

PEMANFAATAN CANGKANG KEPITING SEBAGAI ADSORBEN PADA PENGOLAHAN AIR TERCEMAR LOGAM BESI

Haryono^{1*}, Solihudin¹, Hersandy Dayu Kusuma²

¹Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Jawa Barat, Indonesia

²Program Studi Teknologi Industri Kimia, Sekolah Vokasi, Universitas Padjadjaran, Jawa Barat, Indonesia

*Penulis korespondensi: haryono@unpad.ac.id

ABSTRAK

Cangkang kepiting merupakan salah satu jenis limbah dari pemanfaatan komoditas pangan perairan. Oleh karena itu akan mengakibatkan pencemaran lingkungan jika tidak dikelola secara optimal. Salah satu cara pengelolaan limbah cangkang kepiting adalah pemanfaatan limbah tersebut sebagai bahan baku dalam pembuatan kitosan. Kitosan mempunyai beragam kegunaan di berbagai sektor, misalnya di sektor pengolahan air limbah. Di sektor pengolahan air limbah, khitosan merupakan material potensial sebagai adsorben atau pengikat logam berat di perairan, salah satunya adalah besi. Tujuan penelitian ini adalah memanfaatkan limbah cangkang kepiting dalam pembuatan kitosan sebagai adsorben untuk pemisahan logam besi di lingkungan air. Tahap penelitian terdiri dari pembuatan kitosan dari cangkang kepiting melalui rangkaian proses deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi; kemudian dilanjutkan dengan pengujian kitosan sebagai adsorben logam besi di lingkungan air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kitosan berhasil disintesis dari cangkang kepiting berdasarkan nilai derajat deasetilasi dari produk sintesis, yaitu sebesar 74,2%. Pengujian kitosan sebagai adsorben besi dalam lingkungan air dihasilkan, kitosan memiliki kapasitas adsorpsi maksimal terhadap ion Fe^{2+} sebesar 8,22 mg Fe^{2+} /g kitosan. Pada dosis kitosan sebanyak 0,1 % (b/v) terhadap volume air limbah, adsorpsi selama 60 menit, kitosan mampu memisahkan ion Fe^{2+} dari air tercemar logam besi sebesar 31,13%.

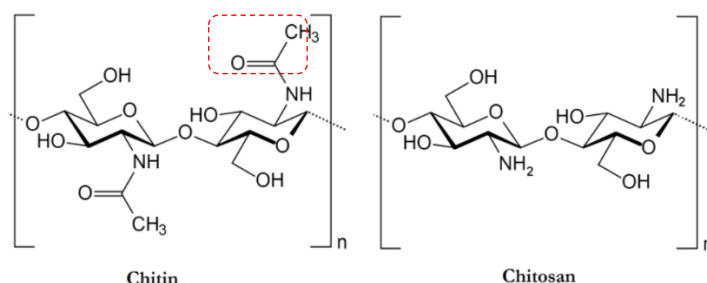
Kata kunci: adsorpsi, air limbah besi, cangkang kepiting, kitosan

1 PENDAHULUAN

Kepiting merupakan salah satu jenis sumber daya perikanan potensial di Indonesia. Selain, untuk memenuhi kebutuhan di sektor pangan di dalam negeri, kepiting telah menjadi komoditas ekspor bernilai ekonomi tinggi (Himawan *et al.*, 2023). Berdasarkan laporan dari Direktorat Jenderal Penguatan Daya Saing Produk Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia (2023), produksi kepiting Indonesia pada tahun 2021 adalah sebesar 25.865 ton atau sekitar 8,2% dari total produksi dunia, dan urutan ke-4 setelah Tiongkok, Vietnam, dan Filipina. Cangkang kepiting menyusun sekitar 50–60% dari berat keseluruhan kepiting, tergantung pada spesies dari kepiting tersebut (Fernandez-Kim, 2004). Kepiting sebagai salah satu jenis hewan tak berulang belakang dalam kelas *crustacea*, pada bagian cangkangnya tersusun dari komponen-komponen utama berupa sekitar 15-40% khitin, 20-40% protein, dan 20-50% kalsium dan magnesium karbonat (Aung *et al.*, 2018). Pemanfaatan kepiting, paling utama sebagai konsumsi pangan, akan menghasilkan limbah cangkang. Keberadaan limbah cangkang kepiting, khususnya dalam jumlah banyak, akan menimbulkan pencemaran lingkungan sebagai akibat proses pembusukan terhadap jaringan organik sisa pada cangkang kepiting, sehingga menimbulkan pencemaran udara (bau busuk) dan visual (Zhan *et al.*, 2022). Selain itu, perbedaan senyawa anorganik, khususnya kalsium dan magnesium karbonat sebagai

penyusun cangkang kepiting, karena kedua komponen kimia tersebut bersifat stabil secara kimia (Topić Popović *et al.*, 2023), mengakibatkan limbah cangkang kepiting akan teronggok di tempat-tempat pembuangan sampah.

