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.v5i4.6765

EFEKTIVITAS KITOSAN CANGKANG KEPITING (*Scylla serrata*) SEBAGAI KOAGULAN UNTUK MENGURANGI MIKROPLASTIK *POLISTIRENA* (PS) DALAM AIR LIMBAH

Effectiveness of Crab Shell Chitosan (*Scylla serrata*) as a Coagulant for Reducing Polystyrene (PS) Microplastics in Wastewater

Jheni Sriayu Latifa & Indang Dewata
Universitas Negeri Padang
jhenilatifa@gmail.com; indangdewata@fmipa.unp.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Jun 8, 2025	Jul 3, 2025	Jul 15, 2025	Jul 20, 2025

Abstract

Microplastic pollution in wastewater has become an urgent environmental issue due to its resistance to degradation and its potential to contaminate the food chain. This study aims to develop a natural coagulant based on chitosan extracted from the waste shells of *Scylla serrata* (blue swimming crab) as an eco-friendly solution for precipitating polystyrene (PS) microplastics in wastewater. Chitosan was obtained through demineralization, deproteinization, and deacetylation processes, and its effectiveness was tested in a solution containing 50 mg of pure PS microplastics in 250 ml of wastewater. The results showed that the optimum pH for coagulation was 5, achieving a removal efficiency of 98.4%. The optimal chitosan concentration was 0.5%, resulting in a 97.6% removal rate, while the optimal stirring speed of 700 rpm yielded an efficiency of 89.2%. These findings indicate that chitosan derived from crab shell waste is an effective and sustainable coagulant for mitigating microplastic pollution and holds promising potential for application in environmentally friendly wastewater treatment.

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

Keywords: Microplastics; Chitosan; Crab Shell Waste; Coagulation; Wastewater

Abstrak: Pencemaran mikroplastik dalam air limbah menjadi permasalahan lingkungan yang mendesak karena sifatnya yang resisten terhadap degradasi dan potensinya mencemari rantai makanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan koagulan alami berbasis *kitosan* yang diekstraksi dari limbah cangkang kepiting rajungan (*Scylla serrata*) sebagai upaya ramah lingkungan untuk mengendapkan mikroplastik jenis *polistirena* (PS) dalam air limbah. Kitosan diperoleh melalui proses *demineralisasi*, *deproteinasi*, dan *deasetilasi*, kemudian diuji efektivitasnya dalam larutan mikroplastik PS murni sebanyak 50 mg dalam 250 ml air limbah. Hasil menunjukkan bahwa pH optimum tercapai pada pH 5 dengan efisiensi penghilangan sebesar 98,4%. Konsentrasi optimum kitosan berada pada 0,5% dengan tingkat penghilangan 97,6%, sementara kecepatan pengadukan optimum sebesar 700 rpm menghasilkan efisiensi 89,2%. Temuan ini mengindikasikan bahwa kitosan dari limbah cangkang kepiting dapat menjadi koagulan yang efektif dan berkelanjutan dalam mitigasi pencemaran mikroplastik, serta berpotensi diaplikasikan dalam pengolahan air limbah secara ekologis.

Kata Kunci: Mikroplastik; Kitosan; Cangkang Kepiting Rajungan; Koagulasi; Air Limbah

PENDAHULUAN

Sampah plastik merupakan salah satu tantangan global yang masih belum teratasi dengan baik. Produksi sampah plastik, baik di tingkat dunia maupun nasional, terus meningkat dari tahun ke tahun. Secara global, lebih dari 400 juta ton sampah plastik diproduksi setiap tahunnya (Hao & Shafer, 2021). Pada tahun 2023, Indonesia diperkirakan menghasilkan sekitar 12,9 juta ton sampah plastik, dengan mayoritas berasal dari limbah rumah tangga dan kemasan. Sampah plastik sering kali dibuang ke selokan yang juga menerima aliran air limbah rumah tangga. Selama musim hujan, volume air yang meningkat menyebabkan sampah ini terbawa bersama aliran air, mengalir melalui saluran drainase hingga akhirnya mencapai sungai. Jika tidak ada pengelolaan yang memadai, sampah plastik ini dapat terus terbawa hingga ke laut, menyebabkan pencemaran lingkungan yang signifikan, merusak ekosistem perairan, dan mengancam keanekaragaman hayati (Artha et al., 2023).

Sampah plastik akan terurai menjadi fragmen lebih kecil atau partikel mikroskopis melalui proses fisik, kimia, dan biologis. Secara fisik, fotodegradasi terjadi ketika radiasi UV dari sinar matahari memecah ikatan polimer dalam plastik, menjadikannya rapuh dan mudah terfragmentasi (Schiferle et al., 2023). Selain itu, abrasi mekanis yang disebabkan oleh gesekan dengan pasir, batu, atau partikel keras lainnya juga mempercepat pemecahan plastik. Sementara itu, degradasi biologis, meskipun lebih lambat, dapat terjadi melalui aktivitas

mikroorganisme seperti bakteri dan jamur yang menghasilkan enzim tertentu untuk memecah struktur kimia plastik, terutama plastik berbasis biopolymer (El Hadri et al., 2020). Hasil dari proses ini adalah mikroplastik (partikel berukuran kurang dari 5 mm) yang dapat menyebar dengan mudah di lingkungan. Partikel-partikel ini sering kali terakumulasi di lautan, sungai dan tanah hal ini dapat meningkatkan risiko pencemaran lingkungan dan berpotensi masuk ke dalam rantai makanan manusia melalui konsumsi ikan, kerang, dan organisme laut lainnya. Mikroplastik yang paling umum ditemui adalah polistirena (PS) (Thakur et al., 2022).

Mikroplastik polistirena dapat berasal dari dua sumber utama, yaitu mikroplastik primer dan mikroplastik sekunder. Mikroplastik primer adalah partikel polistirena yang diproduksi secara langsung untuk digunakan dalam produk kosmetik, pembersih wajah, dan bahan eksfoliasi kulit. Partikel ini dilepaskan ke saluran air melalui aktivitas rumah tangga dan industri tanpa pengelolaan limbah yang memadai. (Wang et al., 2020). Di sisi lain, mikroplastik sekunder dari polistirena terbentuk melalui degradasi produk-produk seperti kemasan makanan Styrofoam dan wadah plastik. Proses degradasi ini dipicu oleh beberapa faktor, termasuk fisik (abrasi dan erosi yang disebabkan oleh arus air), kimia (paparan sinar UV dan reaksi oksidasi), serta biologis (aktivitas mikroorganisme yang membentuk biofilm di permukaan plastik) (Mao et al., 2020).

