
**SINTESIS DAN PEMANFAATAN KITOSAN BERBASIS LIMBAH
UDANG: INTEGRASI ETIKA ISLAM DAN SAINS DALAM
PENGEMBANGAN BAHAN RAMAH LINGKUNGAN****Ainur Rizqi Choiriyah¹, Armeida D.R Madjid², Eny Yulianti², Mubasyiroh²,
Tri Kustono Adi², M.Ali Zulfikar¹, Henry Setiyanto¹**¹ Institut Teknologi Bandung, Indonesia² Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Indonesia

Email : ainurrizqichoiriyah@gmail.com, setiyanto@itb.ac.id

Abstract

The increasing shrimp production and consumption in Indonesia generate significant amounts of shrimp shell waste, which has not been optimally utilized and often becomes an environmental problem. This waste is rich in chitin, which can be processed into chitosan—a multifunctional biopolymer with various applications in food, health, agriculture, and environmental fields. This literature review explores the synthesis process, characterization, and utilization of chitosan derived from shrimp shell waste, while highlighting the importance of integrating Islamic ethical values in the sustainable management of natural resources. The synthesis of chitosan involves demineralization, deproteinization, and deacetylation steps, with critical parameters such as temperature, time, and base concentration affecting the degree of deacetylation. The review shows that utilizing shrimp shell waste as a source of chitosan not only supports circular economy principles and waste reduction but also aligns with Islamic teachings on responsible environmental stewardship. The integration of science and Islamic ethics is expected to promote the development of high-value, sustainable, and environmentally friendly biomaterials.

Keywords: chitosan, characterization, environmentally friendly biomaterials, Islamic ethics, shrimp shell waste, synthesis.

Abstrak

Peningkatan produksi dan konsumsi udang di Indonesia menghasilkan limbah cangkang udang dalam jumlah besar, yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal dan justru menjadi permasalahan lingkungan. Limbah ini sebenarnya kaya akan kitin, yang dapat diolah menjadi kitosan—sebuah biopolimer multifungsi dengan berbagai aplikasi di bidang pangan, kesehatan, pertanian, hingga lingkungan. Studi pustaka ini mengeksplorasi proses sintesis, karakterisasi, dan pemanfaatan kitosan berbasis limbah cangkang udang, serta menyoroti pentingnya integrasi nilai-nilai etika Islam dalam pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan. Proses sintesis kitosan melibatkan tahapan demineralisasi, deproteinasi, dan deasetilasi, dengan parameter

kritis berupa suhu, waktu, dan konsentrasi basa yang mempengaruhi derajat deasetilasi. Hasil telaah menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah cangkang udang sebagai sumber kitosan tidak hanya mendukung prinsip ekonomi sirkular dan pengurangan limbah, tetapi juga selaras dengan ajaran Islam tentang pengelolaan lingkungan secara bertanggung jawab. Integrasi sains dan etika Islam diharapkan dapat mendorong pengembangan biomaterial ramah lingkungan yang berdaya guna tinggi dan berkelanjutan.

Kata Kunci: biomaterial ramah lingkungan, etika Islam, kitosan, limbah cangkang udang, sintesis, karakterisasi.

PENDAHULUAN

Lingkungan yang bersih merupakan salah satu faktor utama yang menunjang kesehatan makhluk hidup di bumi. Namun, dalam beberapa dekade terakhir, peningkatan aktivitas industri dan konsumsi pangan laut telah menghasilkan limbah organik dalam jumlah besar, salah satunya adalah limbah cangkang udang. Cangkang udang merupakan bagian terluar dari udang yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal, bahkan sering kali hanya dibuang dan menjadi limbah. Indonesia, sebagai salah satu negara pengekspor udang terbesar di dunia, mencatat produksi udang mencapai 1,09 juta ton pada tahun 2022 (KKP, 2023). Dari jumlah tersebut, limbah cangkang udang dapat mencapai 30–70% dari total berat udang.

