

Karakterisasi Edibilitas Kitosan Berdasarkan pada Derajat Deasetilasinya

(Characterization of Chitosan Edibility Based on the Degree of Deacetylation)

Fawait Afnani^{1*}, Anes Febri Novia Pramesti Yusfita Ningrum¹, Prima Agusti Lukis²

¹Keteknikan Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

²Teknik Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi, Institut Ilmu Kesehatan Bhakti Wiyata Kediri

*Email Koresponden: fawaitafnani@gmail.com

Received: 28 Oktober 2024 | Accepted: 8 November 2024 | Published: 29 November 2024

Kata Kunci	ABSTRAK
Derajat Deasetilasi, Edibilitas, FTIR, kitosan.	Komponen tambahan pada makanan adalah penting untuk meningkatkan kuantitas dan kualitas makanan. Perlunya penggunaan bahan yang alami agar tidak berbahaya bagi Kesehatan. Kitosan adalah sumber alami yang melimpah dengan sifat biocompatible dan biodegradable dan dapat dikonsumsi sehingga sesuai untuk berbagai aplikasi makanan . Cangkang krustacea berasal dari jenis udang dogol (<i>Metapenaeus ensis</i>). Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan kitosan standar pangan (<i>food grade</i>) melalui proses deproteinasi, demineralisasi, deasetilasi dan preparasi kitosan standar pangan. Perlakuan awal dengan menghaluskan serbuk kulit udang, lalu dilarutkan dalam NaOH 3,5% rasio 1:10 (b/v) dan HCl 1N rasio 1:15 (b/v). Kemudian dilanjutkan dengan NaOH 60% rasio 1:10 (b/v) selama 4 jam pada suhu 120 °C, selanjutnya dipreparasi dalam asam asetat 1% (v/v) selama 45 menit pada 25 °C. Kalkulasi derajat deasetilasi menggunakan metode <i>baseline</i> dan karakterisasi menggunakan FTIR. Kitosan standar pangan diperoleh dengan nilai DD 82,24%. Hasil analisis dengan FTIR muncul adanya gugus O-H, N-H, C-H, C-N, dan C-O. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kitosan standar pangan telah berhasil disintesis untuk digunakan dalam komponen makanan. Namun, parameter lain perlu dilakukan untuk menambah karakteristik fisiokimia dan biologis.
Keywords	ABSTRACT
<i>Degree of Deacetylation, Edibility, FTIR, Chitosan.</i>	<i>Additional components in food are very important to improve the quantity and quality of food. The need to use natural ingredients so that they are not harmful to health. Chitosan is an abundant natural source with biocompatible and biodegradable properties and can be consumed so that it is suitable for various food applications. Crustacean shells come</i>

*from the type of dogol shrimp (*Metapenaeus ensis*). This study aims to produce food grade chitosan through the process of deproteination, demineralization, deacetylation and preparation of food grade chitosan. Initial treatment by grinding shrimp shell powder, then dissolved in 3.5% NaOH ratio 1:10 (w / v) and 1N HCl ratio 1:15 (w / v). then continued with 60% NaOH ratio 1:10 (w / v) for 4 hours at a temperature of 120 °C, then prepared in 1% acetic acid (v / v) for 45 minutes at 25 °C. Calculate the degree of deacetylation using the baseline method and FTIR characterization. Food standard chitosan obtained a DD value of 82.24%. The results of the FTIR analysis showed the presence of O-H, N-H, C-H, C-N, and C-O groups. The results of the study indicate that food standard chitosan has been successfully synthesized for use in food components. However, other parameters need to be carried out to improve the physiochemical and biological characteristics.*

