

## PEMANFAATAN KITOSAN DARI LIMBAH CANGKANG RAJUNGAN (*Portunus pelagicus*) SEBAGAI MATERIAL ADSORPSI

Mustafa\*, R. Sufra, M. Alhanif, T. K. Putri dan L. Resmiati

Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan 35365

Corresponding author: [mustafa@tk.itera.ac.id](mailto:mustafa@tk.itera.ac.id)

**ABSTRAK** : Rajungan (*Portunus pelagicus*) merupakan komoditas kepiting dari sektor perikanan dan berperan penting dalam sektor ekspor produk perikanan Indonesia. Sebagian besar industri perikanan di Indonesia hanya memanfaatkan dagingnya sedangkan bagian lain seperti cangkang dibuang begitu saja dan menjadi limbah. Limbah cangkang rajungan yang dihasilkan menyumbang 57% dari total berat. Total ekspor daging rajungan meningkat dari 10,9 ribu ton pada 2014 menjadi 19,4 ribu ton pada 2016. Akibatnya, jumlah limbah cangkang rajungan meningkat. Serpihan cangkang kepiting mengandung 30-40% protein, 30-50% kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), dan 20-30% kitin. Kitin dapat diubah menjadi kitosan melalui proses demineralisasi, deproteinisasi, dan deasetilasi. Kitosan merupakan polimer polikationik dan dapat digunakan dalam berbagai bidang, antara lain sebagai bahan adsorpsi (penyerap). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mensintesis dan mengkarakterisasi kitosan dari limbah cangkang rajungan dengan perhitungan rendemen, pengujian kadar air dan kadar abu. Penelitian ini meliputi proses demineralisasi, deproteinisasi dan deasetilasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu dan waktu aktivasi berpengaruh nyata terhadap penurunan rendemen, kadar abu dan kadar air kitosan. Kadar air terendah dicapai sebesar 2,25% pada suhu 100°C selama 14 jam, sedangkan varian tanpa aktivasi mencapai hasil pengujian kadar air tertinggi yaitu 11,81%. Kadar abu terendah diperoleh pada suhu 80°C selama 14 jam yaitu 0,04%, dan kadar abu tertinggi diperoleh dengan 3,94% untuk varian tanpa aktivasi.

**Kata kunci** : adsorben, ekstraksi, kitin, kitosan, rajungan.

**ABSTRACT** : Rajungan (*Portunus pelagicus*) is one of the crab commodities from the fisheries sector which plays an important role in the export of Indonesian fishery products. Most of the fishing industry in Indonesia only uses the meat, while other parts such as shells are simply thrown away and become waste. The resulting crab shell waste reaches 57% of the total weight. Total exports of crab meat increased from 10.9 thousand tons in 2014 to 19.4 thousand tons in 2016. As a result, the amount of crab shell waste has increased. The crab shell waste contains 30–40% protein, 30–50% calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ), and 20–30% chitin. Chitin can be extracted into chitosan through demineralization, deproteinization and deacetylation processes. Chitosan is a polycationic polymer and can be applied in various applications, one of which is as an adsorption material (adsorbent). The purpose of this study was to characterize chitosan from crab shell waste by calculating yield, testing moisture and ash contents. In this research, demineralization, deproteinization and deacetylation processes were carried out. The results showed that increasing temperature and activation time had a significant effect on reducing the yield, ash content, and water content of chitosan. The lowest water content was obtained at 2.25% at 100°C for 14 hours, while the non-activated obtained the highest moisture content, which was 11.81%. The lowest ash content was obtained at 80°C for 14 hours, namely 0.04% and the highest ash content was obtained at 3.94% in the non-activated.