Mikroplastik yang terkandung dalam air limbah berpotensi besar mencemari perairan, mengganggu keseimbangan ekosistem, dan menimbulkan dampak negatif pada rantai makanan. Mikroplastik dapat tertelan oleh organisme akuatik, mulai dari plankton hingga ikan, yang kemudian dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui konsumsi makanan laut. Kontaminasi mikroplastik dalam tubuh manusia dikhawatirkan dapat menyebabkan efek jangka panjang bagi kesehatan, sehubungan dengan adanya senyawa kimia berbahaya seperti logam berat dan bahan kimia beracun lainnya {Formatting Citation}.

Salah satu metode yang digunakan untuk mengatasi pencemaran mikroplastik adalah proses koagulasi dan flokulasi. Metode ini bertujuan untuk menghilangkan partikel padat dari air. Meskipun koagulan sintetis seperti alumunium sulfat sering digunakan penggunaannya dapat membawa dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan, sehingga diperlukan penggunaan bahan alami seperti kitosan dari cangkang kepiting yang ramah lingkungan sebagai koagulan untuk mengendapkan mikroplastik dari air limbah (Hambali et al., n.d.).

Kitosan merupakan biopolimer yang diperoleh dari deasetilasi kitin, yang banyak terdapat dalam cangkang hewan laut seperti udang, lobster, dan kepiting. Senyawa ini

memiliki sifat kationik (bermuatan positif), sehingga dapat berinteraksi secara elektrostatis dengan partikel-partikel bermuatan negatif, seperti mikroplastik Melalui proses koagulasi-flokulasi, partikel-partikel mikroplastik dapat membentuk flok-flok yang lebih besar dan lebih mudah dipisahkan dari air limbah. Penggunaan kitosan dari cangkang kepiting sebagai koagulan alami dinilai lebih ramah lingkungan dibandingkan koagulan kimia sintetis yang berpotensi meninggalkan residu berbahaya dalam air (Putranto et al., 2023).

Penggunaan limbah cangkang kepiting sebagai sumber kitosan memiliki dua manfaat utama. Pertama, limbah cangkang kepiting dari industri perikanan sering kali dibuang tanpa pemanfaatan yang optimal. Sebagai contoh, produksi daging kepiting menghasilkan limbah cangkang dalam jumlah besar yang berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Kedua, cangkang kepiting mengandung kitin dalam jumlah tinggi, sehingga memiliki potensi besar untuk diolah menjadi kitosan melalui proses demineralisasi, deproteinasi, dan deasetilasi (Osemba et al., 2024).

Dukungan terhadap penggunaan kitosan sebagai koagulan alami juga telah disampaikan oleh sejumlah ahli. (Hambali et al., n.d.) menyebutkan bahwa kitosan dari limbah laut merupakan bahan alami yang sangat menjanjikan dalam aplikasi pengolahan limbah karena keamanannya terhadap lingkungan dan tidak menghasilkan produk samping berbahaya.

(Putranto et al., 2023) juga menyatakan bahwa penggunaan kitosan dari cangkang hewan laut sebagai koagulan dalam pengolahan air memberikan efisiensi tinggi dalam menjebak mikroplastik, terutama jenis polistirena, yang memiliki sifat hidrofobik dan bermuatan negatif. Kitosan bekerja melalui tiga mekanisme utama, yaitu netralisasi muatan, pembentukan jembatan polimer (polymer bridging), dan penjeratan secara fisik (entrapment), yang semuanya berkontribusi dalam membentuk flok yang stabil dan besar.

Penelitian ini memperlihatkan efektivitas kitosan dari cangkang kepiting dengan efisiensi penghilangan mikroplastik PS hingga 98,4%, yang lebih tinggi dibandingkan beberapa studi terdahulu. Penggunaan kitosan alami tanpa kombinasi bahan lain menghasilkan efisiensi penghilangan mikroplastik sekitar 68,3%, dengan konsentrasi optimum 30 ppm (Putranto et al., 2023). Penggunaan kitosan dari *Litopenaeus vannamei* (udang) sebagai biokoagulan menunjukkan efisiensi penghilangan mikroplastik LDPE hingga 92,13% pada pH 5 dengan dosis optimum 1 mg/L, menegaskan pentingnya pH dan ukuran partikel dalam efisiensi penghilangan (Eamrat et al., 2024).

Melihat semakin meningkatnya pencemaran mikroplastik polistirena di lingkungan perairan serta melimpahnya limbah cangkang kepiting yang belum dimanfaatkan secara optimal, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Dengan memanfaatkan kitosan dari cangkang kepiting (Scylla serrata) sebagai koagulan alami, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitasnya dalam mengurangi kandungan mikroplastik polistirena dalam air limbah. Harapannya hasil dari penelitian ini tidak hanya relevan secara akademik, tetapi juga aplikatif di lapangan, khususnya bagi industri pengolahan air limbah maupun pengelolaan lingkungan pesisir yang rawan tercemar mikroplastik (Hassan et al., 2022).

METODE

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas kimia, batang pengaduk, kaca arloji, cawan penguap, botol semprot, pipet tetes, kertas saring, lumpang alu, pH meter, *magnetic stirrer,* corong, oven, erlenmeyer, blender, neraca analitik dan insrumen yang di gunakana FTIR.

Bahan yang digunakan adalah NaOH 40%, HCL 1 M, kertas saring dan aquades.

Sampel yang digunakan adalah mikroplastik polistirena (PS) diperoleh dari limbah styrofoam bersih yang dihancurkan dan disaring hingga berukuran <5mm. Cangkang kepiting rajungan (Scylla serrata) dikumpulkan dari limbah rumah tangga atau industri makanan laut lokal, kemudian dicuci, dikeringkan, dan digiling menjadi serbuk. Bahan kimia yang digunakan merupakan reagen proanalisis, yaitu asam klorida (HCl), natrium hidroksida (NaOH), dan akuades (Daramola et al., 2020)

1. Pembuatan kitosan

Demineralisasi: Serbuk cangkang direndam dalam HCl 1 M dengan perbandingan 1:15 (b/v), diaduk selama 3 jam dicuci sampai ph netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 65°C selama 2 jam. Deproteinasi: Residu hasil demineralisasi direaksikan dengan NaOH 4% perbandingan 1:10 (b/v), diaduk selama 2 jam pada suhu 65°C dicuci sampai ph netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 65°C selama 2 jam. Deasetilasi: Kitin yang diperoleh direaksikan dengan NaOH 50% pada suhu 100°C selama 2 jam untuk menghasilkan kitosan. Kitosan kemudian dicuci, dikeringkan, dan disimpan dalam desikator (K. Limbah & Kepiting, 2014).