1. PENDAHULUAN

Proses konsumsi makanan dan minuman yang terkontaminasi secara terus-menerus tentu pengaruhnya pada potensi kerentanan manusia terhadap penyakit dan kerugian ekonomi (Grace et al., 2020; Owusu-Apenten & Vieira, 2023). Data pada tahun 2023 yang dilaporkan oleh BPOM menyatakan bahwa sebaran kasus yang paling dominan yaitu keracunan yang diakibatkan oleh makanan dan minuman yaitu 1110 kasus dan 96 kasus tergolong kasus kejadian luar biasa keracunan pangan. Angka KLB-KP tersebut meningkat sebesar 33% dibandingkan tahun sebelumnya, yaitu 72 kasus dan angka kematian hingga 15 orang (Yarni et al., 2023). Penanganan dan penyiapan makanan yang tepat, kebersihan, dan metode dekontaminasi produk yang lebih baik dapat mengurangi morbiditas dan mortalitas masalah tersebut secara drastis (Asia & 2023, 2023). Industri makanan telah mengadopsi berbagai metode untuk menghindari makanan dari kontaminasi, termasuk bahan tambahan makanan. Industri makanan telah mengadopsi berbagai metode untuk menghindari makanan dari kontaminasi, termasuk bahan tambahan makanan yang merupakan bagian dari campuran pada produk makanan untuk meningkatkan kualitas makanan, seperti antioksidan, penurun kadar lemak, suplemen, dan aditif makanan (Cheba, 2020).

Bahan tambahan pada makanan sedang mengalami pertumbuhan permintaan yang signifikan, apalagi bahan yang terbuat dari material makanan alami (*food grade*). Kealamian tersebut tidak saja menawarkan kebermanfaatan secara biologis namun juga dapat dicerna dan diurai secara hayati serta mengurangi masalah lingkungan akibat dari bahan sintetis dan *non-biodegradable*.

Kitosan adalah bahan alternatif yang paling potensial dalam memenuhi permintaan tersebut. Kitosan merupakan sebuah polisakarida polikationik yang diperoleh dari proses deasetilasi kitin tersusun dari unit *N*-asetil-d-glukosamina yang dihubungkan oleh ikatan β -(1,4)-glikosidik (Sethi et al., 2022). Kitosan sebagai sebuah biopolymer hidrofilik yang aman untuk digunakan pada makanan (Fernandes et al., 2019; Gibson et al., 2017), dalam industri makanan (Chen et al., 2023), sebagai suplemen diet (Huang et al., 2018; Mrázek et al., 2010), dan bahan aditif makanan (Khan et al., 2018a). Oleh karena itu, kandungan glukosamina (derajat deasetilasi atau DD) adalah salah satu parameter penting untuk karakterisasi kitosan dan punya pengaruh pada sifat fisikokimia dan fungsional kitosan, khususnya tingkat edibilitas (*solubility*) kitosan sebagai bahan tambahan pada makanan (Li & Xia, 2011a; Luo & Wang, 2013).

Kitosan diperoleh dengan melimpah dari cangkang krustacea melalui proses deasetilasi yang melibatkan penghilangan gugus asetil dari rantai molekul kitin, sehingga menghasilkan gugus amino ($-NH_2$) (Ahmad Khan et al., 2002).

Dalam penelitian ini, kitosan disintesis dari kulit udang kemudian dipreparasi berdasarkan standar pangan dan dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk mengkonfirmasi nilai derajat deasetilasi dalam kategori standar pangan (*food grade*).

2. METODE

Peralatan yang digunakan adalah beaker glass, erlenmeyer, ayakan 100 mesh, *magnetic stirrer*, pemanas elektrik, kain katun, corong *Buchner*, indikator pH, *thermometer*, neraca analitik, pengering beku, FTIR (8400S Shimadzu), oven listrik,

Bahan-bahan yang diperlukan dengan kemurnian *pro analysis* adalah aquades, NaOH, HCl pekat, CH_3COOH , ninhidrin, dan aqua demineralisasi.

2.1 Sintesis Kitosan dari Limbah Kulit Udang

2.1.1 Preparasi serbuk kulit udang

Kulit udang segar diperoleh dari jenis udang dogol (*Metapenaeus ensis*), dicuci dan dibersihkan. Lalu dijemur sampai kering, kemudian digiling sampai halus. Selanjutnya kulit udang yang halus diayak dengan ayakan 100 mesh untuk mendapatkan dalam bentuk serbuk.