**Keywords** : adsorbent, chitin, chitosan, extraction, rajungan

### PENDAHULUAN

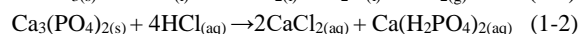
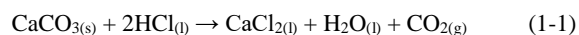
Indonesia menjadi negara maritim yang sebagian besar wilayahnya terdiri atas lautan. Perairan laut Indonesia berpeluang besar baik dari segi jenis maupun kapasitas produksinya. Rajungan (*Portunus pelagicus*) menjadi salah satu komoditas penting di

bidang ekspor hasil perikanan dan kelautan Indonesia. Pada umumnya rajungan diekspor dalam bentuk daging kemasan yang dibekukan. Sebagian besar industri di Indonesia hanya menggunakan bagian daging rajungan saja, sementara bagian lainnya (cangkang) dibuang dan menjadi limbah. Limbah yang dihasilkan mencapai 57% dari berat

keseluruhan (Budianto et al., 2019). Pada tahun 2014 jumlah ekspor daging rajungan mengalami peningkatan dari 10,9 ribu ton menjadi 19,4 ribu ton pada tahun 2016 (Blue I, Crab S, 2016). Hal ini tentu juga berdampak terhadap jumlah limbah cangkang yang dihasilkan. Cangkang hewan golongan *crustaceae sp* adalah salah satu penghasil kitin dan kitosan. Limbah cangkang rajungan memiliki kandungan mineral berupa kalsium karbonat 30–50%, protein 30–40 % dan kitin 20–30% (Husni et al., 2020). Kandungan kitin dari limbah perikanan bisa sampai 30-40%, lebih besar dari limbah sumber lainnya (Kumari & Rath, 2014). Pemanfaatan polimer sintesis dan alami sebagai media filtrasi saat ini sedang berkembang. Hal ini berhubungan dengan kemampuan polimer pada proses koagulasi dan adsorpsi (Crini et al., 2019).

Salah satu sumber polimer terbesar yang berasal dari limbah perikanan adalah kitin dan kitosan (Henggu et al., 2022). Kandungan kitin pada cangkang dan kulit hewan golongan *crustacea* bisa mencapai 40–60% (bobot kering) (Putro et al., 2014). Kitin adalah polisakarida yang dapat terurai dan non-toxic. Sementara kitosan adalah polimer yang dapat dihasilkan melalui proses deasetilasi kitin (Eko, 2018). Deasetilasi merupakan proses pelepasan gugus asetil yang ada pada kitin, menggunakan larutan basa kuat pekat berkonsentrasi tinggi pada temperatur tertentu (Bahri & Abd Rahim, 2015).

Sintesis kitosan berbahan dasar limbah cangkang rajungan terdiri dari 3 (tiga) proses, yaitu penghilangan mineral (demineralisasi), protein (deproteinasi) dan gugus asetil (deasetilasi). Deproteinasi bertujuan untuk memecah ikatan antara protein dengan kitin melalui proses pemanasan menggunakan larutan Natrium Hidroksida (NaOH) (Ayang Nurmala et al., 2018). Proses deproteinasi menghasilkan larutan kental berwarna kemerahan, sebagai indikasi bahwa protein telah terlepas dari kitin dan berikatan dengan ion natrium dalam larutan sehingga terbentuk larutan natrium proteinat. Ketika proses deproteinasi bagian ujung rantai protein (poliamida) yang bermuatan negatif akan bereaksi dengan larutan basa (NaOH) membentuk garam amino. Demineralisasi dilakukan untuk melepaskan mineral yang terkandung pada cangkang, seperti garam anorganik (Agustina & Kurniasih, 2013). Kandungan mineral tertinggi adalah kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dan kalsium fosfat ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) yang dapat larut dalam suasana asam, seperti asam klorida (HCl). Reaksi demineralisasi yang terjadi sebagai berikut (Sains et al., 2022).