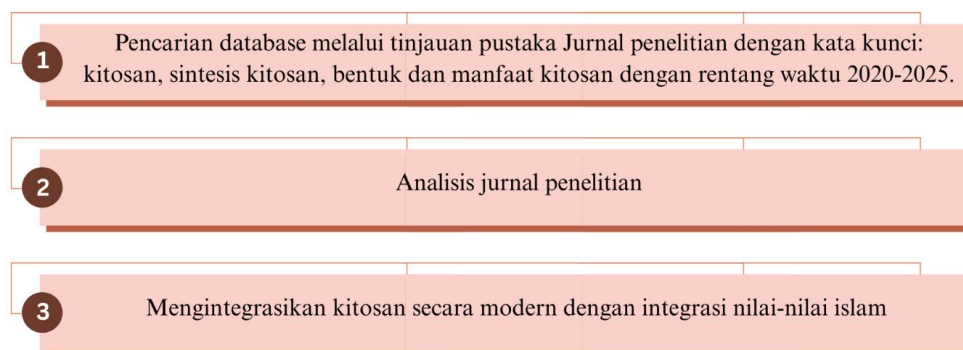
Limbah cangkang udang sebenarnya mengandung berbagai komponen bernilai, seperti protein (25–44%), mineral (45–50%), kitin (20–30%), serta komponen lain berupa lemak dan protein terlarut sebesar 19,4% (Iyan & Sari, 2020; Mahatmanti et al., 2022). Komposisi tersebut menunjukkan bahwa limbah ini memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan secara lebih luas, salah satunya dengan mengolahnya menjadi kitosan, suatu turunan dari kitin yang memiliki berbagai manfaat fungsional.

Di sisi lain, dalam masyarakat Muslim, pendekatan terhadap sains dan teknologi juga perlu memperhatikan dimensi etika dan nilai-nilai spiritual. Islam sebagai agama yang holistik menekankan pentingnya pengelolaan sumber daya alam secara bijak, tidak berlebihan, dan bertanggung jawab sebagai bagian dari amanah khalifah di bumi. Prinsip keberlanjutan, pelestarian lingkungan, dan penghindaran dari pemborosan (israf) merupakan nilai-nilai inti dalam ajaran

Islam yang sangat relevan untuk diintegrasikan dalam praktik ilmiah, termasuk dalam pengelolaan limbah dan pengembangan biomaterial.

Namun demikian, kajian ilmiah yang mengintegrasikan pendekatan sains modern dengan nilai-nilai Islam dalam pemanfaatan kitosan dari limbah cangkang udang masih sangat terbatas. Oleh karena itu, artikel ini disusun sebagai studi pustaka yang mendalam untuk mengeksplorasi potensi kitosan dari limbah cangkang udang melalui tinjauan ilmiah dan refleksi nilai-nilai Islam. Metode yang digunakan dalam studi ini adalah telaah literatur terhadap publikasi ilmiah nasional dan internasional dalam lima tahun terakhir, yang meliputi artikel penelitian, artikel review, dan laporan ilmiah. Analisis dilakukan secara kualitatif dengan pendekatan tematik berdasarkan empat fokus utama, yakni: (1) pengertian kitosan, (2) proses sintesis dan karakterisasi kitosan, (3) manfaat dan aplikasinya di berbagai bidang, serta (4) integrasi nilai-nilai Islam dalam pemanfaatan sumber daya laut, khususnya limbah biomassa.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram alir metode yang dilakukan pada studi pustaka (*literature review*)

Metodologi penulisan dalam studi pustaka (*literature review*) berbagai sumber ilmiah yang relevan. Pencarian data dan referensi difokuskan pada publikasi jurnal ilmiah nasional dan internasional bereputasi dalam kurun waktu lima tahun terakhir, guna memastikan keterkinian informasi dan validitas ilmiah. Sumber yang digunakan mencakup artikel penelitian, artikel review, serta laporan penelitian yang membahas topik kitosan dan pemanfaatannya.

