

# Reduksi Zat Pewarna Kongo Merah via Koagulasi-Flokulasi dengan Kitosan dari Cangkang Kepiting Bakau (*Scylla serrata*)

## *Reduction of Congo Red Dyes via Coagulation-Flocculation with Chitosan from Mud Crab Shell (*Scylla serrata*)*

Tarikh Azis Ramadani<sup>1</sup>, Roihana Fajrin<sup>2</sup>, Novi Eka Mayangsari<sup>3\*</sup>, Ulvi Pri Astuti<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi D3 Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

<sup>2,3,4</sup>Jurusan D4 Teknik Pengolahan Limbah, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Email: <sup>1</sup>tarikh@ppns.ac.id, <sup>2</sup>rfajrin23@student.ppns.ac.id, <sup>3</sup>noviekam@ppns.ac.id, <sup>4</sup>ulvipriastuti@ppns.ac.id

\*Penulis korespondensi: [noviekam@ppns.ac.id](mailto:noviekam@ppns.ac.id)

Direview: 13 Agustus 2024

Diterima: 21 Agustus 2024

### ABSTRAK

Kepiting bakau (*Scylla serrata*) merupakan salah satu biota yang ada di perairan Indonesia. Kepiting bakau dimanfaatkan sebagai sumber makanan, sehingga menyisakan limbah cangkang. Limbah cangkang mengandung kitin, yang dapat disintesis menjadi kitosan. Manfaat dari kitosan adalah peranannya sebagai koagulan untuk mereduksi zat warna kongo merah. Pada penelitian ini, kami mengevaluasi potensi dari kitosan berbasis cangkang kepiting bakau dan kinerjanya dalam proses koagulasi dan flokulasi menggunakan metode jar test. Kitosan yang berasal dari cangkang kepiting bakau memiliki nilai derajat deasetilasi (DD) sebesar 74%. Dosis koagulan (25-150 mg/L) dan konsentrasi kongo merah (100-250 mg/L) menjadi parameter operasi dalam proses koagulasi dan flokulasi. Hasil dari penelitian ini yaitu peningkatan dosis koagulan meningkatkan kinerja pengolahan hingga kejenuhan aglomerasi tercapai, di mana kinerja mulai menurun atau stabil. Sedangkan peningkatan konsentrasi awal kongo merah, juga mempengaruhi efektivitas koagulasi yang semakin tinggi. Penyisihan zat warna kongo merah dengan pengaruh dosis koagulan dan konsentrasi awal kongo merah menghasilkan persen penyisihan hingga 99,9% pada konsentrasi koagulan 150 mg/L dan konsentrasi kongo merah sebesar 250 mg/L.

**Kata kunci:** *Kepiting bakau, koagulasi-flokulasi, kongo merah*

### ABSTRACT

*The mangrove crab (*Scylla serrata*) represents a notable component of the Indonesian marine biota. The utilization of mangrove crabs as a food source results in the deposition of shell waste. The shells of these crustaceans contain chitin, which can be synthesised into chitosan. One of the advantages of chitosan is that it can be utilized as a coagulant to reduce congo red dye. This study aimed to evaluate the potential of mangrove crab shell-based chitosan and its performance in the coagulation and flocculation process using the jar test method. The chitosan derived from mud crab shells exhibited a degree of deacetylation (DD) value of 74%. The operating parameters for the coagulation and flocculation process were a coagulant dosage of 25-150 mg/L and a congo red concentration of 100-250 mg/L. The results of the study demonstrate that an increase in coagulant dose results in enhanced treatment performance, reaching a point of saturation where performance declines or stabilizes. Similarly, elevated initial Congo red concentrations also influence the effectiveness of higher coagulation. The removal of congo red dye with the effect of coagulant dose and initial concentration of congo red resulted in a percent removal of up to 99.9% at a coagulant concentration of 150 mg/L and a congo red concentration of 250 mg/L.*

**Keywords:** *coagulation-flocculation, congo red, mud crab*

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara maritim yang kaya akan keanekaragaman hayati. Salah satu keanekaragaman hayati yang ada di Indonesia adalah kepiting bakau (*Scylla serrata*). Kepiting bakau merupakan salah biota yang berperan sebagai sumber nutrisi dan mineral dan penyedia makanan alami bagi beberapa biota di perairan