Berdasarkan sifat fisik dan kimianya, kitosan merupakan polimer yang bersifat polikationik dan dapat diaplikasikan dalam banyak bidang, salah satunya sebagai material adsorpsi (adsorben) (Yan et al., 2020). Hal ini dikarenakan adanya gugus hidroksil dan amina yang terdapat di sepanjang rantai polimer kitosan (Lee et al., 2001). Kitosan mempunyai sifat dan karakteristik sebagai *biodegradable*, anti mikroba, bioaktif, anti jamur, anti tumor, analgesik, biokompatibel, bioavailabilitas, ketahanan terhadap bahan kimia yang tinggi, dan tidak beracun serta selektivitas terhadap air yang baik (Yaneva et al., 2020). Berdasarkan studi literatur, telah banyak dilakukan penelitian untuk mengetahui biopolimer kitosan dapat digunakan sebagai adsorben, antara lain adsorben limbah tekstil (Kyzas et al., 2017), adsorben polutan hayati (Saheed et al., 2021) dan adsorben logam berat (Begum et al., 2021). Namun, biopolimer kitin dan kitosan mempunyai keterbatasan pada tingkat kestabilan dalam formulasi penyerapannya.

Luas bidang permukaan dan ukuran pori adsorben akan mempengaruhi kemampuan adsorpsi dari adsorben. Salah satu cara untuk meningkatkan penyerapan adsorben adalah melalui proses aktivasi. Aktivasi adsorben dapat dilakukan secara fisik maupun kimiawi, dimana dapat dilakukan secara fisik melalui proses pemanasan, pengecilan ukuran dan pengayakan, yang bertujuan untuk memperbesar ukuran pori dengan memecah molekul karbon atau mengoksidasi molekul pada permukaan adsorben yang menyebabkan perubahan sifat fisik dan kimia. Selama proses aktivasi, pengotor yang menutupi permukaan pori-pori adsorben dihilangkan, sehingga meningkatkan kemampuan dan kapasitas adsorpsi dari adsorben (Wulandari et al., 2014). Adsorpsi merupakan salah satu metode pemisahan suatu material yang tersuspensi di dalam fluida cair atau gas dengan menggunakan adsorben (Anggriawan et al., 2019).

Terdapat beberapa komponen dalam proses penyerapan, yaitu fasa penjerap (*adsorbent*) dan fasa bergerak (*adsorbate*). Mekanisme adsorpsi hakikatnya ialah suatu proses penyerapan yang terjadi pada permukaan pori padatan (*adsorbent*). Proses transfer massa yang terjadi didasarkan pada sisi aktif dari permukaan padatan. Mula - mula molekul *adsorbate* mendifusi melalui pori-pori (*macropore*) lalu melalui *mesopore*. Kemudian *adsorbate* terjerap dalam pori-pori kecil (*micropore*) dan tertahan di dalamnya (Bimantio, 2017). Pengaruh

ukuran partikel dan waktu aktivasi adsorben terhadap daya serap yang dihasilkan sangat bervariasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mensistesis dan mengkarakterisasi kitosan dari limbah cangkang rajungan dengan perhitungan rendemen, pengujian kadar air dan kadar abu.

## BAHAN DAN METODE PENELITIAN

### Bahan dan Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan limbah cangkang rajungan (*Portunus pelagicus*), larutan NaOH 40%, larutan HCl 15%, larutan NaOH 3,5%, dan aquades. Penelitian dilakukan di Laboratorium Terpadu ITERA. Adapun prosedur dalam mengekstraksi kitosan dari limbah cangkang rajungan adalah dengan larutan asam dan basa konsentrat dengan tahapan preparasi sampel, demineralisasi, deproteinasi, dan deasetilasi.

### Preparasi Sampel

Limbah cangkang rajungan dari Desa Kuala Penet, Lampung Timur mula-mula dibersihkan, lalu dikeringkan dan dihaluskan menggunakan *blender* hingga berbentuk serbuk. Kemudian serbuk diayak berukuran 25 mesh untuk diproses ke tahap berikutnya.

