 95,35%, setelah demineralisasi intensitas turun signifikan sampai 85,40% pada deasetilasi yang menandakan pemutusan ikatan asetil menjadi gugus amino bebas (Fadhilah et al., 2023). Penurunan pita amida I menjadi salah satu indikator tingat deasetilasi (DD). Semakin rendah intensitasnya, semakin tinggi konversi kitin menjadi kitosan. Selanjutnya yaitu gugus NH pada amida II, pada spectrum cangkang kepiting tidak terdeteksi adanya gugus NH tapi setelah demineralisasi muncul puncak NH pada 1548,03 hingga deasetilasi 1543,20 yang intensitasnya menurun menandakan semakin tingginya konsentrasi gugus NH pada sampel.

Selanjutnya puncak amida III pada ~1310 cm adalah getaran C-N stretching dan CH2 bending. Puncak ini muncul lebih jelas mulai tahap demineralisasi 1311,69 %T 89,36 % hingga deasetilasi1315,76 82,75%, penurunan intensitas tersebut menandakan pemutusan pita amida dan peningkatan gugus amino bebas yang mendukung keberhasilan tranformasi kitin ke kitosan (Luthfiyana et al., 2022). Selanjutnya yaitu gugus C-O stretching (polisakarida), berdasarkan gambar puncak 1021,84 berhubungan dengan vibrasi C-O stretching dalam rantai polisakarida. Intensitasnya turun dari 88,86% (cangkang kepiting) ke 65,92% pada deasetilasi. Penurunan ini terjadi akibat pemutusan ikatan glikosidik atau gangguan ikatan antarmolekul, yang mengindikasikan struktur polimer lebih amorf pada kitosan. Selanjutnya puncak 1399,25 pada cangkang kepiting menunjukkan vibrasi $CO_3^{2-}$ dari $CaCO_3$, hilangnya puncak ini setelah demineraliasasi hingga deasetilasi membuktikan penghilangan komponen anorganik, terutama kalsium karbonat, yang menjadi salah satu target demineralisasi (Djaenudin et al., 2019). Hubungan persentase transmitan berbanding terbalik dengan serapan, semakin kecil persentase transmitan maka semakin tinggi konsentrasi suatu gugus tertentu. (Luthfiyana et al., 2022), (Husni et al., 2020)

Salah satu faktor penting yang memengaruhi koagulasi untuk analisis mikroplastik yaitu pH larutan mikroplastik itu sendiri, pengaruh pH terhadap koagulasi menggunakan tawas dan kitosan sangat krusial untuk efektivitas proses penghilangan partikel. Pada penelitian ini variasi pH yang dilakukan yaitu pada pH 3,7,5,9 dan 11. Tawas memiliki pH optimal sekitar 6-7, dimana ion $Al^{3+}$ efektif dalam berinteraksi dengan partikel koloid negative seperti mikroplastik (Mishra et al., 2024), sedangkan pada pH dibawah 6 dapat menurunkan efisiensinya akibat adanya persaingan dengan ion $H^+$, dan pada pH diatas 7 menyebabkan pembentukan senyawa hidroksida yang mengurangi ketersediaan ion $Al^{3+.}$ Sementara itu, kitosan bekerja paling optimal antara pH 6-8, dengan pH 7 sebagai titik optimal untuk menarik mikroplastik yang bermuatan negatif melalui interaksi elektrostatis (Hung et al., 2021).

Berdasarkan data % efektivitas pada variasi pH pada Gambar 2 didapatkan persentase paling tinggi pada pH 7, yaitu 98,4 %. pH 1 tidak dilakukan karena terlalu asam, pada pH 3 dan pH 5 juga kurang efektif karena adanya persaingan antara ion $Al^{3+}$ dengan ion H+ pada larutan mikroplastik untuk mengikat partikel koloid seperti mikroplastik, sehingga membuat proses koagulasi menjadi kurang efektif pada kondisi asam (Huang et al., 2023). Selain itu kitosan pada kondisi yang terlalu asam juga dapat terprotonasi yang menyebabkan interaksinya menurun, hal ini akan mengurangi kemampuan kitosan dalam koagulasi.