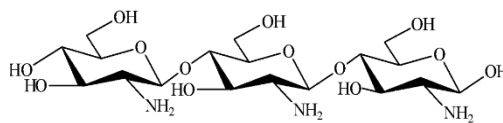
Proses analisis dilakukan secara kualitatif dengan pendekatan tematik, di mana data diklasifikasikan berdasarkan topik utama yang menjadi fokus kajian, yaitu: (1) pengertian kitosan, (2) proses sintesis dan karakterisasi kitosan, (3) manfaat dan aplikasinya di berbagai bidang, serta (4) integrasi sains modern dan nilai-nilai Islam dalam pemanfaatan sumber daya laut, khususnya limbah cangkang udang sebagai bahan baku kitosan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kitosan

Kitosan merupakan salah satu polisakarida alam yang diperoleh melalui proses *deasetilasi* kitin menggunakan larutan basa kuat (Zulvianti *et al.*, 2022; Mathaba & Daramola, 2020). Istilah kitin berasal dari bahasa Yunani *chiton*, yang berarti 'rantai besi', mencerminkan peran utamanya sebagai pelindung struktur tubuh invertebrata. Senyawa ini pertama kali diidentifikasi oleh Bracconot pada tahun 1811 dari residu hasil ekstraksi jamur. Selanjutnya, pada tahun 1823, Odier berhasil mengisolasi kitin dari kutikula serangga yang berasosiasi dengan protein, mineral, dan pigmen. Seiring berkembangnya studi, kitin ditemukan secara luas pada berbagai organisme, termasuk alga, nematoda, *Crustacea*, *Mollusca*, *Arthropoda*, fungi, dan protozoa. Di antara sumber-sumber tersebut, *Crustacea* seperti udang, kepiting, dan rajungan merupakan penyumbang utama kitin dalam jumlah terbesar (Mahatmanti *et al.*, 2022).

Secara kimia, kitosan ($C_6H_{11}NO_4$)_n merupakan polimer yang bersifat basa karena mengandung gugus hidroksil dan amino. Struktur kitosan tersusun secara acak oleh dua jenis monomer, yaitu *N*-asetil-*D*-glukosamin (*N*-acetyl-2-amino-2-deoxy-*D*-glucopyranose), yang merupakan unit asetilasi, dan 2-amino-2-deoxy-*D*-glucopyranose, yang merupakan hasil *deasetilasi* dari kitin. Kedua unit ini terhubung melalui ikatan β -(1→4)-glikosidik dan membentuk rantai *poli*-[2-amino-2-deoksi- β -(1→4)-*D*-glukopiranos] (Mursal *et al.*, 2023; Zulvianti *et al.*, 2022; Mahatmanti *et al.*, 2022; Alemu *et al.*, 2023).



Gambar 2. Struktur kitosan

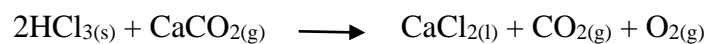
Kitosan merupakan senyawa amorf berwarna kuning-putih, bersifat *polielektrolit*, dan dapat larut dalam asam organik pada rentang pH 4–6,5 (Mahatmanti *et al.*, 2022). Kitosan memiliki karakteristik fisikokimia yang memungkinkan transformasi bentuknya menjadi *gel*, partikel, *nanopartikel*, *nanofiber*, *film*, maupun *scaffolding*. Senyawa ini memiliki gugus bermuatan positif pada gugus amino (*N*), sehingga diklasifikasikan sebagai polimer *polikationik*. Muatan positif inilah yang memberikan sifat khas pada kitosan, mengingat sebagian besar polimer lainnya bersifat netral, bahkan bermuatan negatif dalam lingkungan asam (Mursal *et al.*, 2023; Zulvianti *et al.*, 2022).