### Demineralisasi

Serbuk 25 mesh yang diperoleh diambil dengan berat 200 g dan dilarutkan dalam 1.400 mL larutan HCl 15%. Larutan diaduk dan dipanaskan sampai 80 °C sampai tidak ada lagi gelembung CO<sub>2</sub> yang terbentuk. Kemudian larutan dipisahkan dari endapannya dengan kertas saring. Padatan yang dihasilkan dicuci dan disaring dengan air suling untuk menghilangkan sisa HCl. Filtrat diuji dengan larutan AgNO<sub>3</sub> sampai tidak ada lagi endapan putih yang merupakan indikator bahwa ion Cl<sup>-</sup> tersuspensi yang tersisa telah hilang. Kemudian dilakukan pengeringan menggunakan oven selama 2 jam pada suhu 80°C dan diletakkan di desikator, kemudian serbuk cangkang rajungan yang dihasilkan ditimbang.

### Deproteinasi

Serbuk cangkang rajungan yang telah didemineralisasi kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia dan ditambahkan NaOH 3,5% dengan perbandingan 1:10 (b/v). Larutan dipanaskan dan diaduk dengan *overhead stirrer* pada suhu 80°C selama 2 jam. Kemudian hasil pencucian disaring dengan kertas saring, dan filtrat yang diperoleh diuji

dengan indikator PP sampai tidak terjadi perubahan warna merah bata yang menunjukkan sisa ion OH<sup>-</sup> telah hilang. Keringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 2 jam, kemudian simpan dalam desikator untuk mendapatkan deproteinasi bubuk cangkang rajungan.

### Deasetilasi

Senyawa kitin yang dihasilkan kemudian dideasetilasi menggunakan metode konvensional. Dalam penelitian ini, proses deasetilasi kitin dilakukan dengan mencampurkan kitin hasil proses deproteinasi dengan larutan natrium hidroksida 40%. Rasio kitin dengan pelarut NaOH adalah 1:10 (b/v). Kemudian dipanaskan selama 2 jam pada suhu 80°C. Endapan yang terbentuk dicuci dengan aquades hingga pH netral kemudian dimasukkan ke dalam oven selama 2 jam. Lalu diaktivasi pada variasi suhu 80 dan 100 °C selama 8, 10, 12, 14 jam kemudian disimpan dalam desikator. Kitosan yang diperoleh ditimbang dan dianalisis sifat-sifatnya.

### Karakterisasi Kitosan

#### Rendemen

Tingkat rendemen dipengaruhi oleh waktu reaksi, suhu, konsentrasi dan ukuran partikel. Konsentrasi natrium hidroksida yang tinggi akan mempengaruhi nilai derajat deasetilasi kitosan karena jumlah gugus asetil yang terdeasetilasi meningkat. (Cahyono, 2018). Rendemen kitosan dihitung menggunakan persamaan berikut (Purwanti & Yusuf, 2014).

$$\%Rendemen = \frac{Massa\ kitosan\ kering\ (g)}{Massa\ kitin\ kering\ (g)} \times 100\% \quad (2-1)$$

#### Kadar Air

Tujuan pengujian kadar air adalah untuk mengetahui sifat higroskopis dari adsorben. Sifat higroskopis menyebabkan adsorben mencapai keadaan kesetimbangan pada kondisi dan kelembaban udara tertentu, kesetimbangan kadar air inilah yang menjadi ukuran higroskopisitas (Tsoumus G, 1991). Kadar air sangat dipengaruhi oleh tingkat kelembaban udara, waktu pendinginan, dan sifat higroskopis dari adsorben itu sendiri (El-Hendawy, 2003). Standar baku mutu untuk kadar air kitosan adalah kurang dari 10% (EFSA, 2010). Pengujian kadar air dilakukan dengan memakai alat *moisture analyzer*.