Khitin dari cangkang kepiting dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, salah satunya sebagai bahan baku pada pembuatan khitosan (De Queiroz Antonino *et al.*, 2017). Khitosan memiliki karakteristik menguntungkan, yaitu biokompatibilitas, biodegradabilitas, non-toksistas, antimikroba, antibakteri, dan bioadhesivitas (Dash *et al.*, 2011). Khitosan dengan sifat menguntungkan tersebut, banyak diaplikasikan di berbagai sektor, seperti kosmetika, kedokteran dan farmasi, pertanian, industri makanan, dan pengolahan air limbah (Ahmed & Aljaeid, 2016; No & Meyers, 2000; Vo & Kim, 2012). Khitin dan khitosan memiliki kemiripan struktur molekul (Gambar 1). Khitosan merupakan kopolimer yang berasal dari kitin, di mana beberapa unit N-asetil-D-glukosamin mengalami deasetilasi, menghasilkan unit glukosamin (Khajavian *et al.*, 2022). Oleh karena itu, khitin, setelah diisolasi dari biomassa, selanjutnya dapat dikonversi secara kimia menjadi khitosan dengan metode deasetilasi (pelepasan gugus asetil, $-\text{COCH}_3$).



Gambar 1. Perbandingan struktur molekul khitin dan khitosan (Younes & Rinaudo, 2015) dengan gugus asetil dalam blok bergaris putus-putus merah

Logam berat merupakan salah satu polutan utama dalam air limbah industri. Logam berat seperti besi, timbal, nikel, tembaga, kromium, merkuri, dan lain-lain, dapat memiliki efek yang sangat beracun bagi organisme hidup. Logam berat memasuki rantai makanan terutama melalui tanaman dan ikan. Tanaman cenderung menyerap logam berat yang terlarut dalam air, dan logam tersebut terakumulasi di akarnya dan kemudian dipindahkan ke bagian yang dapat dimakan seperti sayuran & buah-buahan (Ahmed & Aljaeid, 2016). Kontaminasi besi secara berlebihan dalam air konsumsi dapat menyebabkan muntah, kerusakan usus, penuaan dini, radang sendi, cacat lahir, kanker, hepatitis, insomnia, sakit liver, masalah mental, rasa logam di mulut, rematik, sirosis ginjal, sembelit, sakit kepala, dan gangguan penyerapan vitamin dan mineral (Schreinemachers & Ghio, 2016). Beragam metode untuk memisahkan logam berat, termasuk besi, dari lingkungan perairan. Salah satu metode tersebut adalah adsorpsi. Adsorpsi merupakan metode pemisahan molekul-molekul adsorbat dari fase *bulk* atau medium fluida (cair atau gas) oleh permukaan padatan adsorben dengan memanfaatkan sifat afinitas antar adsorbat dan adsorben tersebut. Adsorpsi tersebut dapat terjadi berdasarkan interaksi fisika atau kimia, dengan mengikuti berbagai model adsorpsi isoterm, seperti adsorpsi Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich, dan Redlich-Peterson (Alaqrabeh, 2021).

Khitosan, secara struktur molekul, memiliki gugus-gugus fungsional yang mengandung nitrogen dan oksigen. Gugus fungsional $-\text{OH}$ dan $-\text{NH}_2$ pada khitosan dapat mengikat ion-ion logam (Rostami & Khodaei, 2024), termasuk ion besi. Namun demikian, kemampuan khitosan sebagai adsorben juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lainnya, seperti karakteristik fisik adsorben (ukuran partikel, luas permukaan spesifik, distribusi ukuran pori, dan volume pori), kondisi medium fluida (pH dan suhu), dan kondisi operasi adsorpsi (rasio antar adsorben dan adsorbat, waktu, dan kecepatan agitasi) (Ahmed & Aljaeid, 2016; Chiou, 2002). Penelitian ini

bertujuan untuk mengolah limbah cangkang kepiting menjadi khitosan, dan menentukan kinerja serta karakteristik khitosan yang dihasilkan tersebut sebagai adsorben pada adsorpsi ion besi dalam medium air.

2 METODE

2.1 Ekstraksi Khitin dari Cangkang Kepiting

2.1.1 Preparasi Cangkang Kepiting

Cangkang kepiting bakau (*Scylla serrata*) yang diperoleh sebagai limbah dari rumah/warung makan *seafood* di Bandung, pada tahap awal dicuci bersih dengan air kran. Cangkang kepiting bersih kemudian dikeringkan dengan paparan panas sinar matahari semua air bebasnya menguap. Cangkang kepiting kering diperkecil ukurannya dengan mortar porselin. Untuk memperoleh serbuk cangkang kepiting dengan ukuran relatif seragam, serbuk cangkang kepiting diayak dengan ayakan berukuran 50 mesh. Serbuk cangkang kepiting kering ukuran lolos 50 mesh ditampung sebagai produk pengayakan.

Pada tahap selanjutnya, serbuk cangkang kepiting lolos 50 mesh dikeringkan lebih lanjut untuk lebih menyeragamkan kadar airnya. Pengeringan dilakukan di dalam oven (ThermoFisher Scientific, Waltham-USA) pada suhu 105 °C selama 60 menit. Setelah pengeringan, serbuk cangkang kepiting didinginkan sampai suhu ruang di dalam desikator dengan media silika gel sebagai penyerap uap air.

2.1.2 Demineralisasi Cangkang Kepiting

Tahap demineralisasi dimaksudkan untuk menghilangkan komponen kalsium dan/magnesium karbonat yang terdapat dalam cangkang kepiting. Demineralisasi dilakukan di bejana dalam bentuk labu gelas erlenmyer leher tiga (Pyrex®, USA). Serbuk cangkang kepiting dicampurkan dengan larutan asam khlorida (HCl) 3,0 M (Merck, Jerman) dengan rasio 1:10 (b/v) di dalam bejana demineralisasi. Campuran direaksikan pada suhu 70 °C selama selama 90 menit.