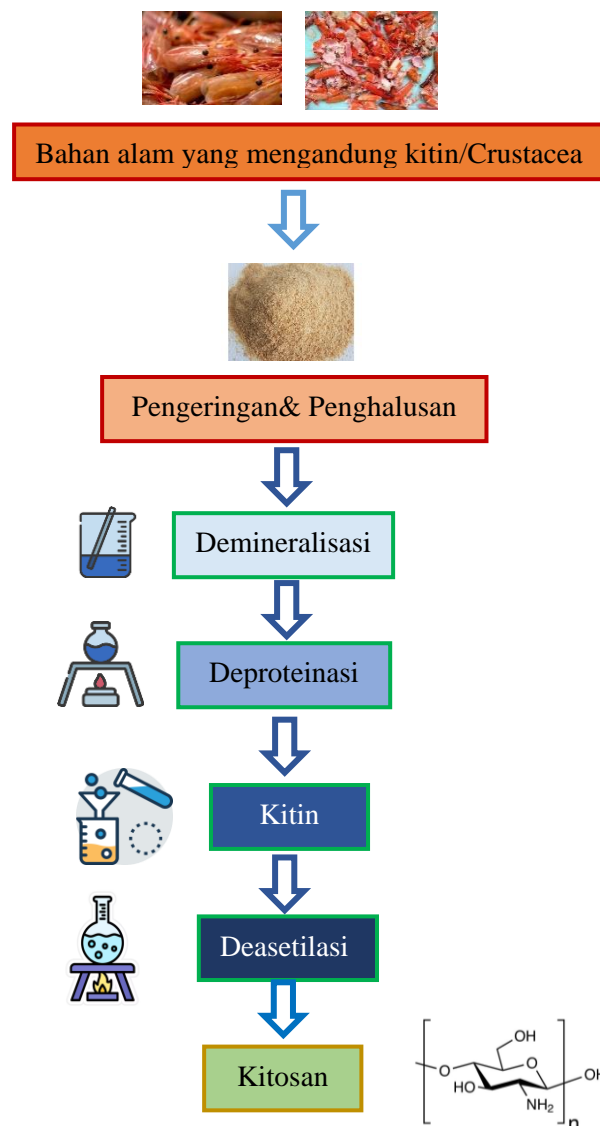
Selain sifat fisikokimia, kitosan juga memiliki sifat biologis, antara lain tidak toksik (*non-toksik*), *biokompatibel*, memiliki aktivitas *hemostatik*, kemampuan mengikat logam, bersifat *food grade* karena berasal dari organisme laut seperti udang dan kepiting, serta bersifat *biodegradable* (Zulvianti *et al.*, 2022; Mursal *et al.*, 2023). Kitosan juga menunjukkan aktivitas antioksidan yang tinggi, karena keberadaan gugus amino dan hidroksil yang sangat reaktif terhadap radikal bebas, sehingga penambahan kitosan pada bahan pangan dapat berperan dalam mencegah kerusakan oksidatif (Lee *et al.*, 2020).

Sintesis Kitin dan Kitosan

Pertama, bahan yang mengandung kitin dikeringkan dan dihaluskan, kemudian dilakukan demineralisasi menggunakan larutan HCl. Tahap selanjutnya adalah deproteinasi menggunakan NaOH untuk menghilangkan sisa-sisa protein. Setelah itu dilakukan dekolorisasi menggunakan agen seperti KMnO_4 dan NaHSO_3 untuk mendapatkan kitin murni. Kitin yang diperoleh kemudian mengalami proses deasetilasi dengan larutan NaOH pekat sehingga terbentuklah kitosan berwarna kekuningan (Mahatmanti *et al.*, 2022; Mathaba & Daramola, 2020; Ababneh & Hameed, 2021; Alemu *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2024).

Proses sintesis *kitosan* dari limbah cangkang udang melibatkan beberapa tahapan penting, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Tahapan awal meliputi proses *demineralisasi* dan *deproteinasi*. *Demineralisasi* merupakan proses pemisahan garam dan mineral dari struktur cangkang udang. Komponen utama yang dipisahkan dari kitin pada tahap ini adalah CaCO_3 dan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Secara umum, mineral lebih mudah dipisahkan dibandingkan protein karena keterikatannya bersifat fisik, bukan kimia. Proses *demineralisasi* dilakukan dengan penambahan asam kuat berupa larutan HCl, yang akan bereaksi dengan senyawa kalsium karbonat dan fosfat, menghasilkan gas CO_2 dan air (H_2O), ditandai dengan munculnya gelembung dan busa sebagai produk reaksi (Mahatmanti *et al.*, 2022), seperti persamaan reaksi berikut.