#### Kadar Abu

Pengujian kadar abu bertujuan untuk mengetahui mineral yang terkandung dalam kitosan. Kitosan

berkualitas tinggi harus memiliki kadar abu <10%. Kadar abu kitosan dipengaruhi oleh perlakuan yang dilakukan, jenis larutan basa dan bahan yang digunakan (Sahriawati, 2018). Kadar abu ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\% \text{ kadar abu} = \frac{a-b}{c} \times 100\% \quad (2-2)$$

Keterangan:

a = massa (sampel+cawan) setelah diabukan (gr)

b = massa cawan kosong (gr)

c = massa sampel (gr)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan tentang analisis efektivitas pemanfaatan kitosan berbahan baku limbah cangkang rajungan sebagai material adsorpsi melalui uji karakteristik kitosan teraktivasi dan tanpa aktivasi yang terdiri dari perhitungan rendemen, kadar air, dan kadar abu dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Analisis Rendemen Kitosan

Massa Kitin Kering (g)	Suhu Aktivasi (°C)	Waktu Aktivasi (Jam)	Massa Kitosan (g)	Rendemen (%)
11,955	80	8	2,781	23
11,955		10	2,550	21
11,955		12	2,585	22
11,955		14	2,605	22
11,955	100	8	2,485	21
11,955		10	2,633	22
11,955		12	2,718	23
11,955		14	2,528	21
11,955	Tanpa Aktivasi		3,000	25

Kitosan dibuat melalui proses deasetilasi kitin menggunakan larutan basa kuat. Waktu dan suhu reaksi, konsentrasi reagen, dan ukuran partikel dapat mempengaruhi jumlah hasil yang dicapai. Tabel 1 menunjukkan bahwa peningkatan suhu dan waktu aktivasi kitosan mengakibatkan penurunan rendemen kitosan. Konsentrasi larutan basa yang tinggi menyebabkan peningkatan jumlah gugus asetil yang terbelah, sehingga derajat deasetilasi kitosan semakin besar. Sedangkan suhu rendah menyebabkan kecepatan reaksi menjadi lebih lambat. Berdasarkan penelitian (Patria, 2013), penurunan rendemen dipengaruhi oleh waktu pemanasan dan suhu. Hal ini karena suhu yang tinggi menyebabkan rantai molekul

kitosan terdepolimerisasi, sehingga menurunkan rendemen dan berat molekul kitosan.

Tabel 2. Hasil Uji kadar air kitosan menggunakan alat *moisture analyzer*.

Temperatur Aktivasi (°C)	Waktu Aktivasi (Jam)	Kadar Air (%)
80	8	3,70
	10	2,86
	12	3,98
	14	3,91
100	8	8,76
	10	6,32
	12	9,55
	14	2,25
Tanpa Aktivasi		11,81

Tabel 3. Hasil uji kadar abu kitosan

Temperatur Aktivasi (°C)	Waktu Aktivasi (Jam)	Kadar Abu (%)
80	8	2,22
	10	1,88
	12	0,66
	14	0,04
100	8	0,76
	10	0,78
	12	0,74
	14	0,42
Tanpa Aktivasi		3,94

Berdasarkan Tabel 2 data hasil pengujian kadar air terlihat bahwa kadar air pada kitosan semakin menurun seiring dengan peningkatan suhu dan waktu aktivasi. Kadar air terendah dicapai sebesar 2,25% pada suhu 100°C selama 14 jam, sedangkan varian tanpa aktivasi mencapai hasil pengujian kadar air tertinggi yaitu 11,81%. Karena tanpa aktivasi, sebagian besar air tidak menguap selama proses pengeringan sehingga kandungan airnya masih tinggi. Selain itu, hal ini juga dapat disebabkan karena kitosan memiliki gugus amina yang dapat mengikat molekul air. Kitosan merupakan senyawa higroskopis, sehingga sampel kitosan dapat menyerap molekul udara di udara selama penyimpanan. Namun secara keseluruhan, hasil tersebut sesuai dengan baku mutu karbon aktif menurut SNI. 06-3730-1995, yaitu maksimal 15%. Kadar air yang rendah memperluas daya serap pada pori-pori adsorben sehingga adsorbat dapat terserap