2. Prosedur koagulasi

Larutan mikroplastik PS dibuat dengan melarutkan 50 mg mikroplastik ke dalam 250 mL air limbah sintetik. Uji koagulasi dilakukan dengan variasi sebagai berikut:

pH (1, 3, 5, 7, 9), Konsentrasi kitosan (0,1%; 0,3%; 0,5%; 0,7%; 0,9%), Kecepatan pengadukan (100; 300; 500; 700; 900 rpm). Larutan kitosan ditambahkan ke dalam larutan mikroplastik, kemudian diaduk selama 10 menit menggunakan stirrer. Setelah itu, campuran didiamkan selama 60 menit untuk proses pengendapan. Supernatan yang terbentuk dipisahkan dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 2 jam. Efisiensi koagulasi dihitung berdasarkan massa mikroplastik yang tersisa (Putranto et al., 2023).

3. Efektivitas (%) penghilangan mikroplastik pada air limbah

Dapat dihitung menggunakan rumus di bawah ini

$$\% \text{ Penghilangan} = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100\%$$

Keterangan :

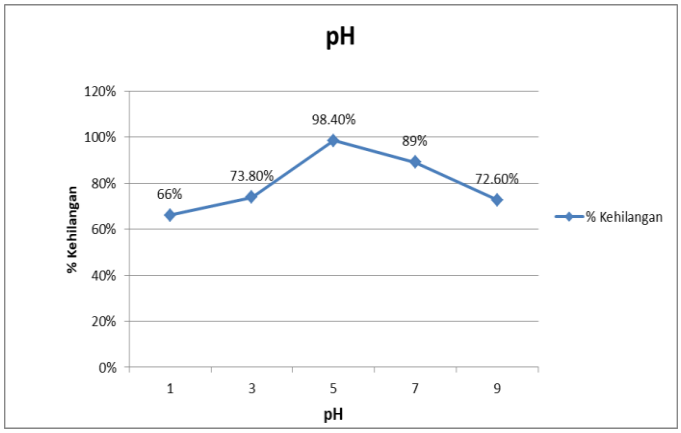
M_0 = Konsentrasi mikroplastik sebelum perlakuan

M_1 = Konsentrasi mikroplastik setelah perlakuan

HASIL

1. Pengaruh pH terhadap proses koagulasi

Parameter pH dilakukan dengan variasi pH larutan 1,3,5,7 dan 9 untuk mengetahui pH kondisi optimum larutan terhadap proses koagulasi. Proses Koagulasi pada pH dapat dilihat pada gambar 1

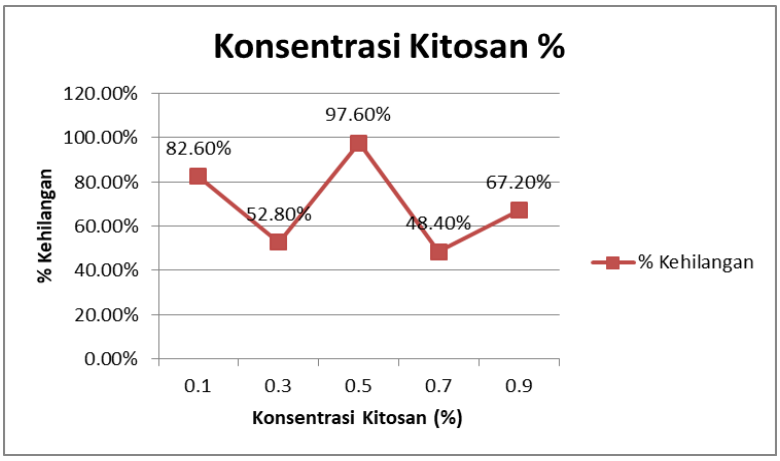


Gambar 1. Grafik variasi pH pada proses koagulasi

Dari gambar 1 dapat diketahui bahwa kondisi optimum pada proses koagulasi didapatkan pada pH 5 dengan % kehilangan sebesar 98.40%.

2. Pengaruh konsentrasi kitosan terhadap proses koagulasi

Konsentrasi kitosan dilakukan dengan variasi 0,1%, 0,3%, 0,5%, 0,7% dan 0,9% untuk mengetahui konsentrasi kitosan optimum larutan terhadap proses koagulasi. Proses Koagulasi pada pH dapat dilihat pada gambar 2

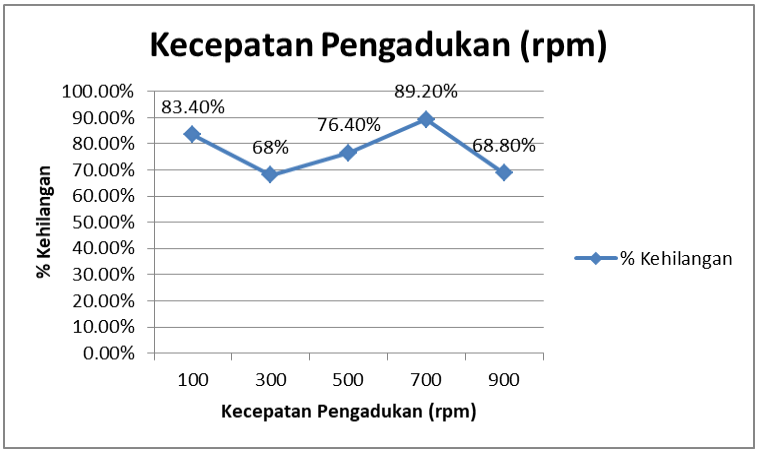


Gambar 2. Grafik variasi konsentrasi kitosan pada proses koagulasi

Dari gambar 2 dapat diketahui bahwa kondisi optimum pada proses koagulasi didapatkan pada konsentrasi 0,5% dengan % kehilangan sebesar 97.60%.

3. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap proses koagulasi

Kecepatan pengadukan dilakukan dengan variasi 100, 300, 500, 700, dan 900 rpm untuk mengetahui kecepatan pengadukan optimum larutan terhadap proses koagulasi. Proses Koagulasi pada pH dapat dilihat pada gambar 3



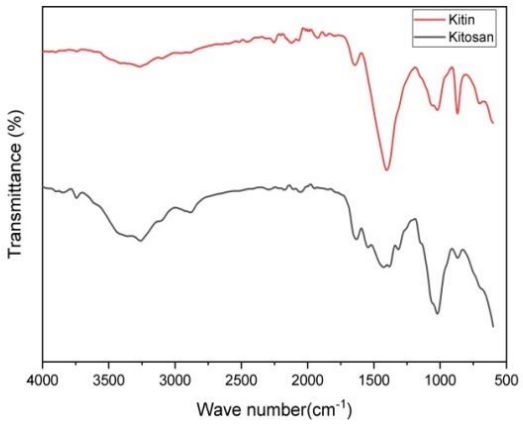
Gambar 3. Grafik variasi kecepatan pengadukan pada proses koagulasi

Dari gambar 3 dapat diketahui bahwa kondisi optimum pada proses koagulasi didapatkan pada kecepatan 700 rpm dengan % kehilangan sebesar 82.20%.

4. Karakterisasi FTIR

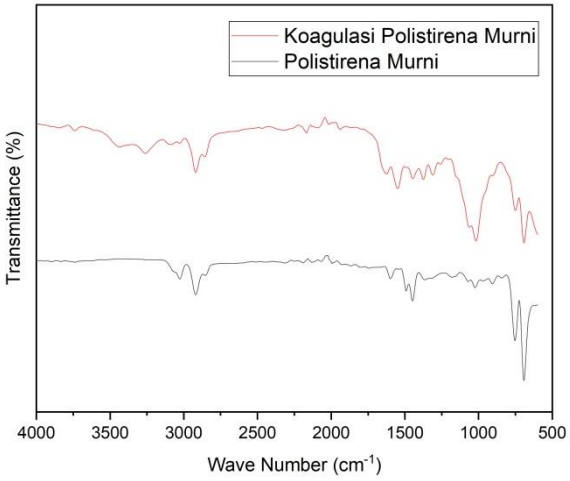
FTIR merupakan metode spektroskopi inframerah yang menggunakan transformasi Fourier untuk mendeteksi dan menganalisis spektrum senyawa. Teknik spektroskopi inframerah bermanfaat dalam mengidentifikasi senyawa organik karena kompleksitas spektrumnya, yang terdiri dari serangkaian puncak yang menunjukkan gugus fungsional yang ada dan dapat diamati melalui bilangan gelombangnya.

Karakterisasi FTIR kitin menjadi kitosan



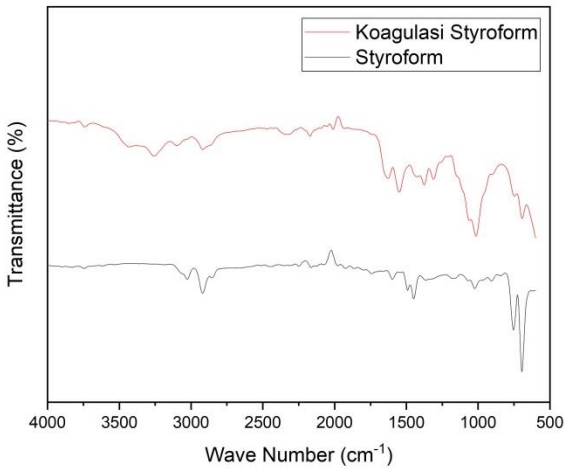
Gambar 4. Grafik Kitin dan Kitosan

Karakterisasi FTIR mikroplastik polistirena murni dan setelah koagulasi



Gambar 5. Grafik polistirena murni dan setelah koagulasi

Karakterisasi FTIR mikroplastik polistirena (Styrofoam) dan setelah koagulasi



Gambar 6. Grafik styroffoam dan setelah koagulasi

PEMBAHASAN

1. Pembuatan kitosan dari cangkang kepiting (Scylla serrata)

Cangkang kepiting rajungan (Scylla serrata) merupakan limbah perikanan yang potensial sebagai bahan baku dalam produksi kitosan. Cangkang ini mengandung senyawa utama berupa kalsium karbonat ($CaCO_3$), protein, dan kitin. Untuk memperoleh kitosan, senyawa non-kitinnya harus terlebih dahulu dihilangkan melalui proses kimia bertahap yang meliputi demineralisasi, deproteinasi, dan deasetilasi. Proses demineralisasi bertujuan untuk menghilangkan kandungan mineral, terutama kalsium karbonat, dari cangkang kepiting. Proses ini dilakukan dengan menggunakan larutan asam, umumnya asam klorida (HCl) dengan konsentrasi 1 M. Dalam penelitian ini, demineralisasi dilakukan dengan mencampurkan serbuk cangkang rajungan dengan larutan HCl 1 M dalam perbandingan 1:15 (b/v), dan diaduk selama 3 jam pada suhu kamar (Liemin et al., 2023). Reaksi utama yang terjadi adalah antara kalsium karbonat dan asam klorida, membentuk kalsium klorida ($CaCl_2$), karbon dioksida (CO_2), dan air (H_2O) sebagaimana reaksi berikut:

$$CaCO_3\ (s) + 2HCl\ (aq) \rightarrow CaCl_2\ (aq) + CO_2\ (g) + H_2O\ (l)$$

Reaksi ini menghasilkan gas karbon dioksida (yang tampak dalam bentuk gelembung) serta garam kalsium klorida ($CaCl_2$) yang larut dalam air. Penghilangan mineral ini menyebabkan struktur bahan menjadi lebih lunak dan berpori, sehingga memungkinkan penetrasi larutan basa pada tahap deproteinasi berikutnya menjadi lebih efektif dalam

melarutkan protein. Selain itu, struktur berpori yang terbentuk juga membantu meningkatkan luas permukaan kontak antara reagen dan substrat, sehingga reaksi kimia yang terjadi di tahap selanjutnya menjadi lebih optimal. Proses ini mencerminkan penerapan prinsip-prinsip kimia seperti reaksi asam-basa, reaksi ionisasi, dan netralisasi dalam penghilangan senyawa anorganik dari bahan baku, serta menekankan pentingnya urutan proses yang logis dan efisien dalam sintesis biopolimer seperti kitosan (Hambali et al., n.d.).