Pada akhir reaksi, campuran selanjutnya disaring dengan kertas saring Whatman no. 40 (ukuran pori 8 µm). Residu dari penyaringan sebagai produk yang diinginkan, kemudian dicuci dengan akuades sampai dicapai air hasil pencucian bersifat netral (pH sekitar 7,0). Residu netral (cangkang kepiting terdemineralisasi) dikeringkan di dalam oven pada suhu 105 °C selama 2 jam, lalu dilakukan analisis kadar abu berdasarkan SNI 01-2354.1-2006 untuk menentukan keberadaan mineral tersisa di dalam cangkang kepiting.

2.1.3 Deproteinasi Cangkang Kepiting

Serbuk cangkang kepiting terdemineralisasi selanjutnya dilakukan penghilangan kandungan protein di dalam tahap deproteinasi. Prosedur deproteinasi dilakukan dengan mereaksikan antara serbuk cangkang kepiting terdemineralisasi dengan larutan natrium hidroksida (NaOH) 0,75 M (Merck, Jerman). Deproteinasi dilakukan antara cangkang kepiting terdemineralisasi dengan larutan NaOH pada rasio 1:10 (b/v). Reaksi deproteinasi diselenggarakan pada suhu 60 °C selama 90 menit.

Campuran pada akhir deproteinasi disaring (media saring kertas Whatman no. 40), diambil residunya, kemudian residu dicuci dengan akuades sampai bersifat netral (pH sekitar 7,0). Residu netral (cangkang kepiting terdemineralisasi dan terdeproteinasi) selanjutnya dikeringkan di dalam oven pada suhu 105 °C selama 2 jam. Untuk menentukan kadar protein tersisa di dalam residu tersebut, lalu dilakukan analisis kadar protein dengan metode Kjeldahl berdasarkan metode menurut SNI 01-2354.4-2006.

2.2 Deasetilasi Khitin dari Cangkang Kepiting menjadi Khitosan

Cangkang kepiting setelah diminimalisasikan kandungan mineral dan proteinnya, selanjutnya dapat diasumsikan sebagai khitin cangkang kepiting, dilakukan tahap deasetilasi. Pada tahap ini, khitin cangkang kepiting direkasikan dengan larutan NaOH 10 M (Merck, Jerman) pada rasio 1:15 (b/v), di suhu 80 °C selama 90 menit.

Pada akhir reaksi, padatan dari campuran yang merupakan khitosan, dipisahkan dari fase larutan dengan penyaringan. Residu (khitosan) selanjutnya dicuci dengan akudes sampai air hasil pencucian ber-pH sekitar 7,0. Khitosan cangkang kepiting kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 105 °C selama 2 jam, didinginkan di dalam desikator, dan dikarakterisasi gugus-gugus fungsinya dengan instrumen analisis spektrometer FTIR, *Fourier Transform Infra-Red* (Shimadzu tipe: IRPrestige 21, Jepang) pada bilangan gelombang 600-4000 cm⁻¹. Berdasarkan spektrogram FTIR tersebut, selanjutnya dapat ditentukan pula derajat deasetilasi (DD) pada khitosan menurut Persamaan (1) (Vallejo-Domínguez *et al.*, 2021).

$$\%DD = \left[1 - \frac{A_{1655}}{A_{3450}} \times \frac{1}{1,33} \right] \times 100\% \quad (1)$$

dengan A₁₆₅₅ dan A₃₄₅₀ masing-masing adalah absorbansi pada bilangan gelombang 1655 cm⁻¹ (gugus amida) dan 3450 cm⁻¹ (gugus hidroksil), dan faktor 1,33 adalah nilai dari A₁₆₅₅/A₃₄₅₀ untuk khitosan yang terdeasetilasi sempurna, sedangkan A = log (P₀/P).

2.3 Pengujian Karakteristik Adsorpsi Khitosan dari Cangkang Kepiting terhadap Air Tercemar Ion Besi (II)

Air tercemar ion besi (II), ion Fe²⁺, disiapkan dengan menimbang FeSO₄·7H₂O (Sigma-Aldrich, Jerman) seberat 4,96 gram, selanjutnya dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL (Pyrex Pyrex®, USA) dan dilarutkan dengan akuabides sehingga diperoleh larutan Fe²⁺ dengan kadar 1000 ppm. Larutan Fe²⁺ dengan kadar 1000 ppm diencerkan sampai kadarnya menjadi 5 ppm.

Serbuk khitosan dari cangkang kepiting sebagai adsorben sebanyak 0,1% (%b/v) terhadap larutan Fe²⁺ dimasukkan ke dalam bejana adsorpsi. Campuran serbuk khitosan dan larutan Fe²⁺ di dalam bejana adsorpsi kemudian dikontakkan dengan alat *shaker* selama 30 menit pada suhu ruang. Tahap adsorpsi tersebut diulang dengan variasi kadar larutan Fe²⁺ sebesar 10, 15, dan 20 ppm, serta variasi waktu adsorpsi selama 30, 60, 90, dan 120 menit. Kadar konsentrasi larutan Fe²⁺ dari air tercemar setelah adsorpsi dianalisis dengan instrumen AAS, *Atomic Absorption Spectrophotometer* (ThermoFisher Scientific model ICE-3500, Waltham-USA).