2.1.2 Deproteinasi serbuk kulit udang

Serbuk kulit udang dilarutkan dalam NaOH 3,5% dengan rasio 1:10 (berat/volume). Larutan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 2 jam pada suhu 65 °C. Kemudian larutan dimasukkan ke dalam penangas air sampai endapan terdekantasi sepenuhnya. Lalu endapan dipisahkan dengan saringan kain dan corong *Buchner*. Endapan dicuci dengan aquades sampai pH netral dan dikeringkan dengan oven vakum selama 4 jam pada suhu 100 °C. Endapan kering lalu diuji dengan ninhydrin untuk mengetahui bahwa endapan sudah tidak terkandung protein (Purwanto, 2012).

2.1.3 Demineralisasi serbuk kulit udang

Endapan dari proses deproteinasi serbuk kulit udang dicampur dengan larutan HCl 1N dengan rasio 1:15 (berat/volume). Hasil endapannya diaduk dengan *magnetic stirrer* dan dibiarkan mengendap. Endapan dipisahkan dengan saringan kain dan corong *Buchner*. Lalu dicuci dengan aqua demineralisasi sampai pH netral dan dikeringkan dalam oven vakum selama 4 jam pada suhu 100 °C (Purwanto, 2012).

2.1.4 Deasetilasi kitin menjadi kitosan

Endapan dari proses demineralisasi serbuk kulit udang dilarutkan dalam NaOH 60% dengan rasio 1:10 (berat/volume) sambil dipanaskan selama 4 jam pada suhu 120 °C. Endapan dipisahkan dengan saringan kain dan corong *Buchner* dan dicuci dengan aquades sampai pH netral. Endapan kemudian dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 100 °C selama 4 jam. Endapan ini adalah endapan polimer kitosan. Konfirmasi terbentuknya kitosan dilakukan dengan uji FTIR (Puspawati & Simpen, 2010).

2.1.5 Preparasi kitosan standard pangan

Preparasi ini modifikasi dari perlakuan yang dilakukan oleh (Kumar et al., 2018). Serbuk kulit udang (1,5% berat/volume) dilarutkan dalam asam asetat 1% (volume/volume), lalu diaduk selama 45 menit dengan *magnetic stirrer* pada suhu ruang (25 °C), kemudian gel kitosan disaring dengan kain halus dan corong *Buchner* untuk menghilangkan residu dan diendapkan

dengan larutan NaOH 0,5M. Endapan dicuci dengan aquades sampai pH netral dan di-*lyophilisasi* dengan pengeringan beku.

2.1.6 Perhitungan derajat deasetilasi kitosan

Kalkulasi berdasarkan hasil spektra FTIR kitosan menggunakan *baseline*, yaitu spektrum gugus amida yang berada di daerah serapan sekitar 1655 cm^{-1} dan spektrum puncak gugus hidroksil di daerah serapan sekitar 3450 cm^{-1} . Rasio intensitas spektrum puncak dari dua gugus tersebut dapat digunakan dengan membuat garis lurus dari $1800\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$ sebagai garis dasar pita gugus amida dan membuat garis lurus dari $4000\text{--}2500\text{ cm}^{-1}$ sebagai garis dasar pita gugus hidroksil (Ahmad Khan et al., 2002). Perhitungan dilakukan dengan persamaan 2.1 (Domszy & Roberts, 1985).

$$\%DD = 1 - \left[\frac{A_{1660}}{A_{3452}} \times \frac{1}{1.33} \right] \times 100 \quad (3.1)$$

Keterangan:

A_{1660} = absobans pada serapan 1660 cm^{-1} (gugus amida)

A_{3450} = absorbans pada serapan 3452 cm^{-1} (gugus hidroksil)

1.33 = Konstanta untuk kitin yang terdeasetilasi sempurna (100%)

2.2 Karakterisasi Kitosan dengan FTIR

Gugus fungsi kitosan dianalisis dengan Fourier Transform Infrared Spectroscopy dengan cara membuat pelet berisi 1 mg sampel serbuk kulit udang yang telah mengalami proses preparasi standar pangan dalam 100 mg kalium bromide (KBr). Analisis ini dilakukan pada panjang gelombang antara $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ untuk mengetahui transformasi kitin menjadi kitosan dan digunakan dalam penentuan derajat deasetilasinya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan kitosan standar pangan meliatkan 4 tahap: deproteinasi (DP), demineralisasi (DM), deasetilasi (DA), dan preparasi kitosan standar pangan.

