



Sintesis Kitosan Berbasis Limbah Cangkang Udang Serta Pemanfaatannya Sebagai Bahan Pengawet Alami Daging Sapi

Fitri Endriyani^{1*}, Rahmat Hidayat², Yenni Darvina³, Fadhila Ulfa Jhora⁴

¹⁻⁴ Universitas Negeri Padang, Indonesia
email: fitriipit71@gmail.com¹

Article Info :

Received:
16-04-2026
Revised:
24-04-2026
Accepted:
30-04-2026

Abstract

*The utilization of shrimp shell waste as a source of chitosan represents a sustainable approach to developing bio-based materials while increasing the economic value of fisheries by-products. This study aimed to synthesize chitosan from shrimp shells (*Litopenaeus vannamei*) and evaluate its effectiveness as a natural preservative for beef. Chitosan was synthesized through deproteinization using 1 N NaOH, demineralization using 1 N HCl, and deacetylation using 50% NaOH. X-ray diffraction (XRD) analysis revealed six diffraction peaks with a dominant peak at $2\theta = 19.042^\circ$ and crystallite sizes ranging from 4.36 to 4.57 nm, indicating a monoclinic crystal structure. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) confirmed the presence of characteristic chitosan functional groups, including hydroxyl, amine, amide, and β -(1 \rightarrow 4)-glycosidic bonds. Preservation performance was evaluated by immersing beef samples in 1% chitosan solution for 0, 15, 30, 45, and 60 minutes, followed by storage at room temperature for five days. The results showed that immersion treatments of 45–60 minutes were most effective in maintaining texture, odor quality, and pH stability. These findings demonstrate the potential of shrimp shell-derived chitosan as a safe, environmentally friendly, and economically valuable natural preservative.*

Keywords: Beef, Chitosan, FTIR, Shrimp Shell Waste, XRD.

Abstrak

Pemanfaatan limbah cangkang udang sebagai sumber kitosan merupakan salah satu strategi yang mendukung pengembangan biomaterial berkelanjutan sekaligus meningkatkan nilai tambah limbah perikanan. Penelitian ini bertujuan mensintesis kitosan dari cangkang udang (*Litopenaeus vannamei*) serta mengevaluasi efektivitasnya sebagai pengawet alami daging sapi. Sintesis dilakukan melalui tahap deproteinasi menggunakan NaOH 1 N, demineralisasi dengan HCl 1 N, dan deasetilasi menggunakan NaOH 50%. Karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan enam puncak difraksi dengan puncak dominan pada sudut 2θ sebesar $19,042^\circ$ dan ukuran kristalit 4,36–4,57 nm yang mengindikasikan struktur kristal monoklinik. Analisis FTIR mengonfirmasi keberadaan gugus fungsi khas kitosan, yaitu hidroksil, amina, amida, dan ikatan β -(1 \rightarrow 4)-glikosidik. Efektivitas pengawetan diuji melalui perendaman daging sapi dalam larutan kitosan 1% selama 0, 15, 30, 45, dan 60 menit, kemudian disimpan pada suhu ruang selama lima hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan perendaman selama 45–60 menit mampu mempertahankan tekstur, aroma, dan kestabilan pH daging lebih baik dibandingkan perlakuan lainnya. Temuan ini menunjukkan bahwa kitosan berbasis limbah cangkang udang berpotensi dikembangkan sebagai pengawet alami yang aman, ramah lingkungan, dan bernilai ekonomi.

Kata Kunci: Cangkang Udang, Daging Sapi, FTIR, Kitosan, XRD.



©2022 Authors. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Ketersediaan pangan yang aman, berkualitas, dan berkelanjutan menjadi salah satu isu strategis dalam pengembangan sistem pangan global di tengah meningkatnya kebutuhan masyarakat terhadap produk pangan yang memiliki tingkat keamanan tinggi serta masa simpan yang lebih panjang. Daging sapi merupakan salah satu sumber pangan hewani yang memiliki kandungan protein, vitamin, dan mineral esensial yang berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan gizi manusia (Steers et al., 2019). Namun, karakteristik daging sapi yang memiliki kadar air dan nutrisi tinggi menyebabkan produk ini sangat rentan mengalami kerusakan akibat aktivitas mikroorganisme maupun reaksi biokimia selama penyimpanan (Rahmawati et al., 2024). Pada suhu ruang, kualitas daging dapat mengalami penurunan dalam waktu relatif singkat karena pertumbuhan bakteri patogen seperti *Escherichia coli*, *Salmonella*,

dan *Listeria monocytogenes* yang berpotensi mengancam kesehatan konsumen (Rahmawati et al., 2024). Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk mempertahankan mutu daging, terutama melalui penyimpanan suhu rendah dan penggunaan bahan pengawet, namun efektivitas dan keberlanjutan metode tersebut masih menjadi perhatian dalam penelitian pangan modern.

Penyimpanan suhu rendah diketahui mampu memperlambat aktivitas mikroorganisme, menghambat proses degradasi biologis, serta mempertahankan karakteristik sensoris produk daging selama periode penyimpanan tertentu (Angioletti et al., 2024). Meskipun demikian, keberhasilan teknologi rantai dingin sangat bergantung pada ketersediaan infrastruktur, pasokan energi yang stabil, dan sistem distribusi yang terintegrasi, yang pada banyak negara berkembang masih menghadapi berbagai keterbatasan operasional (Angioletti et al., 2024). Kondisi tersebut menjadi tantangan yang nyata di Indonesia, terutama pada wilayah terpencil yang belum memiliki akses memadai terhadap fasilitas penyimpanan berpendingin. Dalam praktik distribusi, fluktuasi suhu selama proses transportasi sering kali mempercepat laju kerusakan produk sebelum mencapai konsumen akhir. Situasi ini menunjukkan bahwa upaya menjaga keamanan dan kualitas daging tidak dapat sepenuhnya bergantung pada teknologi pendinginan, melainkan memerlukan inovasi tambahan yang lebih ekonomis, mudah diaplikasikan, dan mampu memberikan perlindungan selama proses distribusi maupun penyimpanan.