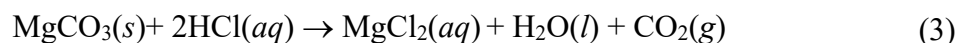
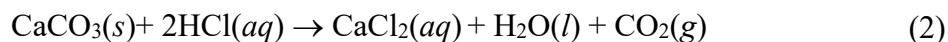
Karakteristik adsorpsi ion Fe²⁺ dalam larutan berair oleh adsorben khitosan dari cangkang kepiting dipelajari dengan model atau persamaan matematika yang mewakili 3 model adsorpsi isoterm, yaitu: adsorpsi Langmuir, Freundlich, dan Redlich-Peterson.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

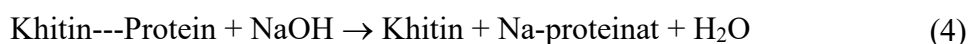
3.1 Hasil Preparasi Khitin dari Cangkang Kepiting

Khitin dari cangkang kepiting pada prinsipnya dilakukan untuk memisahkan komponen-komponen pengotor khitin pada cangkang kepiting, yaitu garam-garam karbonat (khususnya CaCO₃ dan MgCO₃) dan protein. Metode pemisahan untuk memisahkan pengotor-pengotor tersebut adalah ekstraksi padat-cair atau *leaching* dengan reaksi. Pada tahap demineralisasi, CaCO₃ dan MgCO₃ sebagai pengotor akan bereaksi dengan HCl, kemudian melarut dalam bentuk CaCl₂ atau MgCl₂, sedangkan CO₂ akan melepaskan diri dari fase larutan dalam bentuk

gas (Younes & Rinaudo, 2015). Reaksi pada demineralisasi ditunjukkan pada Persmaan (2) dan (3). Kadar abu dari cangkang kepiting setelah tahap demineralisasi ditampilkan pada Tabel 1.



Pengotor protein, pada tahap deproteinasi, bereaksi dengan NaOH membentuk larutan natrium proteinat. Protein bersifat melarut dalam larutan basa kuat, seperti NaOH. Protein terdapat di dalam khitin tidak terikat secara kimia, namun terikat dengan gaya intermolekuler, sehingga pada tahap deproteinasi, ujung-ujung rantai protein yang bermuatan negatif pada matriks khitin akan bereaksi dengan basa sehingga membentuk garam amino (Lyon *et al.*, 2022). Persamaan (4) menampilkan persamaan reaksi antara protein dengan NaOH. Kadar protein dari cangkang kepiting setelah tahap demineralisasi ditampilkan pada Tabel 1.



Tabel 1. Kadar abu dan protein dari cangkang kepiting setelah tahap preparasi khitin

Parameter Uji	Nilai (%)
Kadar abu	0,23
Kadar protein	24,15

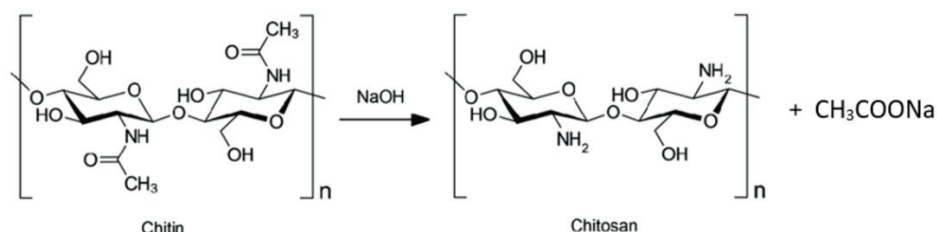
Data pada Tabel 1, kadar abu pada khitin sebanyak 0,23% menunjukkan bahwa tahap demineralisasi telah berhasil memisahkan pengotor mineral sebesar 99,34%, dimana kadar abu awal pada cangkang kepiting adalah 34,78%. Namun untuk kadar protein pada khitin masih relatif tinggi, yaitu 24,15% atau jika sebagai kadar N adalah 3,86%. Jika dibandingkan dengan syarat mutu khitin menurut SNI (SNI 7948:2013), kadar abu dan protein pada khitin dari cangkang kepiting pada penelitian ini sudah memenuhi syarat. Standar mutu khitin menurut SNI 7948:2013 adalah kadar abu $\leq 5\%$ dan kadar nitrogen $\leq 5\%$. Kadar protein pada khitin dari penelitian ini jauh lebih dari hasil penelitian Lyon *et al.* (2022), dimana kadar protein dari hasil tahap deproteinasi khitin sekitar 0,14–0,59%. Perbedaan kadar protein sangat signifikan tersebut, berdasarkan hasil kajian, disebabkan oleh perbedaan perlakuan awal terhadap biomassa sebagai sumber khitin dan metode analisis protein yang diterapkan. Pada penelitian ini digunakan analisis kadar protein dengan metode Kjeldahl, dimana metode tersebut walaupun relatif mudah dilaksanakan dan lebih murah, namun terdapat beberapa kekurangan, terutama adalah nitrogen yang teranalisis merupakan nitrogen total yang terdapat di dalam sampel uji, bukan hanya nitrogen dari protein. Oleh karena itu, kadar protein yang diperoleh dari pengujian tidak merepresentasikan kadar protein sebenarnya dari sampel uji. Pada penelitian ini diperoleh khitin sebanyak 17,55% terhadap berat kering cangkang kepiting. Perolehan khitin tersebut lebih tinggi jika dibandingkan dengan perolehan khitin dari cangkang kepiting menurut hasil penelitian Jabeen *et al.* (2023), yaitu sebesar 13,8%.