3.1 Sintesis Kitosan Standar Pangan

Tahap awal adalah preparasi serbuk kulit udang yang halus menggunakan ukuran ayakan 100 mesh. Serbuk halus ini lebih dimanfaatkan dalam keefektifitasan permukaan untuk hasil lebih besar (Kurniasih & Dwiasi, 2007). Tahap deproteinasi dilakukan agar menghasilkan serbuk kulit udang dengan kandungan protein residual paling rendah (Purnawan, 2008). Proses deproteinasi menggunakan NaOH encer pada suhu $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ membentuk Na-proteinat yang dapat larut dalam air. Kitin yang dihasilkan tidak hanya mengandung protein, namun juga mineral-mineral seperti CaCO_3 dan Ca_3PO_4 . Oleh karena itu, proses demineralisasi diperlukan untuk menghilangkannya dari serbuk kulit udang. CO_2 yang terbentuk sebagai indikator proses demineralisasi telah terjadi. Pencucian dengan aqua DM perlu dilakukan agar mencegah adanya degradasi produk selama proses pengeringan (Harly Pebriani et al., 2012).

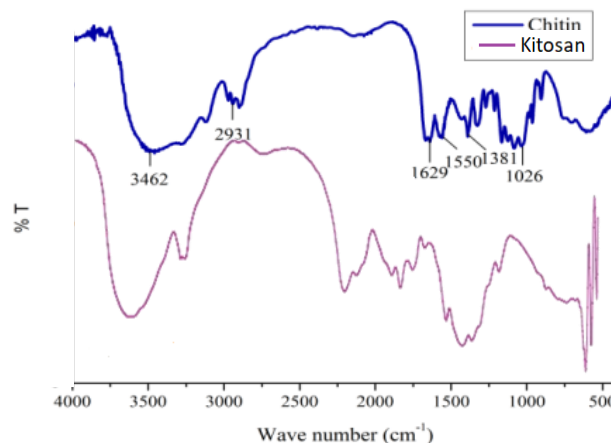
Deasetilasi bertujuan menghilangkan gugus asetil dengan menambahkan NaOH. Preparasi kitosan standar pangan perlu dilakukan untuk meminimalisir kontaminan kuat yang berasal dari proses modifikasi untuk menghasilkan kitosan murni sehingga layak (*edible*) sebagai bahan penambah makanan (Khan, Tango, & Oh, 2017; Khan, Tango, Miskeen, et al., 2017; Luo & Wang, 2013). Hasil dari sintesis kitosan dengan standar pangan adalah serbuk bertekstur lebih halus dan berwarna putih kecoklatan seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Serbuk kulit udang standar pangan

3.2 Karakterisasi

Analisis spektrum FTIR dilakukan untuk menentukan keberhasilan proses pembentukan kitin menjadi kitosan dan mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada kitosan. Spektra hasil FTIR kitin dan kitosan standar dari kulit udang (Harmami et al., 2019; Varun et al., 2017) dapat dilihat pada Gambar 2. Berbagai puncak serapan pada kitin dan kitosan dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2. Spektra FTIR kitin dan kitosan standar