dengan baik. Hal ini sejalan dengan penelitian Hendra. et al (2019), yang menyatakan bahwa sifat-sifat adsorben yang dihasilkan dapat mempengaruhi daya serap dari adsorben. Semakin rendah kadar air maka kualitas adsorben semakin baik.

Hasil pengujian kadar abu pada kitosan berdasarkan data Tabel 3 menunjukkan hasil yang signifikan, seiring meningkatnya temperatur dan waktu aktivasi, kadar abu yang diperoleh semakin rendah. Kadar abu paling rendah diperoleh pada temperature 80°C selama 14 jam yaitu sebesar 0,04% dan kadar abu tertinggi diperoleh sebesar 3,94% pada variasi tanpa aktivasi. Temperatur dan waktu aktivasi mempengaruhi kadar abu kitosan yang dibuktikan dengan tingginya kadar abu kitosan tanpa aktivasi. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya sisa kandungan mineral pada cangkang rajungan setelah proses demineralisasi, sehingga aktivasi membantu menguapkan sebagian pengotor yang tersisa. Secara keseluruhan hasil kadar abu yang diperoleh pada penelitian ini memenuhi persyaratan baku mutu karbon aktif SNI. 06-3730-1995, yaitu maksimal 10%.

Keberadaan abu dapat mempengaruhi kualitas adsorben. Kadar abu berlebih akan mengakibatkan terjadinya penyumbatan pada pori adsorben yang menyebabkan luas permukaan aktif menjadi berkurang. Rendahnya kadar abu yang diperoleh membuktikan efisiensi dari proses demineralisasi, hal itu dikarenakan pada proses demineralisasi, mineral yang terkandung pada cangkang rajungan dihilangkan agar mendapatkan kualitas kitosan yang lebih baik. Menurut Walke et al (2014), rendahnya kadar abu kitosan hasil penelitian ini dipengaruhi oleh konsentrasi asam klorida (HCl) dan suhu pemanasan. Selama proses demineralisasi, asam klorida berperan dalam melarutkan garam kalsium yang terdapat pada cangkang dengan indikator membentuk uap H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> pada permukaan larutan. Hasil penelitian Walke (2014) menunjukkan bahwa proses demineralisasi akan bekerja efektif pada konsentrasi HCl 1N dengan pemanasan pada suhu 110°C selama 30 menit dan akan menghasilkan kadar abu sebesar 0,48%. Kadar abu kitosan merupakan parameter penting karena kadar abu yang tinggi dapat menurunkan viskositas dan kelarutan kitosan. Berdasarkan EFSA (2010) kadar abu kitosan komersil adalah  $\leq 3\%$ .