3.2 Hasil Deasetilasi Khitin dari Cangkang Kepiting menjadi Khitosan

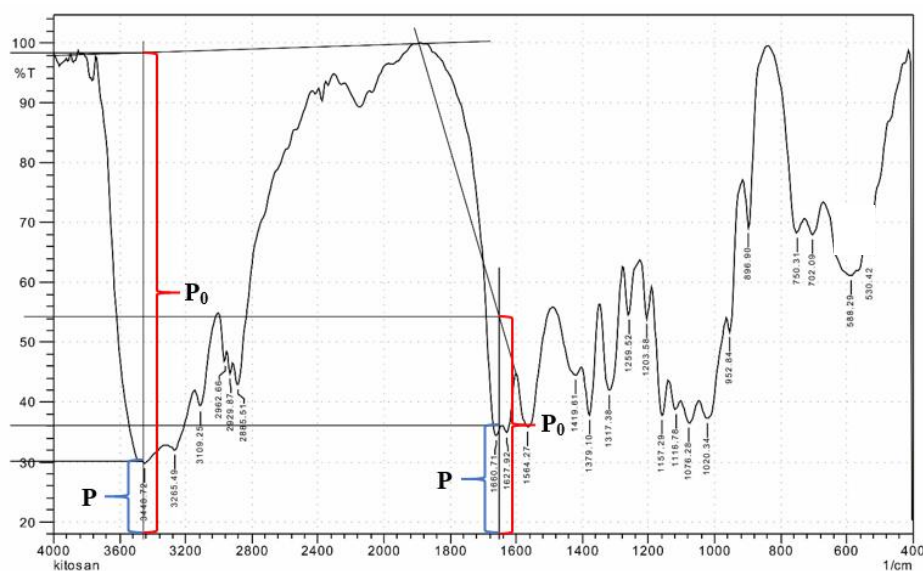
Pada tahap deasetilasi khitin dengan basa kuat dan suhu reaksi relatif tinggi dapat menyebabkan putusnnya gugus asetil dari kitin (Novikov *et al.*, 2023). Pada tahap ini, gugus asetil yang dimiliki kitin akan bereaksi dengan atom nitrogen untuk membentuk gugus amina (Boulitif *et al.*, 2023). Reaksi pada tahap deasetilasi khitin dengan NaOH ditunjukkan pada

Gambar 2. Gugus amina tersebut kemudian akan sangat berperan penting pada pengikatan ion logam ketika khitosan diaplikasikan sebagai adsorben (No & Meyers, 2000). Khitosan dari tahap deasetilasi khitin dari cangkang kepiting ini, setelah dilakukan pencucian, pengeringan, dan pendinginan, selanjutnya dikarakterisasi gugus-gugus fungsinya dengan spektrofotometer FTIR untuk menentukan persen derajat deasetilasinya (Vallejo-Domínguez *et al.*, 2021), sebagai suatu parameter untuk mengindikasikan, berapa bagian gugus asetil pada khitin berhasil dihilangkan.

Hasil karakterisasi gugus fungsi terhadap khitin dari cangkang kepiting ditampilkan pada Gambar 3. Kemudian berdasarkan spektrum serapan dari hasil karakterisasi dengan FTIR tersebut dan dengan menggunakan Persamaan (1) diperoleh bahwa derajat deasetilasi (%DD) dari khitosan pada penelitian ini adalah sebesar 74,18%. %DD dari khitosan tersebut menunjukkan bahwa sebanyak 74,18% dari gugus asetil pada khitin dari cangkang kepiting berhasil dihilangkan untuk membentuk gugus amina pada khitosan. %DD khitosan pada penelitian ini lebih tinggi dari hasil penelitian Boultif *et al.* (2023), yaitu dengan %DD sebesar 53,33%. Berbagai faktor dapat menjadi penyebab %DD tidak optimal, diantaranya adalah karakteristik fisik khitin, seperti kristalinitas, ukuran partikel, perubahan morfologi, dan porositas khitin (Novikov *et al.*, 2023).



Gambar 2. Reaksi deasetilasi khitin menjadi khitosan dengan NaOH (Boultif *et al.*, 2023)



Gambar 3. Spektrogram serapan FTIR dari khitosan untuk penentuan A_{3450} dan A_{1655} secara grafis untuk perhitungan derajat deasetilasi dari khitosan

3.3 Uji Karakteristik Adsorpsi Fe^{2+} dengan Adsorben Khitosan dari Cangkang Kepiting

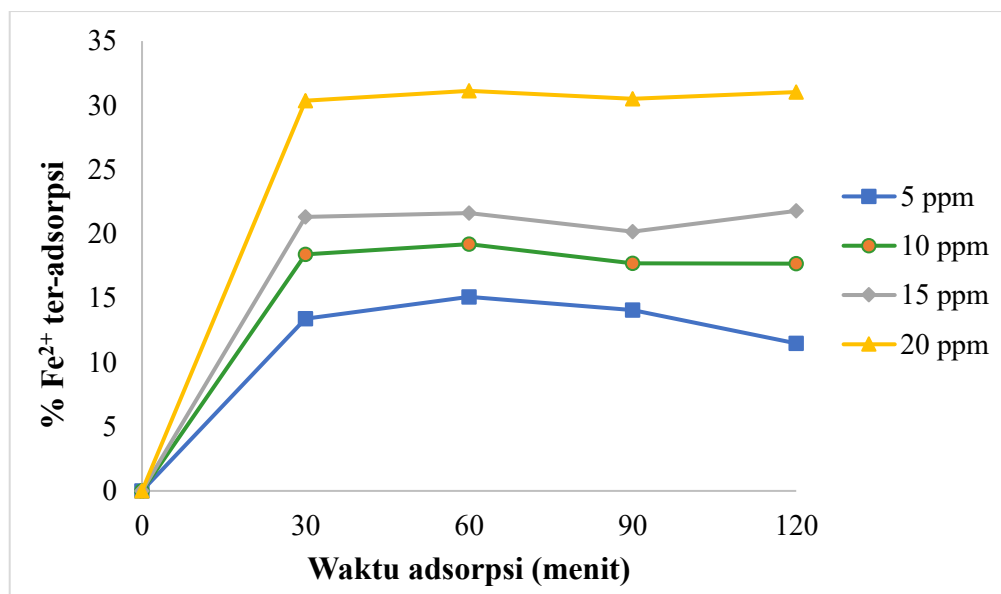
Hasil uji adsorpsi ion Fe^{2+} dalam medium air oleh khitosan pada kondisi yang dipelajari ditampilkan pada Tabel 2 dan Gambar 4. Data uji adsorpsi pada Tabel 1, terjadinya pengurangan kadar ion Fe^{2+} dalam medium air setelah proses adsorpsi membuktikan bahwa