Di sisi lain, penggunaan bahan pengawet sintetis seperti natrium nitrit (NaNO_2) telah lama diterapkan untuk memperpanjang masa simpan produk daging karena kemampuannya menghambat pertumbuhan mikroba dan mempertahankan warna produk (Cancer, 2019). Efektivitas tersebut diiringi dengan meningkatnya perhatian terhadap aspek keamanan pangan karena nitrit berpotensi membentuk senyawa nitrosamin yang bersifat karsinogenik pada kondisi tertentu (Turck et al., 2021). Beberapa senyawa nitrosamin bahkan telah diklasifikasikan sebagai kelompok yang berpotensi menyebabkan kanker pada manusia sehingga penggunaannya dalam pangan mendapat pengawasan ketat dari berbagai lembaga internasional (Cancer, 2019). Konsumsi nitrit dalam jumlah berlebihan juga dikaitkan dengan berbagai risiko kesehatan, termasuk methemoglobinemia dan gangguan fisiologis lainnya pada kelompok rentan (WCRF/AICR, 2018). Perkembangan kesadaran konsumen terhadap keamanan pangan mendorong peningkatan permintaan terhadap bahan pengawet alami yang tidak hanya efektif menekan kerusakan mikrobiologis, tetapi juga memiliki risiko kesehatan yang lebih rendah dan mendukung konsep pangan berkelanjutan.

Salah satu bahan alami yang memperoleh perhatian luas dalam beberapa dekade terakhir adalah kitosan, yaitu biopolimer yang dihasilkan melalui proses deasetilasi kitin yang banyak ditemukan pada limbah cangkang udang, kepiting, maupun organisme laut lainnya (Younes & Rinaudo, 2015). Perkembangan riset mutakhir menunjukkan bahwa kitosan memiliki sifat antimikroba, antioksidan, biodegradabel, dan biokompatibel sehingga berpotensi diaplikasikan pada berbagai bidang, mulai dari pangan, kesehatan, hingga rekayasa material (Jin et al., 2021). Aktivitas antimikroba kitosan berkaitan dengan kemampuannya berinteraksi dengan membran sel mikroorganisme sehingga mengganggu permeabilitas dan metabolisme sel bakteri (Kong et al., 2015). Kemampuan membentuk lapisan pelindung atau *edible coating* juga memungkinkan kitosan berfungsi sebagai penghalang terhadap oksigen dan uap air yang dapat mempercepat kerusakan pangan (Meng et al., 2024). Dari perspektif keberlanjutan, pemanfaatan limbah cangkang udang sebagai bahan baku kitosan menawarkan pendekatan ekonomi sirkular karena mampu mengonversi limbah perikanan menjadi produk bernilai tambah tinggi (Damian et al., 2024). Potensi tersebut menjadi semakin relevan bagi Indonesia yang menghasilkan limbah cangkang udang dalam jumlah besar setiap tahun namun belum dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber biomaterial fungsional.

Berbagai penelitian telah membuktikan bahwa kitosan memiliki prospek yang menjanjikan sebagai bahan pengawet alami pada produk pangan. Penggunaan kitosan dilaporkan mampu mempertahankan stabilitas warna dan karakteristik mutu pada produk berbasis daging selama penyimpanan (Berty, 2020). Penambahan kitosan dalam sistem *edible coating* juga terbukti efektif menekan pertumbuhan *Escherichia coli* dan meningkatkan kualitas mikrobiologis produk pangan (Suharto et al., 2024). Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada aspek aplikasi kitosan sebagai pelapis pangan, sementara hubungan antara proses sintesis, karakteristik fisikokimia kitosan yang dihasilkan, dan efektivitasnya sebagai pengawet alami belum sepenuhnya dipahami secara komprehensif. Padahal, karakteristik seperti derajat deasetilasi, kristalinitas, dan gugus fungsi sangat menentukan aktivitas biologis kitosan yang dihasilkan (Wulandari et al., 2020). Variasi metode sintesis juga dapat menghasilkan sifat material yang berbeda sehingga memengaruhi performa

aplikatifnya pada sistem pangan (Bayu et al., 2019). Sejumlah studi telah menekankan pentingnya karakterisasi menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) dan X-Ray Diffraction (XRD) untuk memastikan kualitas struktur kitosan yang terbentuk sebelum diaplikasikan lebih lanjut (Widjonarko, 2016; Sinardi et al., 2013). Namun demikian, penelitian yang mengintegrasikan sintesis kitosan berbasis limbah cangkang udang, karakterisasi struktur material, dan evaluasi kinerjanya sebagai pengawet alami daging sapi pada kondisi penyimpanan suhu ruang masih relatif terbatas.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini menempatkan diri pada irisan antara pengembangan biomaterial berbasis limbah perikanan dan inovasi teknologi pengawetan pangan berkelanjutan. Fokus penelitian diarahkan pada sintesis kitosan dari limbah cangkang udang, karakterisasi struktur kristal dan gugus fungsinya menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) dan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), serta pengujian efektivitasnya sebagai bahan pengawet alami daging sapi melalui analisis perubahan pH dan mutu organoleptik selama penyimpanan pada suhu ruang. Penelitian ini diharapkan tidak hanya menghasilkan alternatif pengawet yang lebih aman dan ramah lingkungan, tetapi juga memperluas pemanfaatan limbah perikanan menjadi biomaterial bernilai tinggi. Temuan yang diperoleh diharapkan dapat memperkuat pengembangan konsep ekonomi sirkular pada sektor pangan sekaligus memberikan dasar ilmiah bagi optimalisasi hubungan antara karakteristik kitosan hasil sintesis dan kinerjanya sebagai agen pengawet alami.