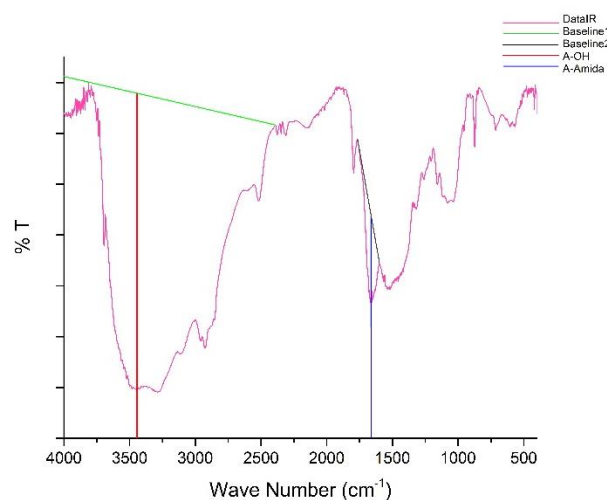
Tabel 1. Puncak serapan FTIR kitin dan kitosan standar

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	
	Kitin	Kitosan
OH	3462,34	-
N-H (-NHCOCH ₃)	1550,82	-
N-H (-NH ₂)	-	3420
-CH ₃	2931,90	-
-CH ₂ -	2893,02	2921
C=O	1629,90	1654
-C-N	1381,08	1320
-C-O	1026,16	1029

Karakter vibrasi kitin yang khas pada 1550,82 cm⁻¹ dan 1629,90 cm⁻¹ dari gugus amida dalam (1-4)-2-asetamida-2-deoksi-D-glukosa (Dompeipen et al., 2016). Pada kitosan, vibrasi khasnya ditandai pada gugus amina di 3420 cm⁻¹.

Hasil sintesis kitosan dari deasetilasi kitin dapat ditunjukkan karakternya dengan FTIR pada Gambar 3. Pada spektra terlihat serapan pada 3444,87 cm⁻¹ (vibrasi OH). 3273,20 cm⁻¹ (N-H *stretching vibration*) dari amina yang merupakan karakter khas dari kitosan. Namun pada 2926,01 cm⁻¹ tidak terlalu tajam penurunan intensitas vibrasi *stretching* C-H. Hal tersebut

menunjukkan bahwa kitin tidak terdeasetilasi seluruhnya (Purnawan, 2008). Pada daerah di sekitar 1400 cm^{-1} terjadi saling tumpang tindih vibrasi *bending* C-H dan C-N. Vibrasi -C-O muncul pada serapan $1157,29\text{ cm}^{-1}$ dan $1078,21\text{ cm}^{-1}$.



Gambar 3. Hasil analisa derajat deasetilasi *via* spektra FTIR

3.3 Derajat Deasetilasi Kitosan

Tingkat kualitas kitosan dapat dinyatakan dalam persen derajat deasetilasi. Pada proses deasetilasi menyisakan gugus amina ($-\text{NH}_2$) yang memiliki reaktivitas tinggi. Tingkat kereaktifan (DD) dan berat molekul (BM) mempunyai pengaruh yang besar terhadap sifat fisis, biologis, dan mekanis dari kitosan (Li & Xia, 2011b; Sutharsan & Zhao, 2023). Semakin besar tingkat kereaktifan, maka semakin banyak gugus asetil yang hilang, sehingga berat molekul semakin kecil.

Nilai derajat deasetilasi ditentukan melalui hasil spektrum FTIR dengan metode *baseline* (Domszy & Roberts, 1985). Menurut Trisnawati et al., (2013), nilai derajat deasetilasi $>70\%$ dikategorikan sebagai kitosan. Berdasarkan analisa menggunakan *baseline* b diperoleh derajat deasetilasi kitosan standar pangan (*food grade*) sebesar 82,24%.