khitosan terbukti dapat berperan sebagai adsorben ion Fe^{2+} . Sedangkan data penelitian pada Gambar 4 terdapat kecenderungan yang konsisten antara kadar awal ion Fe^{2+} dalam air tercemar dengan persentase ion Fe^{2+} teradsorpsi pada khitosan. Semakin tinggi kadar awal ion Fe^{2+} pada air tercemar, persentase ion Fe^{2+} teradsorpsi pada khitosan juga semakin meningkat. Hal tersebut terjadi karena dengan semakin meningkatnya kadar awal ion Fe^{2+} pada air tercemar, maka perbedaan konsentrasi ion Fe^{2+} antara di fase fluida dengan di fase adsorben, sebagai gaya pendorong perpindahan massa ion Fe^{2+} , akan semakin meningkat (Alaqarbeh, 2021). Sesuai Hukum I Fick tentang perpindahan massa, peningkatan gaya pendorong perpindahan massa tersebut mengakibatkan fluks perpindahan massa ion Fe^{2+} akan semakin cepat (Atkins *et al.*, 2018), sehingga pada setiap waktu lama adsorpsi, semakin banyak ion Fe^{2+} yang teradsorpsi pada permukaan khitosan.

Peristiwa agak berbeda terjadi pada hubungan antara waktu lama adsorpsi dengan persentase ion Fe^{2+} teradsorpsi. Pada Gambar 4 nampak bahwa persentase ion Fe^{2+} teradsorpsi mengalami peningkatan ketika adsorpsi dilakukan selama 30 dan 60 menit. Namun pada waktu adsorpsi lebih lama dari 60 menit, persentase ion Fe^{2+} teradsorpsi justru semakin menurun. Kecenderungan tersebut terjadi sebagai petunjuk bahwa adsorpsi telah mencapai kondisi kesetimbangan setelah adsorpsi dilaksanakan selama 60 menit.

Tabel 2. Hasil uji adsorpsi ion Fe^{2+} dalam medium air dengan khitosan (rasio khitosan/larutan $\text{Fe}^{2+} = 0,1 \text{ \%b/v}$, pada suhu ruang)

Konsentrasi Fe^{2+} Awal (ppm)	Waktu (menit)	Konsentrasi Fe^{2+} Akhir (ppm)	% Fe^{2+} Teradsorpsi
5	30	4,33	13,40
	60	4,25	15,10
	90	4,30	14,08
	120	4,43	11,48
10	30	8,16	18,41
	60	8,08	19,20
	90	8,23	17,71
	120	8,23	17,68
15	30	11,80	21,31
	60	11,76	21,63
	90	11,98	20,17
	120	11,73	21,79
20	30	13,93	30,36
	60	13,78	31,13
	90	13,90	30,51
	120	13,79	31,03



Gambar 3. Hasil uji adsorpsi ion Fe^{2+} dalam medium air dengan khitosan (rasio khitosan/larutan $\text{Fe}^{2+} = 0,1 \text{ \% b/v}$, pada suhu ruang)

Uji karakteristik adsorpsi selanjutnya adalah penentuan model adsorpsi isoterm. Model adsorpsi isoterm umum digunakan untuk mendeskripsikan mekanisme interaksi molekuler antara adsorben dengan adsorbat selama adsorpsi berlangsung. Kecocokan model adsorpsi ditentukan secara grafis dengan mengalurkan data dari variabel-variabel yang bersesuaian dengan persamaan tiap model adsorpsi isoterm yang terlinearisasi. Model isoterm adsorpsi yang dimanfaatkan sebagai pendekatan pada penelitian ini adalah model adsorpsi isoterm Langmuir, Freundlich, dan Redlich-Petterson. Pada model adsorpsi isoterm Langmuir, adsorpsi berlangsung secara *monolayer*, dengan interaksi molekuler antara adsorben dan adsorbat seringkali terjadi secara kimia. Pada model adsorpsi isoterm Freundlich, adsorpsi terjadi secara *multilayer* dan interaksi molekuler antara adsorben dan adsorbat dalam bentuk interaksi fisika (Alaqrbeh, 2021). Sedangkan model adsorpsi isoterm Redlich-Petterson menganggap kedua mekanisme pada model Langmuir dan Freundlich terjadi secara simultan.

Model adsorpsi isoterm Langmuir, Freundlich, dan Redlich-Petterson direpresentasikan dengan persamaan matematik masing-masing. Persamaan matematik dari setiap model adsorpsi tersebut; Langmuir, Freundlich, dan Redlich-Petterson; dalam bentuk terlinearisasi secara berturut-turut ditampilkan pada Persamaan (5), (6), dan (7).