METODE PENELITIAN

Rangkaian penelitian meliputi preparasi kitosan dari limbah cangkang udang serta pengkajian karakteristik material yang dihasilkan melalui analisis kristalinitas dan identifikasi gugus fungsi menggunakan metode XRD dan FTIR, serta pengujian efektivitas kitosan sebagai pengawet alami daging sapi. Alat yang digunakan termometer, magnetic stirrer dan hot plate, beaker glass, blender, oven, Loyang, sarung tangan, kertas pH, pipet tetes, timbangan digital, masker medis, pipet volumetric, labu takar, pengaduk kaca, tabung reaksi, cawan petri, botol semprot, ayakan, dan erlenmeyer. Sedangkan bahan yang digunakan cangkang udang, aquadest (H_2O), natrium hidroksida (NaOH) 1 N, asam klorida (HCl) 1 N, asam asetat, dan daging sapi. Pada penelitian ini, efektivitas kitosan sebagai pengawet alami daging sapi dievaluasi melalui tiga parameter pengujian, yaitu warna, bau, dan tekstur. Pengujian warna dilakukan dengan membandingkan nilai warna menggunakan aplikasi *Physics Toolbox Suite*. Sementara itu, pengujian bau dan tekstur dilakukan melalui penilaian organoleptik oleh responden berdasarkan perubahan karakteristik daging selama 5 hari penyimpanan.

Sintesis Kitosan

Cangkang udang dicuci, dikeringkan, kemudian dihaluskan hingga menjadi serbuk. Proses sintesis Kitosan diperoleh melalui rangkaian proses yang meliputi deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi untuk mengubah kitin menjadi kitosan. Tahap deproteinasi dilakukan menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH) 1 N pada suhu $65^{\circ}C$ dengan waktu reaksi selama 30 menit untuk menghilangkan kandungan protein. Selanjutnya, proses demineralisasi dilakukan menggunakan larutan asam klorida (HCl) 1 N pada suhu $75^{\circ}C$ selama 30 menit untuk menghilangkan komponen mineral yang terdapat dalam sampel, terutama kalsium karbonat. Kitin yang diperoleh kemudian deasetilasi menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH) 50% pada suhu $65^{\circ}C$ dengan waktu reaksi selama 65 menit untuk menghasilkan kitosan. Produk akhir dicuci hingga pH netral dan dikeringkan sebelum dilakukan karakterisasi.

Karakterisasi XRD

Analisis sifat kristalin kitosan dilakukan melalui pengujian difraksi sinar-X (XRD). Sampel kitosan dalam bentuk serbuk dianalisis pada rentang sudut difraksi $2\theta = 10^{\circ}-60^{\circ}$. Data difraksi yang diperoleh digunakan untuk menentukan fase kristal, struktur kristal, dan ukuran kristal. Ukuran kristal ditentukan menggunakan persamaan Scherrer dengan mempertimbangkan nilai FWHM yang diperoleh dari puncak-puncak difraksi (Widjonarko, 2016).

Karakterisasi FTIR

Spektrum FTIR direkam pada daerah bilangan gelombang $4000-400\text{ cm}^{-1}$ untuk mengkaji gugus fungsi yang terdapat dalam sampel kitosan. Spektrum FTIR digunakan untuk mengonfirmasi keberadaan gugus fungsi khas pada kitosan seperti gugus hidroksil ($-OH$), amina ($-NH_2$), amida, dan

ikatan β -(1 \rightarrow 4)-glikosidik yang menunjukkan keberhasilan proses deasetilasi kitin menjadi kitosan (Bayu et al., 2019; Collins et al., 2019).

Uji Aplikasi Pengawetan Daging Sapi

Sebanyak 1 g kitosan didispersikan ke dalam 100 mL larutan asam asetat 1%, kemudian diaduk hingga terbentuk larutan kitosan 1%. Daging sapi segar dipotong menjadi lima bagian dengan berat masing-masing sekitar 60 g, untuk mengevaluasi pengaruh lama perendaman, sampel daging direndam dalam larutan kitosan selama 0 menit (kontrol), 15 menit, 30 menit, 45 menit, dan 60 menit. Sampel disimpan pada suhu ruang selama lima hari. Efektivitas pengawetan dievaluasi berdasarkan perubahan nilai pH serta uji organoleptik dilakukan terhadap beberapa parameter yang mencakup pengamatan terhadap perubahan warna, aroma, dan tekstur daging (Suharto et al., 2024).

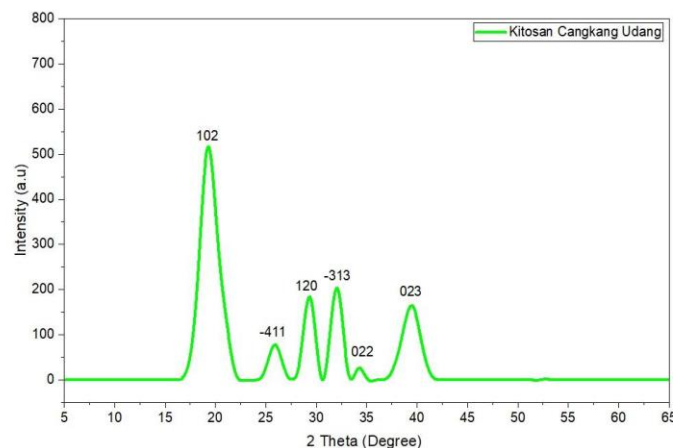
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Struktur Kristal dengan XRD

Karakteristik kristalin material dievaluasi melalui pengujian XRD. Hasil yang diperoleh kemudian dirangkum dalam Tabel 1 dan divisualisasikan pada Gambar 1.

Tabel 1. Hasil Karakterisasi Struktur Kristal Kitosan dengan XRD

No.	Sampel	Fasa	Sudut 2 θ ($^{\circ}$)	Intensitas (cts)	Ukuran Kristal (nm)	Struktur Kristal
1	Kitosan	Methyl cyclohexanespiro	19,042	510	4,36	Monoklinik
			25,528	75	4,41	Monoklinik
			29,259	180	4,44	Monoklinik
			32,178	200	4,47	Monoklinik
			33,961	25	4,50	Monoklinik
			39,577	160	4,57	Monoklinik



Gambar 1. Pola Difraksi XRD Kitosan dari Limbah Cangkang Udang (*Litopenaeus vannamei*)

Berdasarkan Tabel 1, karakteristik kristalin kitosan dievaluasi melalui analisis difraksi sinar-X (XRD) guna memperoleh informasi mengenai fase material, struktur kristal, dan ukuran kristalit yang dihasilkan. Hasil pengujian mengonfirmasi bahwa kitosan yang diperoleh dari limbah cangkang udang memiliki enam puncak difraksi utama pada sudut 2θ sebesar $19,042^{\circ}$; $25,528^{\circ}$; $29,259^{\circ}$; $32,178^{\circ}$; $33,961^{\circ}$; dan $39,577^{\circ}$. Puncak difraksi tertinggi diperoleh pada sudut $2\theta = 19,042^{\circ}$ dengan intensitas 510 cts. Puncak difraksi utama pada $2\theta = 19,042^{\circ}$ sesuai dengan penelitian Younes & Rinaudo (2015), yang melaporkan bahwa kitosan memiliki puncak karakteristik pada rentang $19\text{--}20^{\circ}$. Hasil ini

menunjukkan karakteristik khas kitosan yang memiliki puncak dominan pada kisaran 19° – 20° akibat adanya ikatan hidrogen intramolekul dalam struktur polisakarida (Bocchetta, 2020).