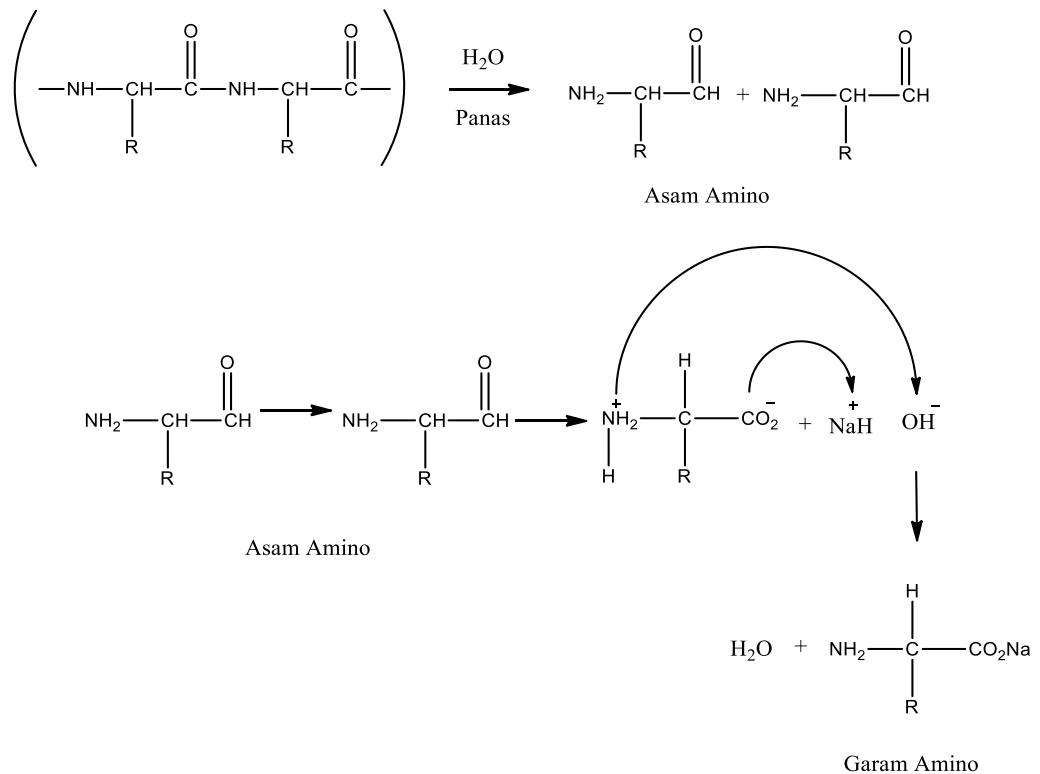




Gambar 3. Proses pengolahan cangkang udang menjadi kitin dan kitosan

Hasil yang telah diperoleh kemudian dibilas menggunakan air untuk menghilangkan sisa larutan HCl. Tahap ini penting dilakukan agar material cangkang tidak mengalami degradasi berlebihan atau kerusakan struktural selanjutnya adalah tahap *deproteinasi*. *Deproteinasi* merupakan proses yang bertujuan untuk memisahkan kandungan protein dari cangkang udang melalui penambahan larutan NaOH. Reaksi ini menghasilkan gelembung dan menyebabkan larutan menjadi lebih kental akibat terbentuknya ikatan antara protein yang terlepas dengan ion Na⁺ dari larutan NaOH, membentuk kompleks Na-protein, Gambar 4. Selain itu, proses *deproteinasi* umumnya disertai dengan

perubahan warna larutan menjadi kemerahan, yang menunjukkan terlarutnya senyawa protein dalam medium basa. Rangkaian tahap ini menghasilkan kitin (Mahatmanti *et al.*, 2022).