Proses deproteinasi dilakukan untuk menghilangkan kandungan protein dari struktur cangkang. Proses ini menggunakan larutan basa, biasanya natrium hidroksida (NaOH) 4%. Dalam tahapan ini, serbuk hasil demineralisasi direaksikan dengan larutan NaOH 4% pada suhu 65°C selama 2 jam. Protein dalam cangkang akan terhidrolisis menjadi senyawa terlarut yang kemudian dibuang bersama larutan filtrat (Alimatul et al., 2020). Reaksi kimia utama pada tahap ini adalah hidrolisis ikatan peptida dalam protein oleh basa:

Protein + NaOH → peptida terlarut + NH_3 (gas)

Proses ini mengandalkan prinsip **reaksi hidrolisis basa** (alkaline hydrolysis), di mana ikatan peptida yang menghubungkan asam amino dalam rantai protein akan terpecah menjadi molekul yang lebih kecil dan larut dalam air. Tahapan ini sangat penting untuk memurnikan kitin dari bahan organik pengganggu, karena protein yang tersisa dapat mengganggu sifat fungsional kitosan, seperti warna, bau, dan bahkan toksisitas jika digunakan dalam aplikasi farmasi atau pangan (Hambali et al., n.d.).

Setelah demineralisasi dan deproteinasi selesai, maka yang tersisa adalah kitin mentah yang sebagian besar terdiri dari rantai polisakarida N-asetil-D-glukosamin. Kitin ini bersifat sangat kristalin dan tidak larut dalam air, sehingga harus dikonversi menjadi kitosan melalui proses deasetilasi.

Tahap deasetilasi merupakan inti dari keseluruhan proses produksi kitosan, karena pada tahap inilah terjadi konversi dari kitin sebuah polisakarida alami yang tidak larut dalam air menjadi kitosan, yang bersifat lebih reaktif dan memiliki kelarutan dalam larutan asam lemah. Secara kimia, deasetilasi adalah proses penghilangan gugus asetil (-$COCH_3$) yang terikat pada gugus amino dari unit N-asetil-D-glukosamin dalam rantai kitin. Reaksi ini biasanya dilakukan menggunakan larutan basa kuat, yaitu natrium hidroksida (NaOH) pekat 50%, pada suhu 100°C selama beberapa jam. Pada kondisi tersebut, gugus asetil mengalami hidrolisis basa dan diubah menjadi ion asetat, sedangkan gugus amida (-$NHCOCH_3$) berubah menjadi gugus amina bebas (-NH_2). Reaksi utamanya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$-NHCOCH_3 + OH^- \rightarrow -NH_2 + CH_3COO^-$$

Proses ini mengubah struktur kimia kitin menjadi kitosan dengan sifat fungsional yang sangat berbeda. Gugus amina bebas (-NH_2) yang terbentuk memberikan muatan positif pada kitosan dalam larutan asam, menjadikannya polimer yang larut dan memiliki afinitas tinggi terhadap ion logam, enzim, maupun senyawa bermuatan negatif. berikut merupakan hasil FTIR kitin dan kitosan yang telah diperoleh dalam penelitian ini (Alimatul et al., 2020).

2. Proses Koagulasi untuk Penentuan Kondisi Optimum

a. Kondisi optimum variasi pH

pH larutan berperan penting dalam proses koagulasi karena memengaruhi muatan permukaan mikroplastik dan sifat kationik kitosan. Dalam penelitian ini, koagulasi dilakukan pada variasi pH 1, 3, 5, 7, dan 9 menggunakan kitosan 0,5%. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi terjadi pada pH 5, sebesar 98,40%. Pada pH ini, kitosan berada dalam bentuk terprotonasi optimal (-NH_3^+), yang memungkinkan interaksi elektrostatik maksimal dengan mikroplastik bermuatan negatif. Pada pH terlalu rendah (1 dan 3), meskipun kitosan sangat terprotonasi, lingkungan yang terlalu asam menurunkan kestabilan flok. Sementara itu, pada pH 7 dan 9, efisiensi menurun karena deprotonasi kitosan dan penurunan kelarutannya. Oleh karena itu, pH 5 dinyatakan sebagai kondisi optimum karena memberikan keseimbangan terbaik antara muatan, kelarutan, dan pembentukan flok yang stabil (Okey-Onyesolu et al., 2020).

Variasi pH berpengaruh signifikan terhadap efisiensi koagulasi mikroplastik polistirena (PS) menggunakan kitosan. Efisiensi tertinggi terjadi pada pH 5 (98,40%) karena kitosan berada dalam bentuk terprotonasi (-NH_3^+) yang bermuatan positif, sehingga mampu berinteraksi kuat dengan mikroplastik bermuatan negatif dan membentuk flok yang stabil. Pada pH terlalu rendah (pH 1 dan 3), lingkungan sangat asam menurunkan kestabilan flok, sementara pada pH netral hingga basa (pH 7 dan 9), efisiensi menurun akibat deprotonasi gugus amina dan rendahnya kelarutan kitosan. Oleh karena itu, pH 5 merupakan kondisi optimum untuk proses koagulasi menggunakan kitosan (Kurniawan, 2021).

b. Kondisi optimum variasi konsentrasi kitosan (%)

Variasi konsentrasi kitosan berperan penting dalam efektivitas koagulasi mikroplastik polistirena (PS). Konsentrasi optimum diperoleh pada 0,5%, di mana jumlah gugus amina

terprotonasi dalam kitosan cukup untuk menetralkan muatan negatif mikroplastik, membentuk flok yang padat dan mudah mengendap. Pada titik ini, terjadi keseimbangan antara muatan positif dan kemampuan bridging kitosan terhadap partikel dalam suspensi.

Pada konsentrasi lebih rendah (0,1% dan 0,3%), koagulan tidak mencukupi untuk mengikat seluruh partikel, sehingga sebagian mikroplastik tetap tersuspensi. Sebaliknya, pada konsentrasi lebih tinggi (0,7% dan 0,9%), efisiensi menurun akibat kelebihan muatan positif yang menyebabkan partikel kembali terdispersi. Peningkatan viskositas larutan juga menghambat penggumpalan.