Ukuran kristalinitas yang diperoleh dari perhitungan persamaan Scherrer berada pada rentang 4,36–4,57 nm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kitosan memiliki tingkat kristalinitas yang baik pada skala nanometer. Kristal berukuran kecil umumnya memberikan luas permukaan spesifik yang relatif tinggi sehingga dapat mendukung peningkatan aktivitas biologis dan kemampuan adsorpsi material (Jin et al., 2021).

Selain itu, seluruh puncak difraksi menunjukkan sistem kristal monoklinik yang mengindikasikan terbentuknya β -kitosan. Struktur monoklinik menunjukkan keteraturan rantai polimer yang baik dan tingkat asetilasi yang rendah sehingga berpotensi mendukung aktivitas antimikroba serta aplikasinya sebagai bahan pengawet alami (Younes & Rinaudo, 2015). Secara keseluruhan, hasil XRD membuktikan bahwa proses sintesis berhasil menghasilkan kitosan dengan struktur kristal yang baik dan berpotensi digunakan sebagai bahan pengawet alami daging sapi.

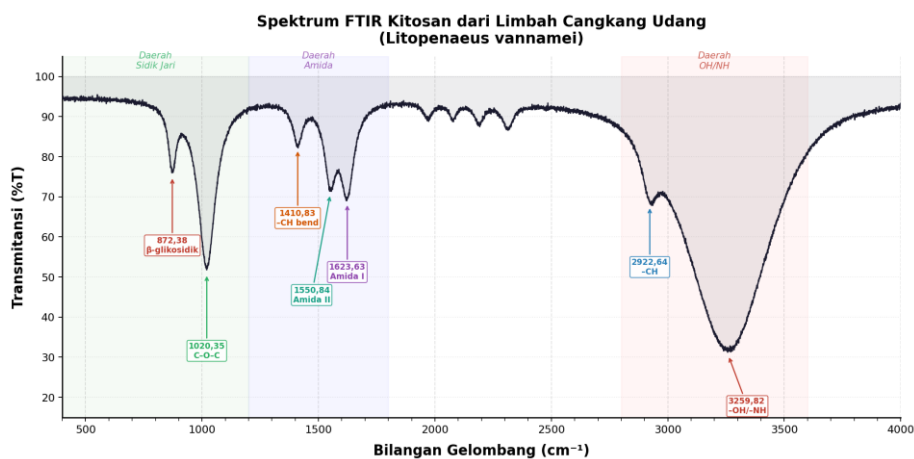
Karakterisasi Gugus Fungsi Kitosan dengan FTIR

Spektrum FTIR merupakan 'sidik jari molekuler' yang tidak hanya mengkonfirmasi identitas kimiawi suatu senyawa, tetapi juga mencerminkan tingkat kemurnian, derajat deasetilasi, dan potensi aktivitas biologisnya. Analisis kritis terhadap sebelas pita serapan yang teridentifikasi pada kitosan cangkang udang (Tabel 2) mengungkap informasi yang jauh lebih dalam dari sekadar konfirmasi kehadiran gugus fungsi.

Tabel 2. Hasil Analisis Spektrum FTIR Kitosan Cangkang Udang

No.	Pita Serapan (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Jenis Vibrasi	Interpretasi Kritis & Signifikansi
1	3259,82	–OH dan NH	Vibrasi regangan	Pita lebar khas kitosan; mengindikasikan adanya ikatan hidrogen intramolekul/intermolekul yang kuat. Intensitas dan lebar pita mencerminkan tingkat hidrasi rantai polimer. Kehadiran –NH mengkonfirmasi keberhasilan deasetilasi.
2	2922,64	–CH alifatik	Vibrasi regangan C–H	Khas dari gugus –CH ₂ dan –CH pada kerangka rantai karbon. Intensitas rendah menunjukkan kemurnian struktural kitosan tanpa kontaminasi hidrokarbon berlebih.
3	2312,73	O=C=O (CO ₂)	Serapan atmosferik	CO ₂ Pita lemah akibat CO ₂ yang terperangkap saat preparasi pelet KBr. Kehadirannya tidak relevan secara struktural, namun mengindikasikan perlunya kondisi preparasi anaerob untuk analisis lebih presisi.
4	2189,32	C≡C / C≡N	Vibrasi ikatan rangkap tiga lemah	Pita sangat lemah yang dapat mengindikasikan sisa residu organik minor. Perlu konfirmasi lebih lanjut dengan analisis NMR untuk diferensiasi definitif.
5	2076,62	C≡C	Vibrasi alkuna lemah	Pita lemah; kemungkinan merupakan artefak spektral atau kontaminasi minor. Tidak khas dari struktur kitosan murni dan tidak berpengaruh pada aktivitas biologis.
6	1969,54	Kombinasi pita	Overtone/kombinasi vibrasi	Pita overtone merupakan harmonik dari vibrasi fundamental. Kehadirannya normal