(Aprilia *et al.*, 2022). Selain itu, kepiting bakau dimanfaatkan sebagai sumber makanan pada rumah tangga dan rumah makan. Komponen daging merupakan komponen yang sering dikonsumsi oleh manusia sedangkan cangkang kepiting sering tidak dimanfaatkan, memiliki nilai jual yang rendah dan menjadi timbulan limbah padat. Disisi lain, limbah cangkang mengandung senyawa aktif seperti protein, mineral dan kitin (Mubarak *et al.*, 2021; Rahayu *et al.*, 2022). Cangkang kepiting bakau mampu untuk menghasilkan kitin hingga 16,8% dan kitosan berhasil disintesis hingga 84,73% melalui proses deasetilisasi. Hal ini menunjukkan cangkang kepiting bakau memiliki potensi menjadi sumber kitosan dan memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan sumber kitin lainnya seperti kepiting, udang dan sotong (Hakimah Narudin *et al.*, 2020). Sintesis kitosan dari kitin merupakan salah satu metode yang dapat dipilih untuk mereduksi timbulan limbah padat dan meningkatkan nilai jual dari cangkang kepiting bakau (Kumari *et al.*, 2017; Wahab *et al.*, 2023). Salah satu manfaat dari kitosan adalah perannya sebagai koagulan guna mereduksi senyawa berbahaya yang ada di badan air (Setiawan *et al.*, 2020).

Koagulan merupakan agen pemisah yang biasa digunakan dalam proses koagulasi dan flokulasi. Metode ini banyak digunakan untuk mereduksi parameter pencemar karena murah, menggunakan energi yang rendah, dan teknologi pengolahan air yang simpel dan handal (Ehteshami *et al.*, 2015; Siswoyo *et al.*, 2023). Proses ini umumnya menggunakan koagulan kimia seperti tawas ( $Al_2(SO_4)_3$ ), poli aluminium klorida, dan besi(III) klorida ( $FeCl_3$ ) (Sinha *et al.*, 2004). Isu lingkungan menjadi salah satu sisi negatif dari penggunaan koagulan kimia karena senyawa-senyawa tersebut tidak mudah untuk didegradasi. Penggunaan koagulan dari bahan alam yang berasal dari limbah tanaman atau hewan menjadi salah satu solusi guna mereduksi dampak yang dihasilkan oleh koagulan kimia.

Koagulan alami memiliki sifat yang mudah untuk didegradasi, menghasilkan lumpur yang lebih minim dibandingkan dengan koagulan kimia dan memiliki sifat yang tidak berbahaya bagi biota di air (Agarwal & Saini, 2022; Jebakumar Immanuel Edison *et al.*, 2020; Kristianto *et al.*, 2018). Kitosan dapat digunakan untuk agen pereduksi untuk beberapa parameter pencemar dalam air salah satunya adalah zat warna (Hossain & Hossain, 2020; Mahmoodi *et al.*, 2011). Salah satu zat warna adalah kongo merah yang merupakan zat pewarna azo asam yang biasanya berasal dari industri tekstil, makanan, kertas, kulit dan karpet. Zat warna memiliki kecenderungan untuk sukar untuk didegradasi oleh mikroba, memiliki resistensi yang tinggi terhadap zat pengoksidasi dan bersifat racun bagi ekosistem (Gajera *et al.*, 2022; Khan & Malik, 2018). Kongo merah yang mencemari badan air dapat mengakibatkan gangguan kesehatan seperti sesak napas, diare, dan muntah (You *et al.*, 2018). Regulasi Eropa No.1907/2006 mengenai pendaftaran, evaluasi, otorisasi, dan pembatasan bahan kimia membatasi konsentrasi kongo merah sebesar 30 ppm. Hal ini mendorong munculnya tantangan dalam mereduksi zat warna di badan air sehingga dampaknya di lingkungan dapat dimitigasi dan dikendalikan. Salah satu teknologi yang dapat digunakan guna mereduksi kongo merah adalah koagulasi dan flokulasi. Beberapa peneliti terdahulu telah menganalisa kinerja dari kitosan guna mereduksi kongo merah. Penyisihan kongo merah dipengaruhi oleh jenis koagulan, komposisi, sifat zat (Issahaku *et al.*, 2023). Kitosan mampu untuk mereduksi kongo merah hingga 94,5% pada pH 4, dosis koagulan 25 mg/L dan waktu flokulasi selama 60 menit (Patel & Vashi, 2012). Penelitian lainnya menunjukkan bahwa kitosan mampu untuk mereduksi kongo merah hingga 98% pada pH 4 dan waktu pengendapan 40 menit (Ruth Olubukola Ajoke *et al.*, 2021).