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{Q_m K_L} \frac{1}{C_e} \quad (5)$$

$$\ln Q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (6)$$

$$\ln \left(K_R \frac{C_e}{Q_e} - 1 \right) = b_R \ln(C_e) + \ln a_R \quad (7)$$

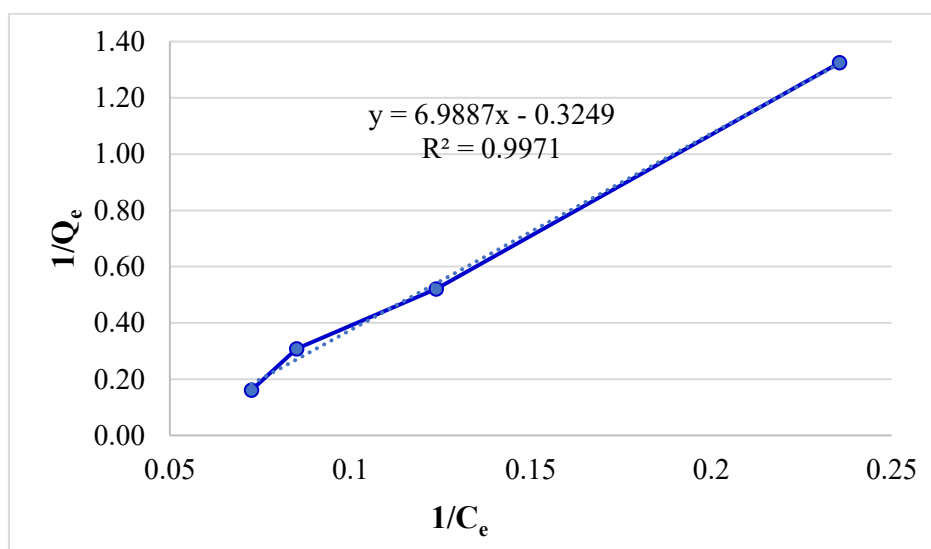
dengan Q_e , C_e , Q_m , K_F , n , K_R & b_R , dan a_R berturut-turut adalah kapasitas adsorpsi pada kondisi setimbang (mg/g), konsentrasi adsorbat dalam kondisi setimbang (mg/L), kapasitas adsorpsi maksimum dari adsorben (mg/g), konstanta Freundlich, eksponensial Freundlich, konstanta Redlich-Petterson, dan eksponensial Redlich-Petterson.

Hasil pengaluran data-data hasil uji adsorpsi isoterm pada kondisi setimbang berdasarkan Persamaan (5), (6), dan (7) diperoleh parameter-parameter model adsorpsi isoterm sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter-parameter model adsorpsi isoterm pada uji adsorpsi ion Fe^{2+} oleh khitosan

Langmuir			Freundlich			Redlich-Peterson			
R^2	Q_m	K_L	R^2	K_F	n	R^2	K_R	b_R	a_R
0,9971	3,0788	0,0465	0,9643	0,0632	1,6722	0,813	52,27	4843,05	-0,5352

Berdasarkan data hasil penelitian pada Tabel 3, dengan meninjau nilai koefisien determinasi (R^2), maka peristiwa adsorpsi ion Fe^{2+} dengan adsorben khitosan lebih sesuai dengan model adsorpsi isoterm Langmuir. Pengaluran data uji adsorpsi pada model adsorpsi isoterm Langmuir memberikan nilai R^2 terbesar. Hal tersebut menunjukkan bahwa mekanisme interaksi antara molekul Fe^{2+} sebagai adsorbat dengan molekul khitosan sebagai adsorben sesuai dengan pendekatan-pendekatan interaksi pada model adsorpsi isoterm Langmuir. Pengaluran data-data uji adsorpsi pada model adsorpsi Langmuir selanjutnya ditampilkan pada Gambar 4. Berdasarkan grafik tersebut, dengan mengacu pada Persamaan (5), dapat ditentukan kapasitas adsorpsi maksimum (Q_m) dari khitosan terhadap ion Fe^{2+} , yaitu sebesar 8,22 mg Fe^{2+} /g khitosan.



Gambar 4. Pengaluran data-data uji model adsorpsi isoterm ion Fe^{2+} pada khitosan berdasarkan model adsorpsi Langmuir terlinearisasi

4 SIMPULAN

Cangkang kepiting telah berhasil diolah menjadi khitosan melalui tahap demineralisasi dengan asam klorida, deproteinasi dengan natrium hidroksida, dan deasetilasi khitin dengan basa kuat natrium hidroksida. Khitin sebagai produk antara sebelum dikonversikan menjadi khitosan sudah memiliki mutu sesuai dengan syarat mutu menurut SNI 7948:2013. Khitosan pada penelitian ini diperoleh sebanyak 15,0% terhadap berat cangkang kepiting kering sebagai bahan baku.