Sedangkan pada pH basa % efektivitas koagulasi menurun dari pH netral, hal ini dikarenakan pada pH basa ion $Al^{3+}$ pada tawas mengalami peningkatan hidroksilasi menjadi spesie hidroksida $Al(OH)^{4-}$ (Hutabarat et al., 2023), selain itu juga terjadi penurunan muatan positif pada pH tinggi sehingga mengurangi koagulan aktif dan menghambat pembentukan flok yang efisien (He et al., 2024). Pada pH basa kitosan dapat kehilangan muatan positif NH2 yang penting untuk berinteraksi dengan partikel-pertikel koloid seperti mikroplastik yang bermuatan negatif. Hal ini relevan dengan data hasil koagulasi dimana pada pH 9 dan 11 % efektivitas koagulasi menurun sampai 95,2 % pada pH 11, Penelitian (Sembiring et al., 2022) menunjukkan efektifitas flokulasi menggunakan kitosan optimal dapat tercapai pada pH netral sementara pada pH 10 efektivitasnya menurun (Sembiring et al., 2022).

## KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pH terhadap efektivitas koagulasi mikroplastik Polyethylene Terephthalate (PET) menggunakan kitosan dari cangkang kepiting (Scylla serrata) sebagai biokoagulan ramah lingkungan. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh bahwa kondisi optimum proses koagulasi terjadi pada pH 7, dengan efektivitas penghilangan mikroplastik mencapai 98,4%. Proses ekstraksi kitosan melalui tahap demineralisasi, deproteinasi, dan deasetilasi berhasil ditunjukkan melalui karakterisasi FTIR dengan munculnya gugus fungsi khas kitosan seperti $NH_2$ dan penurunan gugus C=O (amida I). Kitosan terbukti efektif berinteraksi dengan partikel mikroplastik bermuatan negatif melalui interaksi elektrostatik, terutama pada pH netral, dibandingkan kondisi asam dan basa.

## DAFTAR PUSTAKA

A, R., Noor, E., & Suptijah, P. (2018). Pemanfaatan Kitosan Dalam Daur Ulang Air Sebagai Aplikasi. *Jphpi*, *21*(2), 276–286.

Djaenudin, D., Budianto, E., Saepudin, E., & Nasir, M. (2019). Ekstraksi Kitosan Dari Cangkang Rajungan Pada Lama Dan Pengulangan Perendaman Yang Berbeda. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, *10*(1), 49–59. https://doi.org/10.24319/jtpk.10.49-59

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). https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103457

Fadhilah, N., Bafadal, M., & Sastyarina, Y. (2023). Pengaruh Beberapa Variasi Konsentrasi

Kitosan Terhadap Potensial Zeta Nanopartikel Ekstrak Bawang Dayak (Eleutherine bulbosa). *Proceeding of Mulawarman Pharmaceuticals Conferences*, *18*, 144–148. https://doi.org/10.25026/mpc.v18i1.718

Gao, Y., & Liu, Y. (2022). Removal of microplastics by coagulation treatment in waters and prospect of recycling of separated microplastics: A mini-review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *10*(5), 108197. https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108197

He, W., Tang, C., Wang, Z., Ke, S., & Lu, P. (2024). Treatment process of pre-coagulated waters involving polyethylene (PE) microplastics by ultrafiltration membranes coupled without or with pre-deposited aggregate-based layer. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *12*(5). https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.113964

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*(2), 103929. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103929

Hung, C., Klasios, N., Zhu, X., Sedlak, M., Sutton, R., & Rochman, C. M. (2021). Methods Matter: Methods for Sampling Microplastic and Other Anthropogenic Particles and Their Implications for Monitoring and Ecological Risk Assessment. *Integrated Environmental Assessment and Management*, *17*(1), 282–291. https://doi.org/10.1002/ieam.4325