## KESIMPULAN

Penggunaan kitosan sebagai adsorben dalam berbagai macam polutan air pada pengelolaan limbah di industri karena adanya gugus amino dan gugus fungsional hidroksil, yang menjadikannya efektif dibandingkan karbon teraktivasi. Limbah cangkang rajungan dapat disintesis menjadi kitosan melalui 3 (tiga) tahapan, yaitu demineralisasi, deproteinasi, dan deasetilasi. Karakterisasi kitosan meliputi uji rendemen, kadar air, dan kadar abu. Data memperlihatkan peningkatan temperatur dan waktu aktivasi mempengaruhi jumlah rendemen, kadar air dan kadar abu kitosan yang dihasilkan, hal tersebut juga dipengaruhi oleh konsentrasi *reagent*, waktu dan temperatur reaksi, serta ukuran partikel kitosan ketika proses ekstraksi. Uji kadar air menunjukkan bahwa kadar air pada kitosan semakin rendah seiring dengan meningkatnya temperatur dan waktu aktivasi. Kadar air terendah diperoleh sebesar 2,25% pada temperatur 100°C selama 14 jam, sementara variasi tanpa aktivasi memperoleh hasil pengujian kadar air tertinggi, yaitu sebesar 11,81%. Uji kadar abu kitosan menunjukkan peningkatan temperatur dan waktu aktivasi, menghasilkan kadar abu yang semakin rendah. Kadar abu paling rendah diperoleh pada temperature 80°C selama 14 jam yaitu sebesar 0,04% dan kadar abu tertinggi diperoleh sebesar 3,94% pada variasi tanpa aktivasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S., & Kurniasih, Y. (2013). Pembuatan Kitosan Dari Cangkang Udang Dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Kadar Logam Cu. In *Seminar Nasional FMIPA UNDIKSHA III Tahun*.
- Anggriawan, A., Atwanda, M. Y., Lubis, N., & Fathoni, R. (2019). Kemampuan Adsorpsi Logam Berat Cu dengan Menggunakan Adsorben Kulit Jagung (*Zea Mays*). *Jurnal Chemurgy*, 3(2), 27. <https://doi.org/10.30872/cmg.v3i2.3581>
- Ayang Nurmala, N., Budi Susatyo, E., Fransisca Widhi Mahatmanti Jurusan Kimia, dan, & Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, F. (2018). Indonesian Journal of Chemical Science Sintesis Kitosan dari Cangkang Rajungan Terkomposit Lilin Lebah dan Aplikasinya sebagai Edible Coating pada Buah Stroberi. *J. Chem. Sci*, 7(3). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Bahri, S., & Abd Rahim, E. (2015). Derajat Deasetilasi Kitosan Dari Cangkang Kerang Darah Dengan Penambahan Naoh Secara Bertahap [Chitosan Deacetylation Degree from Anadara granosa by Gradually Adding NaOH].