Khitosan memiliki kemampuan sebagai adsorben untuk pengolahan air tercemar ion Fe^{2+} dengan kapasitas adsorpsi maksimal sebesar 8,22 mg Fe^{2+} /g khitosan. Berdasarkan uji model adsorpsi isoterm, interaksi antara ion Fe^{2+} dengan khitosan bersesuaian dengan model adsorpsi isoterm Langmuir.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, S. Z. N., Wan Salleh, W. N., Ismail, A. F., Yusof, N., Mohd Yusop, M. Z., & Aziz, F. (2020). Adsorptive removal of heavy metal ions using graphene-based nanomaterials: Toxicity, roles of functional groups and mechanisms. *Chemosphere*, 248, 126008. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126008>
- Ahmed, T., & Aljaeid, B. (2016). Preparation, characterization, and potential application of chitosan, chitosan derivatives, and chitosan metal nanoparticles in pharmaceutical drug delivery. *Drug Design, Development and Therapy*, 483. <https://doi.org/10.2147/DDDT.S99651>
- Alaqarbeh, M. (2021). Adsorption Phenomena: Definition, Mechanisms, and Adsorption Types: Short Review. *RHAZES: Green and Applied Chemistry*, 13, 43–51.
- Atkins, P., de Paula, J., & Keeler, J. (2018). *Atkins' Physical Chemistry: Thermodynamics and Kinetics* (11th Edition). Bell & Bain Ltd.
- Aung, K. P., Win, S. Z., & Thu, S. L. (2018). Study on chitin extraction from crab shells waste. *International Journal of Science and Engineering Applications*, 7(11), 437–441.
- Boultif, W., Dehchar, C., Belhocine, Y., Zouaoui, E., Rahali, S., Zouari, S. E., Sbei, N., & Seydou, M. (2023). Chitosan and Metal Oxide Functionalized Chitosan as Efficient Sensors for Lead (II) Detection in Wastewater. *Separations*, 10(9), 479. <https://doi.org/10.3390/separations10090479>
- Chiou, C. T. (2002). Fundamentals of the Adsorption Theory. In *Partition and Adsorption of Organic Contaminants in Environmental Systems* (pp. 39–52). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/0471264326.ch4>
- Dash, M., Chiellini, F., Ottenbrite, R. M., & Chiellini, E. (2011). Chitosan—A versatile semi-synthetic polymer in biomedical applications. *Progress in Polymer Science*, 36(8), 981–1014. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.02.001>
- De Queiroz Antonino, R., Lia Fook, B., De Oliveira Lima, V., De Farias Rached, R., Lima, E., Da Silva Lima, R., Peniche Covas, C., & Lia Fook, M. (2017). Preparation and Characterization of Chitosan Obtained from Shells of Shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone). *Marine Drugs*, 15(5), 141. <https://doi.org/10.3390/md15050141>
- Fernandez-Kim, S.-O. (2004). *Physicochemical and functional properties of crawfish chitosan as affected by different processing protocols* [Thesis, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College]. https://doi.org/10.31390/gradschool_theses.1338
- Himawan, D., Lindawati, L., & Ratnaningsih, R. (2023). Pemetaan bidang kajian komoditas kepiting di Indonesia berdasarkan artikel jurnal ilmiah dan prosiding. *Jurnal Perpustakaan Pertanian*, 32(1), 16–28.
- Jabeen, F., Younis, T., Sidra, S., Muneer, B., Nasreen, Z., Saleh, F., Mumtaz, S., Saeed, R. F., & Abbas, A. S. (2023). Extraction of chitin from edible crab shells of *Callinectes sapidus* and comparison with market purchased chitin. *Brazilian Journal of Biology*, 83. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.246520>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. (2023). *Profil Pasar Kepiting*.
- Khajavian, M., Vatanpour, V., Castro-Muñoz, R., & Boczkaj, G. (2022). Chitin and derivative chitosan-based structures — Preparation strategies aided by deep eutectic solvents: A review. *Carbohydrate Polymers*, 275, 118702. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118702>
- Lyon, D. R., Smith, B. R., Abidi, N., & Shamshina, J. L. (2022). Deproteinization of Chitin Extracted with the Help of Ionic Liquids. *Molecules*, 27(13), 3983. <https://doi.org/10.3390/molecules27133983>
- No, H. K., & Meyers, S. P. (2000). Application of Chitosan for Treatment of Wastewaters. In G. W. Ware (Ed.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* (Vol. 163, pp. 1–27). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-6429-1_1

- Novikov, V. Yu., Derkach, S. R., Konovalova, I. N., Dolgopyatova, N. V., & Kuchina, Y. A. (2023). Mechanism of Heterogeneous Alkaline Deacetylation of Chitin: A Review. *Polymers*, 15(7), 1729. <https://doi.org/10.3390/polym15071729>
- Rostami, M. S., & Khodaei, M. M. (2024). Recent advances in chitosan-based nanocomposites for adsorption and removal of heavy metal ions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 270(2), 132386. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132386>
- Schreinemachers, D. M., & Ghio, A. J. (2016). Effects of environmental pollutants on cellular iron homeostasis and ultimate links to human disease. *Environmental Health Insights*, 10(1), 35–43.
- Topić Popović, N., Lorencin, V., Strunjak-Perović, I., & Čož-Rakovac, R. (2023). Shell Waste Management and Utilization: Mitigating Organic Pollution and Enhancing Sustainability. *Applied Sciences*, 13(1), 623. <https://doi.org/10.3390/app13010623>
- Vo, T., & Kim, S. (2012). Cosmeceutical Compounds From Marine Sources. In A. Seidel & M. Bickford (Eds.), *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* (pp. 1–17). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/0471238961.cosmkim.a01>
- Younes, I., & Rinaudo, M. (2015). Chitin and Chitosan Preparation from Marine Sources. Structure, Properties and Applications. *Marine Drugs*, 13(3), 1133–1174. <https://doi.org/10.3390/md13031133>
- Zhan, J., Lu, J., & Wang, D. (2022). Review of shell waste reutilization to promote sustainable shellfish aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 14(1), 477–488. <https://doi.org/10.1111/raq.12610>