No.	Pita Serapan (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Jenis Vibrasi	Interpretasi Kritis & Signifikansi
7	1623,63	Amida (C=O)	I Vibrasi regangan karbonil	pada spektrum polisakarida kompleks seperti kitosan. KRITIS: Pita Amida I mengindikasikan adanya sisa gugus asetil dari kitin yang belum terdeasetilasi sempurna. Intensitas relatifnya terhadap pita 1550 cm ⁻¹ digunakan untuk estimasi derajat deasetilasi (DD). Semakin rendah intensitas Amida I, semakin tinggi DD dan aktivitas antimikroba.
8	1550,84	Amida II (N-H bending)	Vibrasi tekukan N-H	KRITIS: Pita Amida II adalah penciri utama keberhasilan deasetilasi. Intensitas yang terdeteksi jelas mengkonfirmasi kehadiran gugus -NH ₂ bebas yang merupakan situs aktif antimikroba kitosan. Rasio A ₁₅₅₀ /A ₁₆₂₃ berkorelasi langsung dengan DD.
9	1410,83	-CH bending	Vibrasi tekukan C-H	Deformasi simetris gugus metilena (-CH ₂). Pita stabil ini sering digunakan sebagai pita referensi internal dalam analisis kuantitatif FTIR kitosan.
10	1020,35	C-O-C / C-O	Vibrasi polisakarida	KRITIS: Pita kuat ini mengkonfirmasi keutuhan kerangka cincin piranosa kitosan. Kehadiran pita C-O-C yang intens menunjukkan bahwa proses deasetilasi tidak merusak tulang punggung polisakarida, menjamin integritas struktural rantai polimer.
11	872,38	β-glikosidik	Ikatan β-(1→4)-glikosidik	KRITIS: Pita paling diagnostik untuk diferensiasi kitosan dari senyawa lain. Ikatan β-(1→4)-glikosidik adalah ciri khas yang membedakan kitosan dari kitosan-α atau turunannya. Kehadirannya membuktikan autentisitas dan konfigurasi stereo yang tepat yang diperlukan untuk aktivitas biologis optimal.



Gambar 2. Spektrum FTIR Kitosan dari Limbah Cangkang Udang (*Litopenaeus vannamei*)

Karakteristik kimia kitosan dievaluasi menggunakan metode FTIR. Berdasarkan spektrum inframerah yang dihasilkan teramati sejumlah pita serapan yang mengindikasikan keberadaan gugus fungsi khas kitosan. Pita serapan pada daerah $3259,82\text{ cm}^{-1}$ diidentifikasi sebagai vibrasi regangan gugus hidroksil ($-\text{OH}$) dan amina ($-\text{NH}$). Keberadaan pita tersebut sesuai dengan hasil penelitian Wulandari et al., (2020) yang melaporkan karakteristik serapan khas kitosan pada rentang bilangan gelombang yang berdekatan, sedangkan pita pada $1623,63\text{ cm}^{-1}$ dan $1550,84\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan keberadaan gugus amida I dan amida II. Selain itu, serapan pada daerah $1020,35\text{ cm}^{-1}$ berkaitan dengan vibrasi gugus $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ dalam rantai polisakarida, sedangkan pita pada $872,38\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan keberadaan ikatan β -(1 \rightarrow 4)-glikosidik yang mencerminkan karakteristik struktur kitosan.

Keberadaan gugus hidroksil, amina, amida, dan ikatan β -(1 \rightarrow 4)-glikosidik menunjukkan bahwa proses deasetilasi kitin menjadi kitosan telah berlangsung dengan baik. Gugus amina bebas ($-\text{NH}_2$) yang terbentuk merupakan gugus aktif yang berperan dalam aktivitas antimikroba kitosan. Peningkatan jumlah gugus amina bebas pada kitosan berpotensi meningkatkan aktivitas biologisnya dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme (Thermal & Properties, 2023). Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa kitosan hasil sintesis dari limbah cangkang udang memiliki karakteristik kimia yang sesuai dengan karakteristik kitosan standar dan layak digunakan dalam aplikasi pengawetan pangan.

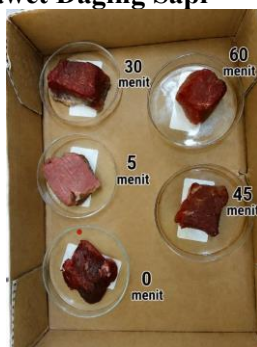
Korelasi Data FTIR dan XRD dengan Efektivitas Pengawetan Daging Sapi

Pola difraksi sinar-X yang diperoleh mengindikasikan bahwa material kitosan hasil pengolahan cangkang udang memiliki struktur kristal monoklinik dengan ukuran kristal pada skala nanometer. Struktur kristal yang baik menunjukkan bahwa proses sintesis telah menghasilkan kitosan dengan tingkat kristalinitas yang mendukung kestabilan material dan aktivitas biologisnya. Ukuran kristal yang kecil juga memberikan luas permukaan spesifik yang lebih tinggi sehingga memungkinkan terjadinya interaksi yang lebih efektif antara kitosan dan mikroorganisme penyebab kerusakan daging (Jin et al., 2021).

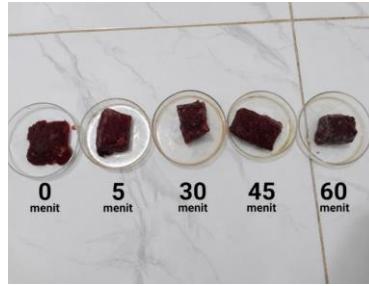
Karakterisasi menggunakan FTIR mengonfirmasi keberadaan gugus hidroksil ($-\text{OH}$), amina ($-\text{NH}_2$), amida, dan ikatan β -(1 \rightarrow 4)-glikosidik yang merupakan komponen struktural utama kitosan. Gugus amina bebas yang terdapat pada rantai polimer kitosan berkontribusi terhadap aktivitas antimikrobanya. Dalam kondisi tertentu, gugus amina dapat bermuatan positif dan berikatan dengan komponen bermuatan negatif pada dinding atau membran sel mikroba. Mekanisme ini dapat menyebabkan perubahan permeabilitas membran sehingga menghambat metabolisme dan perkembangan mikroorganisme (Wulandari et al., 2020).