Husni, P., Junaedi, J., & Gozali, D. (2020). Potensi Kitosan Bersumber dari Limbah Cangkang Rajungan (Portunus pelagicus) dalam Bidang Farmasi. *Majalah Farmasetika*, *5*(1), 32–38. https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v5i1.23804

Hutabarat, D. M., Witasari, W. S., & Baskoro, R. (2023). Pengaruh Jenis Koagulan Dan Variasi Ph Terhadap Kualitas Limbah Cair Di Instalasi Pengolahan Air Limbah Pt Kawasan Industri Intiland. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, *8*(3), 588–594. https://doi.org/10.33795/distilat.v8i3.464

Ikrar Jamika, F., Dewata, I., Maharani, S., Primasari, B., & Dewilda, Y. (2023). Dampak Pencemaran Mikroplastik di Wilayah Pesisir Laut Impact of Microplastics Pollution in the Coastal Areas. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, *7*(3), 337–344. https://doi.org/10.46252/jsai-fpik-unipa.2023.Vol.7.No.3.309

Kurniawan, Y. (2021). Efektivitas Limbah Cangkang Kepiting Sebagai Biokoagulan Dalam Penurunan Kadar Kekeruhan Dan Warna Air Baku Sungai Kapuas. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, *10*(1), 001. https://doi.org/10.26418/jtllb.v10i1.48540

Luthfiyana, N., Ratrinia, P. W., Rukisah, Asniar, & Hidayat, T. (2022). Optimization of Demineralization Stage in Chitosan Extraction from Mangrove Crab Shell (Scylla sp.). *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, *25*(2), 352–363. https://doi.org/10.17844/jphpi.v25i2.41853

Mishra, S., Ren, Y., Sun, X., Lian, Y., Singh, A. K., & Sharma, N. (2024). Microplastics pollution in the Asian water tower: Source, environmental distribution and proposed mitigation strategy. *Environmental Pollution*, *356*(April), 124247. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124247

Mulyani, R., Mulyadi, D., & Yusuf, N. (2019). Preparation and Characterization of Chitosan Membranes from Crab Shells (Scylla olivacea) for Beverage Preservative. *Jurnal Kimia Valensi*, *5*(2), 242–247. https://doi.org/10.15408/jkv.v5i2.10637

Nouj, N., Majbar, Z., Abelouah, M. R., Ben Hamou, A., Chaoui, A., Hafid, N., Benafqir, M., El Alem, N., Jada, A., Ouachtak, H., Ait Addi, A., Buciscanu, I. I., Maier, V., Soreanu, G., & Cretescu, I. (2024). Eco-friendly wastewater treatment using a crab shell-based liquid bio-coagulant: Multi-criteria decision analysis related to different pollutants separation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *12*(2), 112318. https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112318

Sembiring, E. S., Widianingsih, W., & Supriyantini, E. (2022). Flokulasi Mikroalga Nannochloropsis oculata Menggunakan Kitosan dan pengoptimalan pH. *Journal of Marine Research*, *11*(4), 752–757. https://doi.org/10.14710/jmr.v11i4.36241

Ugwu, K., Herrera, A., & Gómez, M. (2021). Microplastics in marine biota: A review. *Marine Pollution Bulletin*, *169*(June). https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112540

Uyanga, V. A., Ejeromedoghene, O., Lambo, M. T., Alowakennu, M., Alli, Y. A., Ere-Richard, A. A., Min, L., Zhao, J., Wang, X., Jiao, H., Onagbesan, O. M., & Lin, H. (2023). Chitosan and chitosan-based composites as beneficial compounds for animal health: Impact on gastrointestinal functions and biocarrier application. *Journal of Functional Foods*, *104*(January), 105520. https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105520

Wahab, F., Iber, B. T., Chik, C. E. N. C. E., Abdullah, S. R. S., Alianto, Aslamyah, S., & Kasan, N. A. (2023). Chitin and chitosan extraction: A comparison of three crab species from fresh, brackish and marine water environments. *Bioresource Technology Reports*, *23*(June), 101517. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101517