- KOVALEN, I(1), 36–42.
- Begum, S., Yuhana, N. Y., Md Saleh, N., Kamarudin, N. H. N., & Sulong, A. B. (2021). Review of Chitosan Composite as a Heavy Metal Adsorbent: Material Preparation and Properties. *Carbohydrate Polymers*, 259, 117613. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117613>
- Bimantio, M. P. (2017). Effect of Grain Size and Activation Time of Zeolite to Adsorption and Desorption of NH<sub>4</sub>OH and KCL As Model of Fertilizer-Zeolite Mix. *Jurnal Konversi*, 6(2), 20–27.
- Blue I, Crab S, I. F. (2016). *Indonesia Blue Swimming Crab Fishery Improvement Project Stock Assessment of the Blue Swimming Crab (Portunus pelagicus) for Sustainable Management in Java Sea in 2016*. 1–19.
- Budianto, E., Saepudin, E., & Nasir, M. (2019). Chitosan Extraction Of Crab Shell On Diffrent Time And Repetition Soaking. In *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan* (Vol. 10, Issue 1).
- Crini, G., Lichtfouse, E., Wilson, L., Morin-Crini, N., & Wilson, L. D. (2019). Conventional and non-conventional adsorbents for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 17(1), 195–213. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0786-8>
- EFSA. (2010). Scientific Opinion on the Safety of ‘Chitin-Glucan’ as a Novel Food Ingredient. *EFSA Journal*, 8(7). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1687>
- Eko, C. & A. L. B. (2018). Karakterisasi Kitosan Dari Limbah Rajungan (*Portunus pelagicus*). *Jurnal Ilmiah Tindalung*, 4(1), 30–33.
- Hendra., B., Walanda., D. K., & Baharuddin, H. (2019). Pembuatan Arang dari Kulit Nangka (*Artocarpus heterophyllus*) sebagai Adsorben terhadap Kadmium dan Nikel Terlarut. *Jurnal Akademika Kimia*, 8(1), 28–33.
- Henggu, K. U., Lapu, R. U., Takjanjanji, P., Fretty, R., Djawa, N., Lingga, S. R., Abbas, S., Ngunju, H. H., Willy, I. R., & Nalu, N. T. (2022). Modifikasi Kitosan dari Limbah Cangkang Kepiting sebagai Sediaan Material Membran Filtrasi Air. *Jambura Fish Processing Journal*, 4(2), 72–82. <https://doi.org/10.37905/jfpj.v4i2.13807>
- Husni, P., Junaedi, J., & Gozali, D. (2020). Potensi Kitosan Bersumber dari Limbah Cangkang Rajungan (*Portunus pelagicus*) dalam Bidang Farmasi. *Majalah Farmasetika*, 5(1). <https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v5i1.23804>
- Kumari, S., & Rath, P. K. (2014). Extraction and Characterization of Chitin and Chitosan from (*Labeo rohita*) Fish Scales. *Procedia Materials Science*, 6, 482–489. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.062>
- Kyzas, G. Z., Bikiaris, D. N., & Mitropoulos, A. C. (2017). Chitosan Adsorbents for Dye Removal: a Review. *Polymer International*, 66(12), 1800–1811. <https://doi.org/10.1002/pi.5467>
- Lee, S.-T., Mi, F.-L., Shen, Y.-J., & Shyu, S.-S. (2001). Equilibrium and Kinetic Studies of Copper(II) Ion Uptake by Chitosan-Tripolyphosphate Thelating Resin. *Polymer*, 42(5), 1879–1892. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(00\)00402-X](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(00)00402-X)
- Patria, A. (2013). “Production and Characterization of Chitosan from Shrimp Shells Waste.” *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 6(4), 339–344.
- Putro, S., Syamdidi, S., & Wibowo, S. (2014). Produksi Kitin Skala Pilot Plant dari Cangkang Rajungan (*Portunus* spp.). *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, 2(1), 63. <https://doi.org/10.15578/jpbkp.v2i1.25>
- Saheed, I. O., Oh, W. Da, & Suah, F. B. M. (2021). Chitosan Modifications for Adsorption of Pollutants – A Review. *Journal of Hazardous Materials*, 408, 124889. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124889>
- Sains, J., Lingkungan, T., Kahar, A., Busyairi, M., Siswoyo, E., Wijaya, A., & Nurcahya, D. (2022). Pemanfaatan Limbah Rajungan (*Portunus pelagicus*) Untuk Memproduksi Pupuk Organik Cair Kitosan Sebagai Growth Promotor. *Sains Dan Teknologi Lingkungan*, 14(2), 122–135.
- Walke, Shilratan, Srivastava, G., Nikalje, M., Doshi, J., Kumar, R., Ravetkar, S., & Doshi, P. (2014). Physicochemical and Functional Characterization of Chitosan Prepared from Shrimp Shells and Investigation of Its Antibacterial, Antioxidant and Tetanus Toxoid Entrapment Efficiency. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 26(2), 215–225.
- Wulandari, F., Akbar Bintoro, R., Budi, E., & Nasbey, H. (2014). ITM-05: Pengaruh Temperatur Pengeringan pada Aktivasi Arang Tempurung Kelapa dengan Asam Klorida dan Asam Fosfat untuk Penyaringan Air Keruh. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, 3, 289–293.
- Yan, J., Xu, J., Ai, S., Zhang, K., Yang, F., & Huang, Y. (2020). Degradation of Chitosan with Self-Resonating Cavitation. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(6), 5776–5787. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.04.015>
- Yaneva, Z., Ivanova, D., Nikolova, N., & Tzanova, M. (2020). The 21st century revival of chitosan in service to bio-organic chemistry. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 34(1), 221–237. <https://doi.org/10.1080/13102818.2020.1731333>