Karakteristik struktur kristal dan gugus fungsi yang teridentifikasi melalui analisis XRD dan FTIR berkorelasi dengan hasil uji aplikasi pengawetan daging sapi. Kitosan mampu memperlambat perubahan tekstur, menekan pembentukan bau busuk, dan mempertahankan kestabilan pH selama penyimpanan. Gugus fungsi khas yang terdeteksi pada kitosan mengindikasikan bahwa material hasil sintesis memiliki kemampuan dalam menekan pertumbuhan mikroba serta membentuk lapisan tipis pelindung yang berperan dalam menjaga kualitas permukaan daging. Dengan demikian, hasil karakterisasi XRD dan FTIR mendukung efektivitas kitosan sebagai pengawet alami daging sapi.

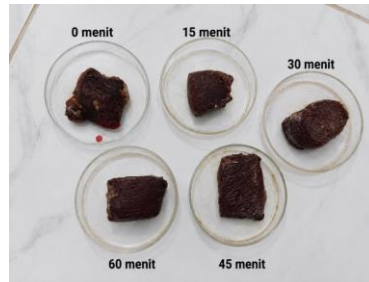
Uji Efektivitas Kitosan sebagai Pengawet Daging Sapi



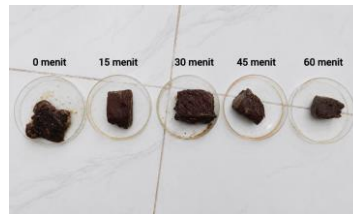
Gambar 1. Foto Hasil Uji Daging Sapi Hari Ke-1



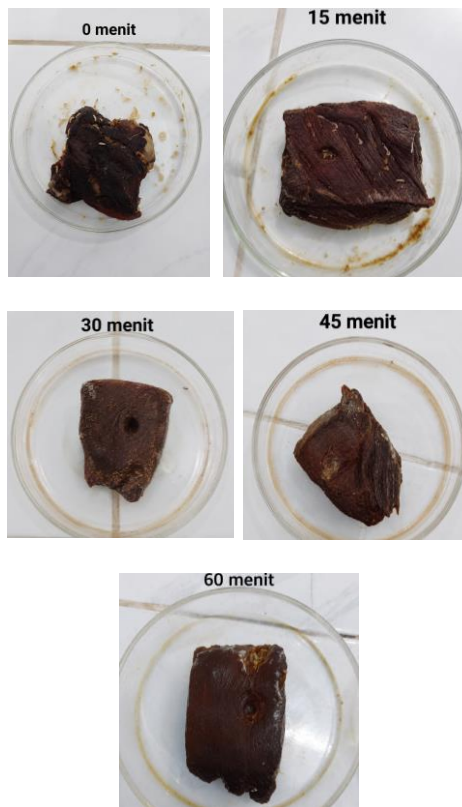
Gambar 2. Foto Hasil Uji Daging Sapi Hari Ke-2



Gambar 3. Foto Hasil Uji Daging Sapi Hari Ke-3



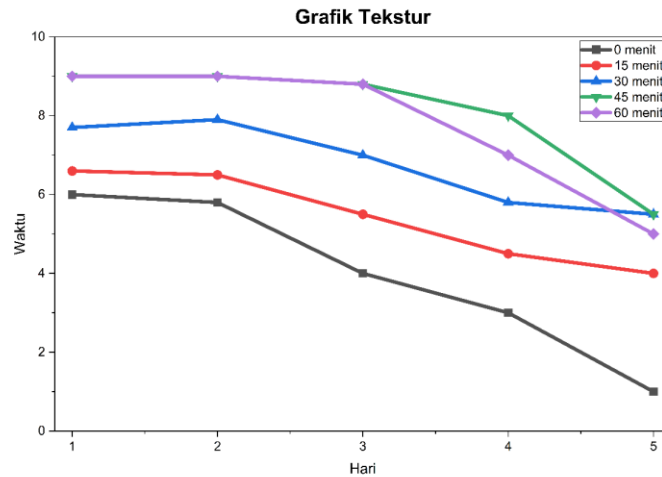
Gambar 4. Foto Hasil Uji Daging Sapi Hari Ke-4



Gambar 5. Foto Hasil Uji Daging Sapi Hari Ke-5

Hasil observasi visual mengindikasikan bahwa perendaman dalam larutan kitosan memengaruhi laju perubahan kualitas daging sapi selama penyimpanan. Sampel tanpa perlakuan (0 menit) menunjukkan tingkat kerusakan paling tinggi yang ditandai dengan perubahan warna menjadi coklat kehitaman, muncul lendir, dan pertumbuhan larva pada hari ke-5. Perlakuan 45 menit dan 60 menit menunjukkan kondisi daging yang paling stabil dengan warna yang masih relatif baik dan tekstur yang lebih padat.

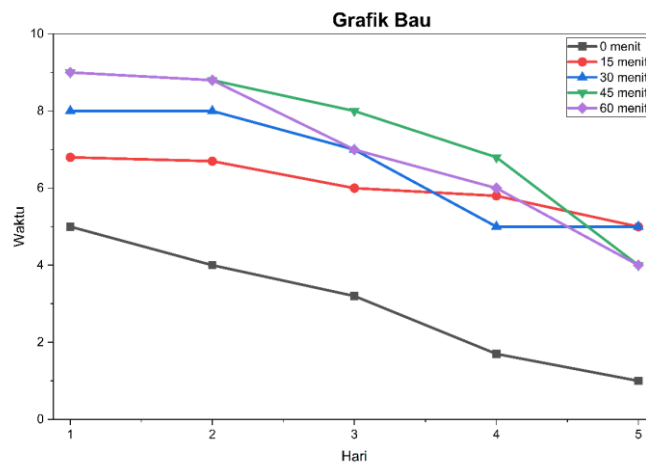
Perubahan Tekstur



Gambar 6. Grafik Perubahan Nilai Tekstur Daging Sapi Selama 5 Hari Penyimpanan

Grafik tekstur menunjukkan bahwa seluruh sampel mengalami penurunan nilai tekstur selama penyimpanan lima hari. Kelompok kontrol (0 menit) mengalami penurunan paling tajam dari nilai 6,0 menjadi 1,0 pada hari ke-5. Sebaliknya, kelompok perendaman 45 menit dan 60 menit mampu mempertahankan tekstur pada kategori sangat baik (9,0) hingga hari ke-2 dan baik (5,5–8,0) hingga hari ke-5. Kemampuan kitosan dalam mempertahankan tekstur daging berkaitan dengan kemampuannya membentuk lapisan pelindung (edible coating) pada permukaan daging yang menghambat penguapan air dan mencegah denaturasi protein serta aktivitas proteolitik (Steers et al., 2019). Analisis XRD memperlihatkan bahwa ukuran kristalit kitosan berada pada rentang 4,36–4,57 nm. Ukuran yang relatif kecil tersebut menghasilkan luas permukaan yang lebih tinggi sehingga dapat meningkatkan kemampuan kitosan dalam membentuk lapisan pelindung pada permukaan daging.