Pada penelitian ini, kami mengevaluasi potensi dari kitosan berbasis cangkang kepiting bakau dan kinerjanya dalam proses koagulasi dan flokulasi menggunakan metode *jar test*. Dosis koagulan dan konsentrasi kongo merah menjadi parameter operasi dalam proses koagulasi dan flokulasi. Dosis koagulan memegang peran kunci dalam proses yang dapat mempengaruhi hasil akhir proses. Dosis yang terlalu rendah dapat menimbulkan proses yang tidak layak namun jika terlalu tinggi akan berakibat terjadinya proses yang tidak optimum (Maria *et al.*, 2020). Penelitian ini diharapkan dapat menjadi suatu panduan dalam pemanfaatan limbah cangkang kepiting bakau sebagai agen pereduksi zat warna dan meningkatkan nilai ekonomi dari cangkang kepiting bakau guna menyokong kehidupan yang berkelanjutan.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan seperti HCL 37% (Smart lab), NaOH (Merck),  $C_3H_6O$  (SAP Chemical),  $C_2H_6O$ ,  $CH_3COOH$  (SAP Chemical),  $I_2-KI$  (SAP Chemical),  $H_2SO_4$  98% (SAP Chemical) dan  $AgNO_3$  (Merck). Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah seperangkat alat *jar test*. Serangkaian alat ditunjukkan *jar test* pada Gambar 1.

### 2.2. Persiapan Sampel

Cangkang kepiting bakau dicuci, dikeringkan dan direduksi ukurannya hingga 100 mesh. Cangkang kepiting bakau dapat dikonversi dari kitin menjadi kitosan setelah melewati beberapa tahapan yaitu tahap demineralisasi, tahap deproteinasi dan tahap deasetilasi. Pada tahap demineralisasi, cangkang kepiting bakau dilarutkan dalam larutan HCl 1N dengan rasio sampel pelarut sebesar 1:15 (b/v). Tahapan demineralisasi dilaksanakan dalam pengaduk magnet dengan kecepatan 150 rpm selama 60 menit, disaring, dicuci menggunakan akuades dan dikeringkan. Hasil tahap demineralisasi dilanjutkan ke tahap deproteinasi menggunakan larutan NaOH 3,5% dengan rasio sampel pelarut sebesar 1:10 (b/v). Tahap ini dilaksanakan dalam pengaduk magnet dengan kecepatan 150 rpm selama 120 menit, disaring, dicuci menggunakan akuades dan dikeringkan. Hasil tahap deproteinasi dilarutkan dengan larutan NaOH 50% dengan rasio sampel pelarut sebesar 1:20 (b/v). Tahap deasetilasi dilaksanakan dalam pengaduk magnet dengan kecepatan 150 rpm selama 120 menit, disaring, dicuci menggunakan akuades dan dikeringkan. Hasil dari tahap deasetilasi adalah kitosan yang digunakan sebagai koagulan untuk mereduksi konsentrasi parameter zat warna kongo merah.



Gambar-1. Serangkaian Alat Jar Test

### 2.3. Proses Koagulasi dan Flokulasi

Penelitian ini menggunakan koagulasi dan flokulasi guna mereduksi zat pewarna kongo merah. Serangkaian alat *jar test* digunakan untuk pengujian merujuk pada SNI 19-6449-2000 mengenai pengujian koagulasi dan flokulasi menggunakan *jar test*. Dosis koagulan (25-150 mg/L) dan konsentrasi awal kongo merah (100-250 mg/L) digunakan untuk mengevaluasi kinerja dari sistem. Koagulan kitosan dimasukkan kedalam wadah yang bersisi larutan pewarna kongo merah. Proses dijalankan dengan pengadukan cepat dengan kecepatan putar sebesar 150 rpm selama 2 menit. Proses ini dilanjutkan dengan pengadukan lambat selama 15 menit dengan kecepatan 30 rpm. Sampel didiamkan selama 30 menit dan dilakukan pengukuran konsentrasi pewarna kongo merah. Konsentrasi kongo merah diuji menggunakan Spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 497 nm (Bin Mobarak *et al.*, 2023). Besar efektivitas penyisihan kongo merah dapat dicari dari persamaan berikut

$$\% \text{Penyisihan} = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana  $C_{awal}$  merujuk pada konsentrasi awal kongo merah dalam satuan ppm dan  $C_{akhir}$  merujuk pada konsentrasi akhir kongo merah dalam satuan ppm.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Efek Dosis Koagulan dan Konsentrasi Awal Kongo Merah