Hasil grafik gambar 2 menunjukkan bahwa konsentrasi optimum kitosan tercapai pada 0,5%, dengan efisiensi penghilangan mikroplastik sebesar 97,60%. Pada konsentrasi ini, gugus amina (-NH_2) dalam kitosan telah terprotonasi menjadi -NH_3^+, sehingga kitosan bermuatan positif dan mampu berinteraksi kuat secara elektrostatik dengan mikroplastik PS yang bermuatan negatif. Interaksi ini memungkinkan terbentuknya flok melalui mekanisme penetralan muatan dan bridging, menghasilkan pengendapan yang efisien.

Pada konsentrasi rendah (0,1% dan 0,3%), jumlah kitosan tidak cukup untuk menetralkan seluruh partikel, sehingga banyak mikroplastik tetap tersuspensi. Sebaliknya, konsentrasi tinggi (0,7% dan 0,9%) justru menurunkan efisiensi akibat kelebihan muatan positif yang menyebabkan partikel saling tolak-menolak dan gagal membentuk flok stabil. Oleh karena itu, 0,5% merupakan titik optimum karena menciptakan keseimbangan muatan dan kondisi larutan yang paling mendukung proses koagulasi secara efektif (Alimatul et al., 2020)

c. Kondisi optimum variasi kecepatan pengadukan

Kecepatan pengadukan berperan penting dalam proses koagulasi karena memengaruhi sebaran koagulan dan frekuensi tumbukan antarpartikel. Pengadukan yang cukup kuat memungkinkan kitosan tersebar merata, sehingga gugus amina terprotonasi (-NH_3^+) dapat berinteraksi efektif dengan mikroplastik PS bermuatan negatif melalui penetralan muatan dan pembentukan jembatan antarpartikel (bridging), membentuk flok besar yang mudah mengendap. Jika pengadukan terlalu lambat, flok sulit terbentuk; namun jika terlalu cepat, flok yang terbentuk bisa hancur akibat gaya geser berlebih. Oleh karena itu, kecepatan optimum diperlukan agar flok terbentuk dan tetap stabil.

Gambar 3 menunjukkan bahwa efektivitas penghilangan mikroplastik (% kehilangan) meningkat seiring peningkatan kecepatan pengadukan hingga titik tertentu, lalu menurun kembali. Nilai efektivitas tertinggi tercatat pada kecepatan 700 rpm sebesar 89,20%, sedangkan efektivitas terendah terjadi pada 300 rpm (68%) dan kembali turun pada 900 rpm (68,80%). Hal ini menggambarkan adanya titik optimum di mana gaya pengadukan cukup untuk mendistribusikan koagulan secara merata dan memfasilitasi tumbukan antarpartikel, tetapi tidak terlalu kuat hingga merusak flok yang terbentuk. Pada kecepatan rendah (100 rpm), efisiensi sudah cukup tinggi (83,40%) meskipun distribusi koagulan dalam larutan belum sepenuhnya merata, efektivitas koagulasi masih tergolong tinggi karena beberapa faktor mendukung terbentuknya flok secara alami. Pertama, pada kecepatan rendah, gaya geser (shear force) yang dihasilkan kecil sehingga flok yang terbentuk lebih stabil dan tidak mudah pecah. Hal ini memungkinkan partikel mikroplastik yang telah bergabung tetap teragregasi dan mengendap dengan baik. Kecepatan rendah juga menciptakan lingkungan yang tenang dan minim turbulensi, yang mendukung pertumbuhan flok besar tanpa terganggu oleh gaya mekanik yang merusak. Saat kecepatan dinaikkan ke 300 rpm, efektivitas justru menurun karena gaya geser belum cukup efektif untuk menciptakan penggabungan partikel yang stabil. Kenaikan efektivitas pada 500 rpm (76,40%) menunjukkan bahwa pengadukan mulai mendekati intensitas optimal, dan puncaknya terjadi pada 700 rpm, di mana pengadukan menciptakan gaya geser yang ideal untuk mempertemukan partikel dan membentuk flok melalui mekanisme bridging dan netralisasi muatan (Hambali et al., n.d.).

Pada kecepatan lebih tinggi yaitu 900 rpm, efektivitas kembali menurun. Hal ini disebabkan oleh gaya geser yang terlalu besar yang merusak struktur flok yang telah terbentuk, menyebabkan partikel kembali terdispersi dalam larutan. Selain itu, pengadukan yang terlalu cepat juga memperpendek waktu kontak antarpartikel, sehingga proses agregasi tidak berlangsung sempurna. Dengan demikian, kecepatan 700 rpm dapat ditetapkan sebagai kondisi optimum karena menghasilkan keseimbangan antara pencampuran efektif, kestabilan flok, dan efektivitas pengendapan partikel mikroplastik secara maksimal.

d. Proses aplikasi koagulasi pada mikroplastik polistirena (Styrofoam)

Koagulasi merupakan metode umum dalam pengolahan air limbah untuk menghilangkan partikel tersuspensi, termasuk mikroplastik. Dalam penelitian ini, kitosan dari cangkang kepiting digunakan sebagai koagulan alami untuk mengurangi mikroplastik polistirena (styrofoam) dalam larutan simulasi. Kitosan bersifat kationik dan ramah

lingkungan, dengan gugus amina (-NH_2) dan hidroksil (-OH) yang dapat berinteraksi dengan mikroplastik bermuatan negatif.

Proses dilakukan dengan mencampurkan larutan mikroplastik PS dan larutan kitosan 0,5%, diaduk selama 10 menit pada 500 rpm, lalu diendapkan selama 45 menit. Mekanisme koagulasi meliputi netralisasi muatan, pembentukan jembatan polimer, dan penjeratan partikel. Hasilnya, diperoleh efektivitas penghilangan sebesar 66%, yang tergolong cukup efektif, meskipun belum optimal. Nilai ini menunjukkan bahwa kitosan berfungsi sebagai koagulan aktif, dan efektivitasnya masih dapat ditingkatkan melalui optimasi kondisi. Pendekatan ini juga mendukung prinsip ekonomi sirkular dan pengurangan limbah plastik secara berkelanjutan (Liemin et al., 2023).

e. Analisa FTIR

Dari hasil pengukuran pada gambar 4 menunjukkan spektrum FTIR dari kitin (garis merah) dan kitosan (garis hitam). Beberapa pita serapan khas yang muncul dapat dijelaskan sebagai berikut:

Pita serapan pada daerah 3400–3200 cm^{-1} muncul akibat getaran peregangan (stretching) dari gugus –OH dan –NH. Puncak ini menunjukkan ikatan hidrogen dan sangat penting dalam menandai keberadaan gugus amino. Pada kitosan, pita ini lebih intens, menandakan peningkatan kandungan gugus –NH_2 akibat proses deasetilasi (Soud et al., 2024).