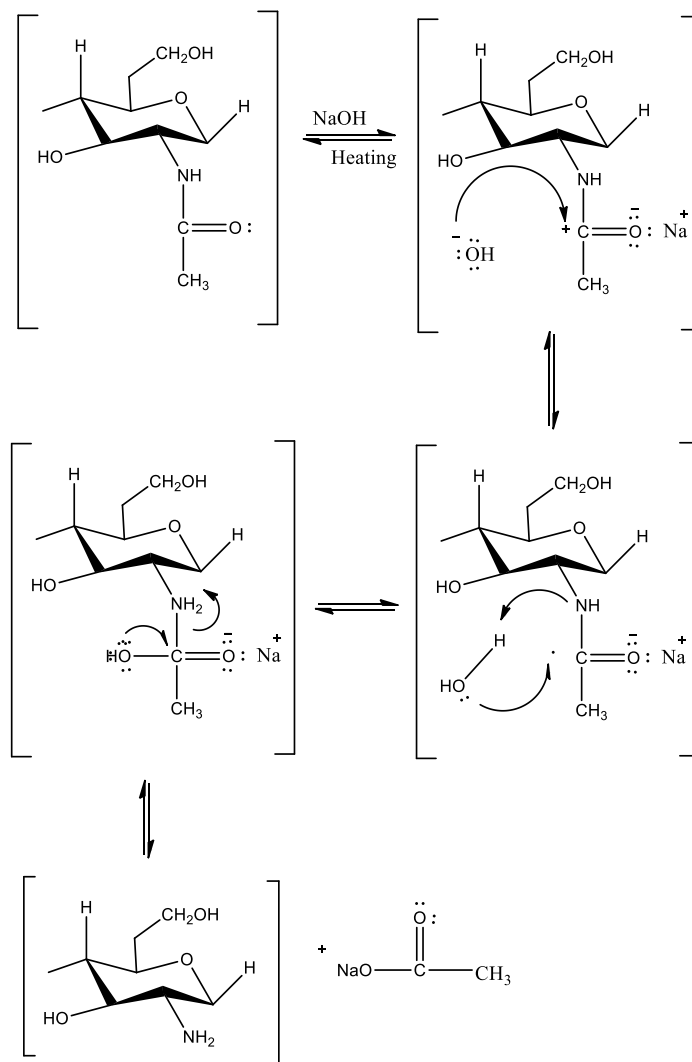


Gambar 4. Reaksi deproteinasi pada isolasi kitin dari cangkang udang

Proses berikutnya adalah tahap *deasetilasi* menggunakan larutan basa. Proses ini dipilih karena kitin memiliki ikatan glikosidik yang sangat sensitif terhadap kondisi asam. Reaksi *deasetilasi* merupakan proses konversi gugus asetil (—NHCOCH_3) pada rantai kitin menjadi gugus amina (—NH_2) melalui reaksi adisi yang membentuk senyawa antara. Senyawa antara tersebut kemudian mengalami reaksi eliminasi yang menghasilkan senyawa asetat.

Keberhasilan proses *deasetilasi* dipengaruhi oleh beberapa faktor, terutama konsentrasi basa/alkali, suhu dan waktu reaksi. Konsentrasi larutan alkali, seperti NaOH, berperan penting dalam menentukan derajat *deasetilasi*, karena NaOH memutus ikatan rangkap pada gugus karboksil dan menggantikannya dengan gugus amina. Selain itu, waktu reaksi juga merupakan faktor penentu, karena lamanya interaksi antara NaOH dan kitin akan mempengaruhi jumlah gugus asetil