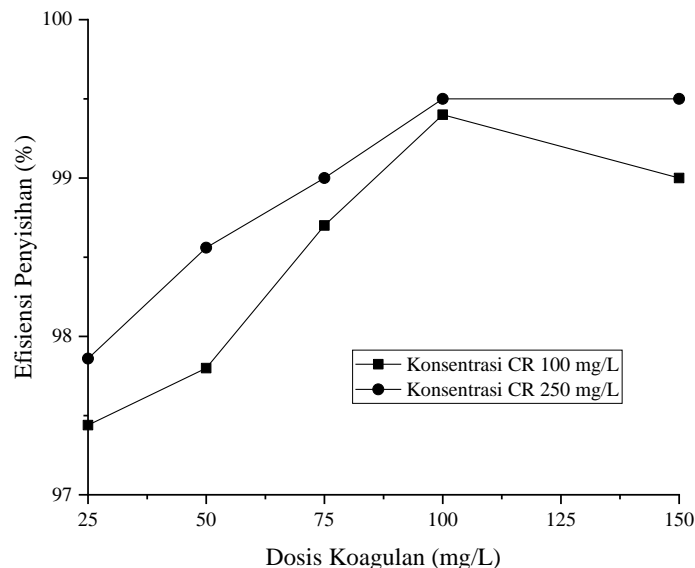
Penelitian ini menerapkan teknologi koagulasi-flokulasi dalam mereduksi parameter pencemar zat warna. Kitosan yang berasal dari cangkang kepiting bakau (*Scylla serrata*) digunakan sebagai koagulan alam. Variasi dosis koagulan dan konsentrasi awal kongo merah digunakan untuk mengevaluasi kinerja dari sistem.

Kitosan merupakan produk deasetilasi dari kitin. Struktur kitosan yang baik memiliki derajat deasetilasi yang penuh. Berdasarkan hasil dari penelitian ini, derajat deasetilasi yang didapatkan sebesar 74%. Derajat deasetilasi kitosan komersial biasanya lebih tinggi dari 55% (Wang & Zhuang, 2022). Semakin tinggi derajat deasetilasi kitosan maka interaksi ikatan hidrogen dan ion akan semakin kuat, sehingga menyebabkan gugus asetil menjadi rendah. Derajat deasetilasi dapat meningkat ketika terjadi pengurangan gugus asetamida,

sehingga proses hidrolisis juga akan meningkat. Kitosan bermuatan positif karena disebabkan lepasnya gugus asetil dari kitosan, sehingga mampu mengikat senyawa bermuatan negatif seperti zat warna kongo merah (Setha *et al.*, 2019).

Kitosan digunakan sebagai koagulan alami dalam proses koagulasi-flokulasi dalam mereduksi parameter pencemar zat warna. Dosis koagulan kitosan adalah salah satu faktor yang penting yang mempengaruhi efektivitas proses koagulasi. Gambar 2 menunjukkan hasil yang diperoleh untuk pengaruh dosis koagulan dan konsentrasi awal kongo merah terhadap efisiensi penyisihan.

Aglomerasi dan destabilisasi koloid terlihat lebih baik saat dosis 100-150 mg/L. Hubungan antara dosis koagulan dan proses koagulasi dibagi dalam empat zona, yaitu sebagai berikut: Zona 1; koagulan ditemukan dalam jumlah sedikit sehingga tidak mencukupi untuk destabilisasi koloid, Zona 2; terjadi jika koagulan ditambahkan dengan jumlah yang cukup untuk memungkinkan terjadinya proses destabilisasi, Zona 3; Konsentrasi koagulan yang berlebihan dapat menyebabkan pembalikan muatan dan destabilisasi partikel, dan Zona 4; Saturasi berlebih dengan endapan yang menjebak partikel koloid dan menghasilkan koagulasi sapan yang sangat efektif (El-taweel *et al.*, 2023). Hal ini menegaskan hasil beberapa penelitian lain bahwa peningkatan dosis koagulan meningkatkan kinerja pengolahan hingga kejenuhan aglomerasi tercapai, di mana kinerja mulai menurun atau stabil (Precious Sibiya *et al.*, 2021).