Pita pada 1655 cm^{-1} (kitin) merupakan karakteristik dari getaran C=O pada gugus amida I. Setelah deasetilasi menjadi kitosan, intensitas pita ini menurun secara signifikan, menunjukkan hilangnya sebagian besar gugus amida. Pita pada 1590 cm^{-1} muncul pada kitosan sebagai akibat dari getaran bending (tekukan) dari gugus amina primer (–NH_2). Hal ini menjadi indikasi utama terbentuknya kitosan. Pita serapan di sekitar 1150–1000 cm^{-1} berhubungan dengan getaran C–O–C dan C–O dari kerangka polisakarida yang terdapat pada kedua senyawa. Perbandingan antara kedua spektrum menunjukkan bahwa proses deasetilasi telah berhasil mengubah sebagian besar gugus amida pada kitin menjadi gugus amina pada kitosan (P. Limbah et al., 2024).

Grafik gambar 5 menunjukkan spektrum FTIR dari dua sampel, yaitu polistirena murni (ditunjukkan oleh garis hitam) dan polistirena setelah proses koagulasi menggunakan kitosan (ditunjukkan oleh garis merah). Berdasarkan spektrum FTIR polistirena murni,

tampak beberapa puncak serapan khas yang mengindikasikan keberadaan gugus-gugus fungsi tertentu. Puncak serapan pada daerah sekitar 3025 cm^{-1} menunjukkan adanya regangan C–H aromatik, sedangkan puncak pada bilangan gelombang 2921 cm^{-1} dan 2851 cm^{-1} berkaitan dengan regangan C–H alifatik. Selain itu, puncak pada daerah 1600–1450 cm^{-1} mengindikasikan vibrasi ikatan rangkap dua (C=C) pada cincin aromatik, dan puncak tajam di wilayah 750–700 cm^{-1} merupakan karakteristik bending aromatik (out-of-plane) dari struktur polistirena (Ding et al., 2022).

Setelah dilakukan proses koagulasi dengan kitosan, spektrum FTIR menunjukkan perubahan yang cukup signifikan, terutama dalam hal penurunan intensitas dan sedikit pergeseran posisi puncak pada beberapa daerah, khususnya antara 1500–700 cm^{-1}. Perubahan ini menunjukkan adanya interaksi kimia antara polistirena dan kitosan selama proses koagulasi. Penurunan intensitas puncak-puncak tertentu dapat mengindikasikan bahwa sebagian gugus aktif pada permukaan polistirena telah mengalami interaksi atau penutupan oleh molekul kitosan, sehingga mengurangi kemampuan vibrasi gugus-gugus tersebut dalam menyerap radiasi inframerah. Hal ini menguatkan dugaan bahwa kitosan berperan aktif dalam proses koagulasi mikroplastik, baik melalui mekanisme penjerapan maupun pembentukan ikatan antarmolekul, yang ditandai dengan perubahan karakteristik spektrum inframerah pada sampel hasil koagulasi (Lau et al., 2023).

Gambar 6 di atas merupakan spektrum FTIR dari dua sampel, yaitu Styrofoam murni (garis hitam) dan Styrofoam setelah mengalami proses koagulasi dengan kitosan (garis merah). Berdasarkan spektrum Styrofoam murni, tampak beberapa puncak serapan khas yang mengindikasikan keberadaan gugus fungsi utama penyusun polistirena, yaitu senyawa aromatik. Puncak serapan pada bilangan gelombang sekitar 3025 cm^{-1} menunjukkan adanya regangan C–H aromatik, sedangkan puncak pada bilangan gelombang 2921 cm^{-1} dan 2850 cm^{-1} mengindikasikan regangan C–H alifatik dari rantai utama. Puncak lain yang signifikan berada pada daerah 1600–1450 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi ikatan C=C aromatik, serta puncak tajam pada sekitar 750 dan 700 cm^{-1} yang menandakan bending aromatik (out-of-plane), ciri khas struktur polistirena seperti Styrofoam (Yang et al., 2024).

Setelah proses koagulasi menggunakan kitosan, tampak terjadi perubahan pada spektrum FTIR, khususnya berupa penurunan intensitas pada sejumlah puncak utama dan pergeseran kecil pada beberapa bilangan gelombang. Penurunan intensitas ini menandakan terjadinya interaksi antara gugus amino ($–NH_2$) pada kitosan dengan gugus aromatik atau

permukaan dari mikroplastik Styrofoam. Interaksi ini dapat berupa ikatan hidrogen, gaya van der Waals, atau pembungkusan fisik, yang menyebabkan vibrasi dari gugus tertentu menjadi lebih lemah atau tertutupi. Perubahan tersebut merupakan indikasi bahwa kitosan berhasil berinteraksi dengan permukaan polistirena, mendukung proses penggumpalan mikroplastik melalui mekanisme bridging dan charge neutralization, sehingga menyebabkan perubahan karakteristik FTIR (Risch & Adlhart, 2021).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa faktor-faktor yang memengaruhi kinerja kitosan sebagai koagulan meliputi konsentrasi kitosan, pH larutan, waktu pengendapan, dan kecepatan pengadukan. Di antara faktor tersebut, pH dan kecepatan pengadukan terbukti sangat berpengaruh terhadap efektivitas proses koagulasi. Nilai pH yang paling mendukung kinerja kitosan berada pada kisaran asam lemah (pH 5) dengan % kehilangan 98.40%, konsentrasi kitosan 0,5% dengan % kehilangan 97.60% sedangkan kecepatan pengadukan optimum berada pada 700 rpm yaitu 89.20%.