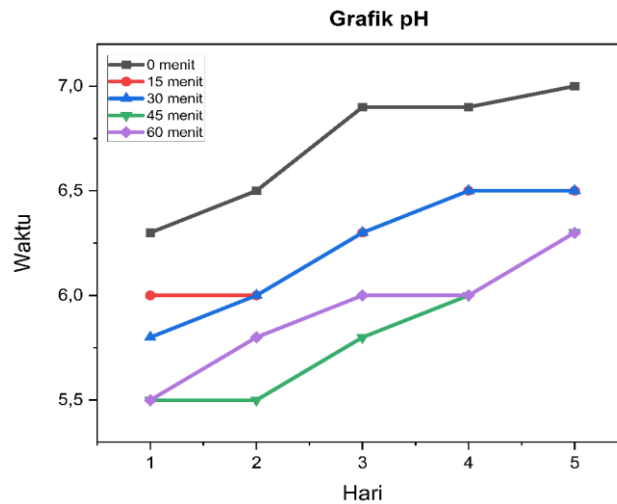
Perubahan Bau



Gambar 7. Grafik Perubahan Nilai Bau Daging Sapi Selama 5 Hari Penyimpanan

Hasil pengamatan organoleptik menunjukkan bahwa sampel tanpa perlakuan kitosan mengalami penurunan kualitas aroma yang lebih cepat dibandingkan perlakuan lainnya. Skor bau yang awalnya berada pada nilai 5,0 menurun hingga 1,0 pada hari kelima, menandakan terjadinya proses deteriorasi daging selama penyimpanan. Kelompok perendaman 45 dan 60 menit sama-sama menunjukkan nilai bau awal 9,0 (sangat baik) pada hari ke-1 dengan penurunan yang lebih gradual. Pengendalian bau pada daging oleh kitosan diduga terjadi melalui mekanisme antimikroba yang melibatkan gugus amina terprotonasi. Keberadaan gugus tersebut, yang ditunjukkan oleh pita serapan FTIR pada $1550,84\text{ cm}^{-1}$, memungkinkan terjadinya interaksi dengan permukaan sel bakteri sehingga aktivitas mikroba penyebab pembusukan dapat ditekan (Kong et al., 2015).

Perubahan Nilai pH



Gambar 8. Grafik Perubahan Nilai pH Daging Sapi Selama 5 Hari Penyimpanan

Nilai pH merupakan parameter objektif yang mencerminkan tingkat kesegaran dan kerusakan daging. Kondisi daging sapi yang masih segar biasanya ditandai oleh nilai pH sekitar 5,4–6,0. Sebaliknya, nilai pH yang melebihi 6,5 dapat mencerminkan berlangsungnya degradasi senyawa protein akibat aktivitas mikroba proteolitik selama penyimpanan (Sinardi et al., 2013). Pada kelompok kontrol, nilai pH meningkat dari 6,3 menjadi 7,0 pada hari ke-5. Kelompok perendaman 45 menit dan 60 menit menunjukkan nilai pH awal terendah yaitu 5,5, dan mengalami kenaikan yang lebih lambat selama periode penyimpanan (6,3 pada hari ke-5). Kemampuan kitosan dalam mempertahankan pH daging dalam kisaran yang lebih rendah merupakan salah satu mekanisme utama yang mendasari efektivitasnya sebagai pengawet alami daging sapi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kitosan yang diperoleh dari limbah cangkang udang memiliki prospek sebagai bahan pengawet alami untuk menjaga kualitas daging sapi selama penyimpanan. Perlakuan perendaman selama 45 menit dan 60 menit mampu mempertahankan karakteristik tekstur, menekan munculnya aroma tidak sedap, serta menjaga nilai pH tetap relatif stabil pada penyimpanan suhu ruang. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa kitosan dapat dimanfaatkan sebagai alternatif pengawet alami yang lebih ramah lingkungan dan berpotensi mendukung keamanan produk pangan berbasis daging.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mensintesis kitosan dari limbah cangkang udang melalui tahapan deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan adanya puncak difraksi utama pada sudut 2θ sebesar $19,042^\circ$ yang mengindikasikan terbentuknya struktur kristal monoklinik dengan ukuran kristalit pada rentang 4,36–4,57 nm. Karakterisasi FTIR mengonfirmasi keberadaan gugus fungsi khas kitosan, yaitu gugus hidroksil ($-\text{OH}$), amina ($-\text{NH}_2$), amida, dan ikatan β -(1 \rightarrow 4)-glikosidik, yang menandakan bahwa proses konversi kitin menjadi kitosan berlangsung dengan baik. Temuan tersebut menunjukkan bahwa limbah cangkang udang dapat dimanfaatkan

sebagai sumber bahan baku kitosan yang memiliki karakteristik struktural dan kimia yang sesuai untuk berbagai aplikasi di bidang pangan.