**Gambar-2.** Korelasi antara konsentrasi awal kongo merah dan dosis koagulan kitosan terhadap persen penyisihan kongo merah

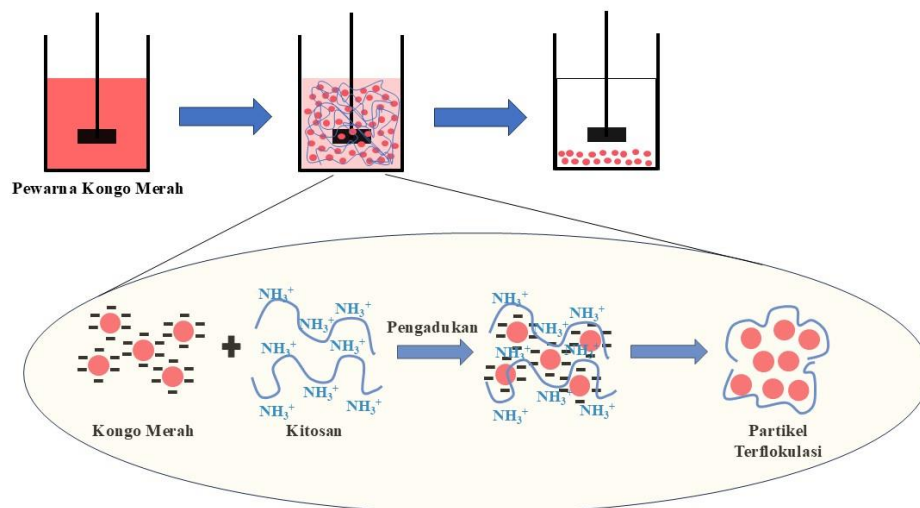
Selain dosis koagulan kitosan, konsentrasi awal kongo merah juga mempengaruhi efektivitas proses koagulasi. Fenomena yang terjadi pada proses koagulasi ini mendekati pada fenomena adsorpsi. Pada konsentrasi awal (konsentrasi yang lebih rendah), proses adsorpsi berlangsung lebih cepat karena interaksi antara pewarna dengan permukaan koagulan. Konsentrasi awal secara bertahap meningkat, maka efektivitas proses koagulasi juga semakin meningkat. Hal ini karena semakin tinggi konsentrasi, gaya pendorong yang semakin kuat akan mampu mengatasi hambatan perpindahan massa molekul zat warna antara fase cair dan padat (Kamaru *et al.*, 2016). Selain itu, gugus amina yang terkandung dalam kitosan memiliki peranan penting dalam penurunan kongo merah melalui proses koagulasi (Jawad *et al.*, 2020; Malek *et al.*, 2020; Rahali *et al.*, 2020). Konsentrasi yang semakin meningkat menunjukkan kecenderungan efisiensi yang cenderung stabil dan memiliki potensi untuk mengalami penurunan nilai efisiensi. Hal ini diakibatkan karena proses koagulasi telah memasuki fase restabilisasi sehingga efisiensi penyisihan proses koagulasi mengalami penurunan (Daud *et al.*, 2023).

### 3.2. Perbandingan Beberapa Penelitian dan Mekanisme Proses

Kitosan telah menjadi banyak perhatian selama 20 tahun terakhir dalam banyak aplikasi pengolahan limbah untuk koagulan. Kitosan memiliki karakteristik fisiko-kimia, stabilitas kimia, reaktivitas yang tinggi dan