DAFTAR PUSTAKA

Alimatul, N., Narudin, H., & Mahadi, A. H. (2020). Chitin, Chitosan, and Submicron-Sized Chitosan Particles Prepared from Scylla serrata Shells. *Materials International*, *2*(2), 139–149. https://doi.org/10.33263/materials22.139149

Artha, A. D., Nurasa, H., & Candradewini, C. (2023). Recognizing and Detecting the Effectiveness of Policy Implementation Waste Management in Indonesia. *Jurnal Public Policy*, *9*(3), 201. https://doi.org/10.35308/jpp.v9i3.7656

Daramola, O., Adelaja, O., Daramola, O. E., & Adelaja, O. A. (2020). Preparation of Chitosan Nanoparticles from Crab Shell and Their Characterization. International journal of materials chemistry and physics, 6(2), 23-29. http://www.aiscience.org/journal/ijmcp

Ding, X., Teng, X., She, Z., Li, Y., Liu, Y., Zhuang, Y., & Wang, C. (2022). Preparation of chitosan-coated polystyrene microspheres for the analysis of trace Pb(ii) ions in salt by GF-AAS assisted with solid-phase extraction. *RSC Advances*, *12*(50), 32526–32533. https://doi.org/10.1039/d2ra04968f

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*(September 2023), 103457. https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103457

El Hadri, H., Gigault, J., Maxit, B., Grassl, B., & Reynaud, S. (2020). Nanoplastic from mechanically degraded primary and secondary microplastics for environmental

assessments.*NanoImpact*,*17*(February),100206.https://doi.org/10.1016/j.impact.2019.100206

Hambali, M., Wijaya, E., & Reski, A. (n.d.). (2017). Pembuatan kitosan dan pemanfaatannya sebagai Agen Koagulasi-Flokulasi. Jurnal teknik kimia *23*(2), 104–113. https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v17i2.3782

Hao, Y., & Shafer, G. (2021). Models for Predicting Global Plastic Waste. *Aresty Rutgers Undergraduate Research Journal*, *1*(2), 0–6. https://doi.org/10.14713/arestyrurj.v1i2.154

Hassan, L. S., Abdullah, N., Abdullah, S., Ghazali, S. R., Sobri, N. A. M., Hashim, N., Yahya, N. A. M., & Muslim, W. M. N. (2022). The Effectiveness of Chitosan Extraction from Crustaceans' Shells as a natural coagulant. *Journal of Physics: Conference Series*, *2266*(1), 0–10. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2266/1/012002

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

Lau, K. S., Azmi, N. A. S., Chin, S. X., Zakaria, S., & Chia, C. H. (2023). Chitosan-Bead-Encapsulated Polystyrene Sulfonate for Adsorption of Methylene Blue and Regeneration Studies: Batch and Continuous Approaches. *Polymers*, *15*(5). https://doi.org/10.3390/polym15051269

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 bioresoures and enviromental sciences, 2(1), 21-30. https:/ /doi.org/10.14710/jbes.2023.16478

Mao, R., Lang, M., Yu, X., Wu, R., Yang, X., & Guo, X. (2020). Aging mechanism of microplastics with UV irradiation and its effects on the adsorption of heavy metals.Journal of Hazardaous Materials, 33 (February), 122515. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122515

Okey-Onyesolu, C. F., Chukwuma, E. C., Okoye, C. C., & Onukwuli, O. D. (2020). Response Surface Methodology optimization of chito-protein synthesized from crab shell in treatment of abattoir wastewater. *Heliyon*, *6*(10), e05186. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05186

Osemba, M. O., Muriuki-Hutchins, M., Karenga, S., & Keru, G. (2024). Production of Chitosan from Crab Shells. *International Journal of Advanced Research*, *7*(1), 244–250. https://doi.org/10.37284/ijar.7.1.2193

Putranto, P. A., Khoironi, A., & Baihaqi, R. A. (2023). Optimisation of chitosan as a natural flocculant for microplastic remediation. Journal of Emerging Science and Engineering*1*(2), 44–50. https://doi.org/10.61435/ijred.2023.7

Risch, P., & Adlhart, C. (2021). A Chitosan Nanofiber Sponge for Oyster-Inspired Filtration of Microplastics. *ACS Applied Polymer Materials*, *3*(9), 4685–4694. https://doi.org/10.1021/acsapm.1c00799

RonaldyLovina, Samsul B., Lyly v. (2024). Dampak Pencemaran Mikroplastik Pada Ikan, Kerang dan Sedimen di Perairan Indonesia Impact of Microplastic Pollution on Fish , Shellfish and Sediments in Indonesian Waters. Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL) *6*(2), 9–18. https://doi.org/10.14710/buloma.v13i3.62376

Schiferle, E. B., Ge, W., & Reinhard, B. M. (2023). Nanoplastics Weathering and Polycyclic

Aromatic Hydrocarbon Mobilization. *ACS Nano*, *17*(6), 5773–5784. https://doi.org/10.1021/acsnano.2c12224

Soud, S. A., Ali, M. A., Alhadban, W. G., Taha, A. A., & Division, B. (2024). Extraction And Characterization Of Chitin And Chitosan From Local Iraqi Fish Scales. Iraqi Journal of Agricultural Sciences *55*, 1–6. https://doi.org/10.36103/1zah0b15

Susan Primadevi, Trijoko Raharjo, Respati Tri swasono. (2014). Konversi Limbah Cangkang Kepiting Menjadi Chitosan Beads sebagai Matriks Pendukung pada Proses Imobilisasi Lipase. *7*(2) Biomedika. https://doi.org/10.31001/biomedika.v7i2.183

Thakur, S., Mathur, S., Patel, S., & Paital, B. (2022). Microplastic Accumulation and Degradation in Environment via Biotechnological Approaches. *Water (Switzerland)*, *14*(24). https://doi.org/10.3390/w14244053

Wang, F., Wang, B., Duan, L., Zhang, Y., Zhou, Y., Sui, Q., Xu, D., Qu, H., & Yu, G. (2020). Occurrence and distribution of microplastics in domestic, industrial, agricultural and aquacultural wastewater sources: A case study in Changzhou, China. *Water Research*, *182*, 115956. https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115956

Yang, J. W., Park, C., & Jho, E. H. (2024). Removal technologies of microplastics in soil and water environments: review on sources, ecotoxicity, and removal technologies. *Applied Biological Chemistry*, *67*(1). https://doi.org/10.1186/s13765-024-00957-9

Yohana I. K, Ika O. W, Marselina T. J. T. (2024). Utilization of Windu Shrimp Shell Waste from Malaka-NTT for Chitosan Synthesis : Characterization Study and Application Potential. Berkalasaintstek *12*(4), 157–163. https://doi.org/10.19184/bst.v12i.4.52637