Edibilitas kitosan tentu hubungannya dengan derajat deasetilasi dan berat molekul yang mempengaruhi karakteristik fungsional, kekurangan, dan kelarutannya (Nguyen et al., 2009). Kitosan adalah polimer dengan residu D-glukoamina yang menyebabkannya tidak larut pada rentang pH dalam tubuh. Untuk itu, tujuan penggunaan kitosan yang lebih larut dalam air (*modified chitosan*) adalah mengurangi efek samping seperti sembelit dan mual (Harkin et al., 2019). Kitosan yang dapat larut dalam air merupakan turunan kitosan dengan sifat yang berbeda dari kitosan murni (DD dan BM lebih kecil), sehingga memungkinkan penerapannya sebagai komponen dalam makanan, antioksidan, antibakteri, dan nutrasetikal (Arata Badano et al., 2019; Tungtung et al., 2012). Menurut Khan et al., (2018b) menyatakan bahwa kitosan yang digunakan sebagai bahan aditif dan pembawa makanan (*carriers for food-grade antimicrobial agents*) mempunyai sifat antimikroba yang signifikan dengan nilai DD 85% dan BM 52 kDa. Selain itu, kitosan yang dimodifikasi sehingga dapat larut dalam air (DD 82%; 3000 Da) dapat dijadikan sebagai sumber aditif pada makanan dalam menurunkan obesitas (Jin et al., 2017). Sebagai tambahan, kitosan sebagai makanan alami untuk diet (*food-grade chitosan* DD 80%; ~30 kDa) mempunyai pengaruh dalam mengurangi berat badan dan kandungan makanan dengan rendah kalori (Qinna et al., 2013).

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini, kitosan standar pangan disintesis dengan 4 proses: deproteinasi, demineralisasi, deasetilasi, dan preparasi kitosan (*food grade*) dengan bentuk serbuk halus dan warna putih kecoklatan. Hasil karakterisasi dengan FTIR dengan serapan khas kitosan pada $3273,20\text{ cm}^{-1}$ (N-H *stretching vibration*) dari amina. Nilai derajat deasetilasinya diperoleh 82,24%. Kitosan ini sebenarnya dapat telah digunakan sebagai komponen dalam makanan (*food grade*). Namun demikian, dibutuhkan konfirmasi lebih lanjut untuk menentukan parameter-parameter yang menjadi pendukung untuk lebih melengkapi, seperti perhitungan berat molekul ($^1\text{H-NMR}$), viskositas, kelarutan, antioksidan, dan antibakteri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada kolega atas dukungan selama penelitian dasar ini. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para anonim reviewer atas komentar bermanfaat mereka untuk makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Khan, T., Khiang Peh, K., & Seng Ch, H. (2002). Reporting degree of deacetylation values of chitosan: the influence of analytical methods. In *J Pharm Pharmaceut Sci* (www.ualberta.ca/~csp) (Vol. 5, Issue 3). www.ualberta.ca/~csp
- Arata Badano, J., Vanden Braber, N., Rossi, Y., Díaz Vergara, L., Bohl, L., Porporatto, C., Falcone, R. D., & Montenegro, M. (2019). Physicochemical, in vitro antioxidant and cytotoxic properties of water-soluble chitosan-lactose derivatives. *Carbohydrate Polymers*, 224. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115158>
- Asia, K. A.-B. B. R., & 2023, undefined. (2023). Food-Borne Diseases and their Impact on Health. *Biotech-Asia.Org*, 20(3), 745–755. <https://doi.org/10.13005/bbra/3129>
- Cheba, B. amar. (2020). Chitosan: Properties, Modifications and Food Nanobiotechnology. *Procedia Manufacturing*, 46, 652–658. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.03.093>
- Chen, Y., Liu, Y., Dong, Q., Xu, C., Deng, S., Kang, Y., Fan, M., & Li, L. (2023). Application of functionalized chitosan in food: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 235, 123716. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123716>
- Dompeipen, E. J., Kaimudin, M., & Dewa, R. P. (2016). Isolasi Kitin dan Kitosan dari Limbah Kulit Udang. *Indonesian Journal of Industrial Research*, 12(1), 32–39. <https://doi.org/10.29360/mb.v12i1.2326>
- Domszy, J. G., & Roberts, G. A. F. (1985). Evaluation of infrared spectroscopic techniques for analysing chitosan. *Die Makromolekulare Chemie*, 186(8), 1671–1677. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/macp.1985.021860815>
- Fernandes, S. S., Coelho, M. S., & Salas-Mellado, M. de las M. (2019). Chapter 7 - Bioactive Compounds as Ingredients of Functional Foods: Polyphenols, Carotenoids, Peptides From Animal and Plant Sources New. In M. R. S. Campos (Ed.), *Bioactive Compounds* (pp. 129–142). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00007-4>
- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., Scott, K., Stanton, C., Swanson, K. S., Cani, P. D., Verbeke, K., & Reid, G. (2017). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature*

- Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 14(8), 491–502.
<https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>
- Grace, D., Wu, F., & Havelaar, A. H. (2020). MILK Symposium review: Foodborne diseases from milk and milk products in developing countries—Review of causes and health and economic implications. *Journal of Dairy Science*, 103(11), 9715–9729.
<https://doi.org/10.3168/JDS.2020-18323>
- Harkin, C., Mehlmer, N., Woortman, D. V., Brück, T. B., & Brück, W. M. (2019). *Nutritional and Additive Uses of Chitin and Chitosan in the Food Industry* (pp. 1–43).
https://doi.org/10.1007/978-3-030-16581-9_1
- Harly Pebriani, R., Rilda, Y., Zulhadjri, dan, Kimia FMIPA Unand, J., & Limau Manis, K. (2012). MODIFIKASI KOMPOSISI KITOSAN PADA PROSES SINTESIS KOMPOSIT TiO₂-KITOSAN. In *Jurnal Kimia Unand* (Vol. 1, Issue 1).
- Harmami, H., Ulfen, I., Sakinah, A. H., & Ni'mah, Y. L. (2019). Water-soluble chitosan from shrimp and mussel shells as corrosion inhibitor on tinplate in 2% NaCl. In / *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences* (Vol. 15, Issue 2).
- Huang, H., Zou, Y., Chi, H., & Liao, D. (2018). Lipid-Modifying Effects of Chitosan Supplementation in Humans: A Pooled Analysis with Trial Sequential Analysis. *Molecular Nutrition & Food Research*, 62(8), 1700842.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/mnfr.201700842>
- Jin, Q., Yu, H., Wang, X., Li, K., & Li, P. (2017). Effect of the molecular weight of water-soluble chitosan on its fat-/cholesterol-binding capacities and inhibitory activities to pancreatic lipase. *PeerJ*, 2017(5). <https://doi.org/10.7717/peerj.3279>
- Khan, I., Tango, C. N., Miskeen, S., Lee, B. H., & Oh, D. H. (2017). Hurdle technology: A novel approach for enhanced food quality and safety – A review. In *Food Control* (Vol. 73, pp. 1426–1444). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.11.010>
- Khan, I., Tango, C. N., Miskeen, S., & Oh, D. H. (2018a). Evaluation of nisin-loaded chitosan-monomethyl fumaric acid nanoparticles as a direct food additive. *Carbohydrate Polymers*, 184, 100–107. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2017.11.034>
- Khan, I., Tango, C. N., Miskeen, S., & Oh, D. H. (2018b). Evaluation of nisin-loaded chitosan-monomethyl fumaric acid nanoparticles as a direct food additive. *Carbohydrate Polymers*, 184, 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.034>
- Khan, I., Tango, C. N., & Oh, D. H. (2017). Development and evaluation of chitosan and its derivative for the shelf life extension of beef meat under refrigeration storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(5), 1111–1121.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.13379>
- Kumar, R., Xavier, K. A. M., Lekshmi, M., Balange, A., & Gudipati, V. (2018). Fortification of extruded snacks with chitosan: Effects on techno functional and sensory quality. *Carbohydrate Polymers*, 194, 267–273.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.050>
- Kurniasih, M., & Dwiasi, D. W. (2007). *PREPARASI DAN KARAKTERISASI KITIN DARI KULIT UDANG PUTIH (Litopenaeus vannamei)* (Vol. 2, Issue 2). Nopember.
- Li, X., & Xia, W. (2011a). Effects of concentration, degree of deacetylation and molecular weight on emulsifying properties of chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 48(5), 768–772.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.02.016>
- Li, X., & Xia, W. (2011b). Effects of concentration, degree of deacetylation and molecular weight on emulsifying properties of chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 48(5), 768–772. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.02.016>