selektivitasnya terhadap polutan, sehingga dianggap sebagai alternatif yang menarik dalam proses pengolahan (Ruth Olubukola Ajoke *et al.*, 2021). Berdasarkan hasil penelitian ini, dosis koagulan dan konsentrasi awal kongo merah sebanding dengan efisiensi penyisihan. Hasil ini sejalan dengan yang dilakukan Ruth Olubukola Ajoke *et al.*, (2021) bahwa penghilangan pewarna dari larutan meningkat dengan peningkatan dosis kitosan untuk setiap konsentrasi pewarna. Selain itu, persentase pewarna yang dihilangkan meningkat dengan peningkatan konsentrasi pewarna awal. Patel & Vashi, (2012) melakukan penelitian pengaruh dosis koagulan terhadap efisiensi penyisihan kongo merah, menunjukkan bahwa terjadi penghilangan kongo merah secara terus-menerus dengan peningkatan dosis koagulan, yang mungkin disebabkan oleh peningkatan yang substansial. Namun, jika dosis koagulan semakin tinggi, maka akan mencapai kondisi setimbang. Hal ini mungkin sebagai akibat dari resuspensi padatan pada konsentrasi ini. Lebih jauh, konsentrasi tinggi koagulan memberikan muatan positif pada permukaan partikel (potensial zeta positif), sehingga mendispersikan kembali partikel.

Mekanisme proses koagulasi-flokulasi menggunakan kitosan untuk zat warna kongo merah dijelaskan pada Gambar 3. Mekanisme antara kitosan dan pewarna, melewati tahapan sebagai berikut: kongo merah sebagai pewarna anionik memiliki permukaan muatan negatif karena adanya gugus fungsi azo dalam strukturnya (Xue *et al.*, 2023), sedangkan kitosan sebagai biokoagulan menghasilkan produk hidrolisis kationik sebagai hasil dari protonasi gugus amina (Issahaku *et al.*, 2023). Hal ini menunjukkan kemungkinan interaksi kolumbik antara pewarna kongo merah yang bersifat anionik dan molekul kitosan untuk membentuk produk netral yang tidak larut. Interaksi yang mungkin terjadi antara biokoagulan kitosan dan pewarna kongo merah dapat berupa presipitasi atau adsorpsi pewarna pada permukaan kitosan melalui interaksi kimia atau fisika. Oleh karena itu, destabilisasi partikel oleh Chitosan dapat dijelaskan oleh mekanisme netralisasi muatan (Oladoja *et al.*, 2011; Ruth Olubukola Ajoke *et al.*, 2021).