Pengujian aplikasi menunjukkan bahwa kitosan hasil sintesis efektif digunakan sebagai bahan pengawet alami daging sapi pada penyimpanan suhu ruang. Perlakuan perendaman kitosan mampu memperlambat penurunan kualitas daging yang ditunjukkan oleh kemampuan mempertahankan tekstur, menekan munculnya bau tidak sedap, dan menjaga kestabilan nilai pH selama lima hari penyimpanan. Perlakuan perendaman selama 45 menit dan 60 menit memberikan kinerja terbaik dibandingkan perlakuan lainnya, sehingga dapat dianggap sebagai kondisi yang paling efektif dalam mempertahankan mutu daging sapi. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa pemanfaatan kitosan berbasis limbah cangkang udang tidak hanya berpotensi sebagai alternatif pengawet alami yang aman dan ramah lingkungan, tetapi juga mendukung peningkatan nilai tambah limbah perikanan melalui pengembangan produk biomaterial yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Angioletti, B. L., Hoffmann, T. G., dos Santos, S. P., Meinert, C., Bertoli, S. L., Prudêncio, E. S., & de Souza, C. K. (2024). Improving beef burger quality during cold storage: effect of Aloe vera gel, packaging, and temperature. *Brazilian Journal of Food Technology*, 27. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.0332024>
- Bayu, A., Nandiyanto, D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). 15806-33512-2-Pb. 1, 97–118.
- Berty, G. A. (2020). Potensi Serbuk Biji Pepaya (*Carica Papaya L .*) Varietas ‘Bangkok’ Sebagai Bahan Pengawet Daging Ikan Layang Biru (*Decapterus macarellus Cuvier, 1833*). *Skripsi*.
- Bocchetta, P. (2020). *Ionotropic Gelation of Chitosan for Next-Generation Composite Proton Conducting Flat Structures*.
- Cancer, I. A. for R. on. (2019). IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans - Preamble. *World Health Organisation, January*. <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications>.
- Collins, S. P., Storrow, A., Liu, D., Jenkins, C. A., Miller, K. F., Kampe, C., Butler, J., Amin, A., Khairi, N., Allo, E., Saniy, T. H., Sudarno, S., Purwono, P., F. W. Mahatmanti, E. Kusumastuti1, Jumaeril, M. S., A. Susiyanti1, U. H., Dirgantari1, P. S., Ifa, L., Artiningsih, A., Julniar, ... Fatimah, L. N. (2019). Pemanfaatan Kitosan Dari Cangkang Udang sebagai Adsorben Logam Berat Pb pada Limbah Praktikum Kimia Farmasi. *Promine*, 3(2), 12–19. <https://doi.org/10.33059/katalis.v6i2.8083>
- Damian, C. S., Yuvarajan, D., Raja, T., Choubey, G., & Munuswamy, D. B. (2024). Biodiesel production from shrimp shell lipids: Evaluating ZnO nanoparticles as a catalyst. In *Results in Engineering* (Vol. 24, p. 101705). <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103453>
- Jin, T., Liu, T., Lam, E., & Moores, A. (2021). Chitin and chitosan on the nanoscale. *Nanoscale Horizons*, 6(7), 505–542. <https://doi.org/10.1039/D0NH00696C>
- Kong, M., Chen, X. G., Xing, K., & Park, H. J. (2015). Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: A state of the art review. *International Journal of Food Microbiology*, 144(1), 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.09.012>
- Meng, F., Yan, X., Nkede, F. N., Wardak, M. H., Van, T. T., Tanaka, F., & Tanaka, F. (2024). An intelligent chitosan/polyvinyl alcohol film with two types of anthocyanins for improved color recognition accuracy and monitoring fresh-cut pineapple freshness. *Food Packaging and Shelf Life*, 46, 101402. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101402>
- Rahmawati, Kuliahsari, D. E., Saleh, E. R. M., Putri, D. A., Pamujiati, A. D., Nurhayati, Puspitojati, E., Kurniawati, E., Komalasari, H., Chaniago, R., Fadhila, P. T., Subaktilah, Y., Nurhasana, S., & Budaraga, I. K. (2024). *Teknologi Pengolahan dan Hasil Pertanian*.
- Sahubawa, L., & ustadi. (2018). *Teknologi Pengawetan dan Pengolahan Hasil Perikanan - Google Books* (pp. 1–255). https://www.google.co.id/books/edition/Teknologi_Pengawetan_dan_Pengolahan_Hasi/gyRYDwAAQBAJ?hl=id&gbpv=0
- Sinardi, Prayatni Soewondo, & Suprihanto Notodarmojo. (2013). *Pembuatan, Karakterisasi Dan Aplikasi Kitosan Dari Cangkang Kerang Hijau (Mytilus Virdis Linneaus) Sebagai Koagulan Penjernih Air*. 24–25. http://sipil.ft.uns.ac.id/konteks7/index_qa.php
- Steers, H., Bratzler, W., & Choi, Y. M. (2019). *Associations of Heat-Shock Protein Expression with*

Meat Quality and Sensory Quality Characteristics in Highly Marbled Longissimus Thoracis Muscle from.

- Suharto, S., Purnamayati, L., Sumardianto, & Arifin, M. H. (2024). Application of Edible Coating Carrageenan with Curcuma and Chitosan Addition on the Bone-Pulled Milkfish. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 27(6), 511–525. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v27i6.52898>
- Thermal, I., & Properties, A. (2023). *Sustainable Chitosan / Polybenzoxazine Films : Synergistically*.
- Turck, D., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Kearney, J., Maciuk, A., Mangelsdorf, I., McArdle, H. J., Naska, A., Pelaez, C., Pentieva, K., Siani, A., Thies, F., Tsabouri, S., Vinceti, M., Cubadda, F., Frenzel, T., Heinonen, M., Marchelli, R., ... Knutsen, H. K. (2021). Safety of water extract of *Cistanche tubulosa* stems as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 19(1), 6346. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6346>
- WCRF/AICR (2018). Diet, nutrition, physical activity and cancer: a global perspective. Continuous Update Project Expert Report 2018. World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research. Available from: <https://www.wcrf.org/dietandcancer>. (2018).
- Widjonarko, N. E. (2016). Introduction to advanced X-ray diffraction techniques for polymeric thin films. *Coatings*, 6(4), 1–17. <https://doi.org/10.3390/coatings6040054>
- Wulandari, W. T., Nurzaman, Pratita, A. T. K., & Idacahyati, K. (2020). Pengaruh Variasi Konsentrasi NaOH Terhadap Nilai Derajat Deasetilasi Kitosan dari Limbah Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis* L). *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 6(3), 171–176. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2020.v6.i3.15277>
- Younes, I., & Rinaudo, M. (2015). *Chitin and Chitosan Preparation from Marine Sources. Structure, Properties and Applications*. 1133–1174. <https://doi.org/10.3390/md13031133>