- Luo, Y., & Wang, Q. (2013). Recent advances of chitosan and its derivatives for novel applications in food science. *Journal of Food Processing & Beverages*, 1(1). <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=d0afbd55b03d180d0d2035835e8f36b6b249ca47>
- Mrázek, J., Koppová, I., Kopečný, J., Šimůnek, J., & Fliegerová, K. (2010). PCR-DGGE-based study of fecal microbial stability during the long-term chitosan supplementation of humans. *Folia Microbiologica*, 55(4), 352–358. <https://doi.org/10.1007/s12223-010-0057-y>
- Nguyen, S., Winnik, F. M., & Buschmann, M. D. (2009). Improved reproducibility in the determination of the molecular weight of chitosan by analytical size exclusion chromatography. *Carbohydrate Polymers*, 75(3), 528–533. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.08.013>
- Owusu-Apenten, R., & Vieira, E. (2023). Microbial Foodborne Disease Outbreaks. In R. Owusu-Apenten & E. R. Vieira (Eds.), *Elementary Food Science* (pp. 171–196). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65433-7_8
- Purnawan, C. (2008). *KITOSAN DARI CANGKANG UDANG DAN APLIKASI KITOSAN*. Universitas Gadjah Mada.
- Purwanto, M. (2012). *Perilaku Interaksi Filler Hidrofobik dengan Matriks Hidrofilik pada Komposit Kitosan / Abu Batubara Termomodifikasi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Puspawati, N. M., & Simpen, I. N. (2010). Puspawati, N. M., & Simpen, I. N. (2010). Optimasi deasetilasi khitin dari kulit udang dan cangkang kepiting limbah restoran seafood menjadi khitosan melalui variasi konsentrasi NaOH. *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry)*, 4(1), 79–90.
- Qinna, N. A., Akayleh, F. T., Al Remawi, M. M., Kamona, B. S., Taha, H., & Badwan, A. A. (2013). Evaluation of a functional food preparation based on chitosan as a meal replacement diet. *Journal of Functional Foods*, 5(3), 1125–1134. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.03.009>
- Sethi, S., Medha, & Kaith, B. S. (2022). A review on chitosan-gelatin nanocomposites: Synthesis, characterization and biomedical applications. *Reactive and Functional Polymers*, 179, 105362. <https://doi.org/10.1016/J.REACTFUNCTPOLYM.2022.105362>
- Sutharsan, J., & Zhao, J. (2023). Physicochemical and Biological Properties of Chitosan Based Edible Films. In *Food Reviews International* (Vol. 39, Issue 9, pp. 6296–6323). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2100416>
- Trisnawati, E., Andesti, D., & Saleh, A. (2013). Pembuatan kitosan dari limbah cangkang kepiting sebagai bahan pengawet buah duku dengan variasi lama pengawetan. *Jurnal Teknik Kimia*, 19(2).
- Tungtong, S., Okonogi, S., Chowwanapoonpohn, S., Phutdhawong, W., & Yotsawimonwat, S. (2012). Solubility, viscosity and rheological properties of water-soluble chitosan derivatives. *Maejo Int. J. Sci. Technol*, 2012(02), 315–322. www.mijst.mju.ac.th
- Varun, T. K., Senani, S., Jayapal, N., Chikkerur, J., Roy, S., Tekulapally, V. B., Gautam, M., & Kumar, N. (2017). Extraction of chitosan and its oligomers from shrimp shell waste, their characterization and antimicrobial effect. *Veterinary World*, 10(2), 170–175. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.170-175>
- Yarni, L., Nurhayati, M. S. S., Simanjuntak, R. U. C., Lestari, A. P. D., Imanuna, M., & Anggarini, N. R. (2023, March 20). *Kajian Analisis Data Kasus Keracunan Obat dan Makanan Tahun 2023*. <https://pusakom.pom.go.id/riset-kajian/detail/analisis-data-kasus-keracunan-obat-dan-makanan-tahun-2023>