**Gambar-3.** Mekanisme proses koagulasi-flokulasi antara kongo merah dengan kitosan

#### 4. KESIMPULAN

Nilai derajat deasetilasi (DD) kitosan yang berasal dari cangkang kepiting bakau mencapai 74%. Kitosan cangkang kepiting bakau ini dapat digunakan sebagai koagulan. Proses koagulasi-flokulasi dipengaruhi oleh dosis koagulan dan konsentrasi awal kongo merah. Semakin tinggi dosis koagulan dan konsentrasi awal kongo merah, maka efisiensi penyisihan zat warna juga semakin besar. Efisiensi penyisihan pada proses koagulasi-flokulasi dengan koagulan kitosan mencapai 99,9%. Fenomena yang terjadi dengan adanya pengaruh dosis koagulan dan konsentrasi kongo merah dengan beberapa penelitian, memiliki kondisi yang sama. Sedangkan untuk mekanisme yang terjadi yaitu netralisasi muatan dengan adanya interaksi presipitasi atau adsorpsi.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terlaksana dengan baik dengan bantuan pendanaan dari DIPA Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya 2024.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Agarwal, P., & Saini, G. (2022). Use of natural coagulants (*Moringa oleifera* and *Benincasa hispida*) for volume reduction of waste drilling slurries. *Materials Today: Proceedings*, 49, 3274–3278. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.924>
- Aprilia, F., Irwanto, R., & Kurniawan, K. (2022). Keanekaragaman dan Kelimpahan Kepiting Bakau (*Scylla* spp.) pada Kawasan Ekosistem Mangrove Pesisir Timur, Kabupaten Bangka Tengah. *Biota : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 121–132. <https://doi.org/10.24002/biota.v7i2.5447>
- Bin Mobarak, M., Pinky, N. S., Chowdhury, F., Hossain, Md. S., Mahmud, M., Quddus, Md. S., Jahan, S. A., & Ahmed, S. (2023). Environmental remediation by hydroxyapatite: Solid state synthesis utilizing waste chicken eggshell and adsorption experiment with Congo red dye. *Journal of Saudi Chemical Society*, 27(5), 101690. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2023.101690>
- Daud, N. M., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Othman, A. R., & Ismail, N. 'Izzati. (2023). Coagulation-flocculation treatment for batik effluent as a baseline study for the upcoming application of green coagulants/flocculants towards sustainable batik industry. *Heliyon*, 9(6), e17284–e17284. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E17284>
- Ehteshami, M., Maghsoodi, S., & Yaghoobnia, E. (2015). Optimum turbidity removal by coagulation/flocculation methods from wastewaters of natural stone processing. *Desalination and Water Treatment*, 1–9. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1110725>
- El-taweel, R. M., Mohamed, N., Alrefaey, K. A., Husien, S., Abdel-Aziz, A. B., Salim, A. I., Mostafa, N. G., Said, L. A., Fahim, I. S., & Radwan, A. G. (2023). A review of coagulation explaining its definition, mechanism, coagulant types, and optimization models; RSM, and ANN. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 6, 100358. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2023.100358>
- Gajera, R., Patel, R. V., Yadav, A., & Labhasetwar, P. K. (2022). Adsorption of cationic and anionic dyes on photocatalytic flyash/TiO<sub>2</sub> modified chitosan biopolymer composite. *Journal of Water Process Engineering*, 49, 102993. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102993>
- Hakimah Narudin, N. A., Mahadi, A. H., Kusriani, E., & Usman, A. (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>
- Hossain, S., & Hossain, F. (2020). Chitosan: An Effective Material For Textile Waste Water Management. *International Journal of Advanced Research*, 8(5), 26–34. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/10904>
- Issahaku, I., Tetteh, I. K., & Tetteh, A. Y. (2023). Chitosan and chitosan derivatives: Recent advancements in production and applications in environmental remediation. *Environmental Advances*, 11, 100351. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100351>
- Jawad, A. H., Malek, N. N. A., Abdulhameed, A. S., & Razuan, R. (2020). Synthesis of Magnetic Chitosan-Fly Ash/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Composite for Adsorption of Reactive Orange 16 Dye: Optimization by Box–Behnken Design. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(3), 1068–1082. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01669-z>
- Jebakumar Immanuel Edison, T. N., Atchudan, R., Karthik, N., Xiong, D., & Lee, Y. R. (2020). Facile hydrothermal synthesis of nitrogen rich blue fluorescent carbon dots for cell bio-imaging of *Candida albicans*. *Process Biochemistry*, 88, 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.10.003>
- Kamaru, A. A., Sani, N. S., & Malek, N. A. N. N. (2016). Raw and surfactant-modified pineapple leaf as adsorbent for removal of methylene blue and methyl orange from aqueous solution. *Desalination and Water Treatment*, 57(40), 18836–18850. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1095122>
- Khan, S., & Malik, A. (2018). Toxicity evaluation of textile effluents and role of native soil bacterium in biodegradation of a textile dye. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(5), 4446–4458. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0783-7>
- Kristianto, H., Kurniawan, M. A., & Soetedjo, J. N. M. (2018). Utilization of Papaya Seeds as Natural Coagulant for Synthetic Textile Coloring Agent Wastewater Treatment. *International Journal on*

- Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(5), 2071.  
<https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.5.3804>
- Kumari, S., Kumar Annamareddy, S. H., Abanti, S., & Kumar Rath, P. (2017). Physicochemical properties and characterization of chitosan synthesized from fish scales, crab and shrimp shells. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 1697–1705.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.04.119>
- Mahmoodi, N. M., Salehi, R., Arami, M., & Bahrami, H. (2011). Dye removal from colored textile wastewater using chitosan in binary systems. *Desalination*, 267(1), 64–72.  
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.09.007>
- Malek, N. N. A., Jawad, A. H., Abdulhameed, A. S., Ismail, K., & Hameed, B. H. (2020). New magnetic Schiff's base-chitosan-glyoxal/fly ash/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> biocomposite for the removal of anionic azo dye: An optimized process. *International Journal of Biological Macromolecules*, 146, 530–539.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.020>
- Maria, A., Mayasari, E., Irawati, U., & Zulfikurrahman. (2020). Comparing the effectiveness of chitosan and conventional coagulants for coal wastewater treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 980(1), 012077  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/980/1/012077>
- Mubarak, M. F., Ragab, A. H., Hosny, R., Ahmed, I. A., Ahmed, H. A., El-Bahy, S. M., & El Shahawy, A. (2021). Enhanced Performance of Chitosan via a Novel Quaternary Magnetic Nanocomposite Chitosan/Grafted Halloysitenanotubes@ZnyFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> for Uptake of Cr (III), Fe (III), and Mn (II) from Wastewater. *Polymers*, 13(16), 2714  
<https://doi.org/10.3390/polym13162714>
- Oladoja, N. A., Aliu, Y. D., & Ofomaja, A. E. (2011). Evaluation of snail shell as a coagulant aid in the alum precipitation of aniline blue from aqueous solution. *Environmental Technology*, 32(6), 639–652.  
<https://doi.org/10.1080/09593330.2010.509868>
- Patel, H., & Vashi, R. T. (2012). Removal of Congo Red dye from its aqueous solution using natural coagulants. *Journal of Saudi Chemical Society*, 16(2), 131–136.  
<https://doi.org/10.1016/j.jscs.2010.12.003>
- Precious Sibiya, N., Rathilal, S., & Kweiner Tetteh, E. (2021). Coagulation Treatment of Wastewater: Kinetics and Natural Coagulant Evaluation. *Molecules*, 26(3), 698  
<https://doi.org/10.3390/molecules26030698>
- Rahali, A., Riazi, A., Moussaoui, B., Boucherdoud, A., & Bektaş, N. (2020). Decolourisation of methylene blue and congo red dye solutions by adsorption using chitosan. *Desalination and Water Treatment*, 198, 422–433  
<https://doi.org/10.5004/dwt.2020.26093>
- Rahayu, A. P., Islami, A. F., Saputra, E., Sulmartiwi, L., Rahmah, A. U., & Kurnia, K. A. (2022). The impact of the different types of acid solution on the extraction and adsorption performance of chitin from shrimp shell waste. *International Journal of Biological Macromolecules*, 194, 843–850.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.137>
- Ruth Olubukola Ajoke, A., Asabe Mercy, M., & Emmanuel Alhassan, K. (2021). Efficacy of Chitosan as a Coagulant Aid to Alum Precipitation of Congo Red In Wastewater. *Academic Journal of Chemistry*, 62, 37–44  
<https://doi.org/10.32861/ajc.62.37.44>
- Setha, B., Rumata, F., & Br.Silaban, B. (2019). Characteristics of Chitosan from White Leg Shrimp Shells Extracted Using Different Temperature and Time of the Deasetilation Process. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 22(3), 498–507  
<https://doi.org/10.17844/jphpi.v22i3.29317>
- Setiawan, A., Yunus, C. E., Ramadani, T. A., & Mayangsari, N. E. (2020). Penggunaan Ferri Klorida dan Kitosan Cangkang Kepiting sebagai Alternatif Koagulan pada Pengolahan Air Limbah Laundry. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 13(2), 27  
<https://doi.org/10.26578/jrti.v13i2.5581>
- Sinha, S., Yoon, Y., Amy, G., & Yoon, J. (2004). Determining the effectiveness of conventional and alternative coagulants through effective characterization schemes. *Chemosphere*, 57(9), 1115–1122.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.08.012>
- Siswoyo, E., Zahra, R. N., Mai, N. H. A., Nurmianto, A., Umamura, K., & Boving, T. (2023). Chitosan of blood cockle shell (*Anadara granosa*) as a natural coagulant for removal of total suspended solids

(TSS) and turbidity of well-water. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 49(3), 283–289. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2023.04.004>

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, 101517. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101517>

Wang, J., & Zhuang, S. (2022). Chitosan-based materials: Preparation, modification and application. *Journal of Cleaner Production*, 355, 131825 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131825>

Xue, H., Gao, X., Seliem, M. K., Mobarak, M., Dong, R., Wang, X., Fu, K., Li, Q., & Li, Z. (2023). Efficient adsorption of anionic azo dyes on porous heterostructured MXene/biomass activated carbon composites: Experiments, characterization, and theoretical analysis via advanced statistical physics models. *Chemical Engineering Journal*, 451, 138735 <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.138735>

You, L., Huang, C., Lu, F., Wang, A., Liu, X., & Zhang, Q. (2018). Facile synthesis of high performance porous magnetic chitosan—Polyethylenimine polymer composite for Congo red removal. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107, 1620–1628. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.025>