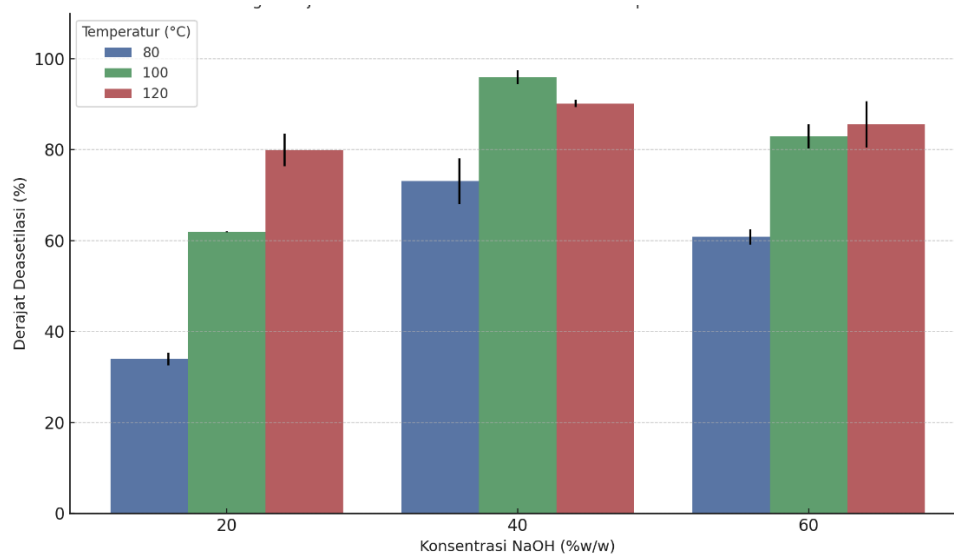
yang terlepas dari struktur polimer. Semakin lama waktu reaksi, maka semakin tinggi jumlah gugus asetil yang dihilangkan, yang berarti derajat *deasetilasi* (DD) meningkat. Faktor lainnya adalah suhu reaksi. Peningkatan suhu akan mempercepat laju reaksi kimia karena meningkatnya energi kinetik molekul, yang mempercepat terjadinya tumbukan antar molekul dan pemutusan ikatan kimia (Mahatmanti *et al.*, 2022). Mekanisme reaksi ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Reaksi deasetilasi

Selain itu, derajat deasetilasi (DD) merupakan parameter kritikal dalam menentukan sifat fungsional kitosan. DD yang tinggi menunjukkan konversi gugus asetil menjadi gugus amina bebas dalam jumlah yang lebih besar, sehingga meningkatkan kemampuan kitosan dalam berinteraksi dengan senyawa target

seperti ion logam berat maupun senyawa biologis (Mathaba & Daramola, 2020). Nilai DD ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain suhu reaksi, waktu reaksi, dan konsentrasi larutan basa kuat yang digunakan selama proses deasetilasi. Studi yang dilakukan oleh Mathaba dan Daramola (2020) mengevaluasi pengaruh parameter-parameter tersebut terhadap nilai DD, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh suhu reaksi, waktu reaksi dan konsentrasi larutan basa kuat terhadap nilai DD

Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi NaOH dari 20 % menjadi 40 % (w/w) secara signifikan meningkatkan nilai derajat *deasetilasi* (DD). Contohnya, pada suhu 80 °C, DD meningkat dari 33,93 % menjadi 73,05 %, dan pada suhu 100 °C, dari 61,94 % menjadi 95,97 % (Mathaba, M. et al, 2020) (Yuan, Y et al, 2011). Peningkatan ini dijelaskan oleh peningkatan difusi ion OH⁻ yang lebih agresif menyerang gugus asetil, sehingga mempercepat reaksi *deasetilasi* (Aldila, H. et al., 2020). Suhu reaksi berperan penting dalam mekanisme ini. Peningkatan suhu dari 80 °C ke 100 °C meningkatkan energi kinetik molekul dan mempercepat reaksi, terbukti dari peningkatan DD tertinggi mencapai 95,97 % pada suhu 100 °C dengan NaOH 40 %. Namun, peningkatan suhu melampaui ambang optimal, misalnya 120 °C, justru mengurangi DD (95,97 % → 90,17 %) dan bahkan lebih rendah pada 60 % NaOH (85,55 %) (Mathaba, M. et al, 2020). Kondisi ini disebut juga *depolimerisasi*, di mana

kondisi basa yang sangat kuat dan suhu tinggi menyebabkan kerusakan rantai polimer dan degradasi struktur kitosan (Aldila. H, 2021).

Selain itu, interaksi antara suhu dan konsentrasi basa sangat mempengaruhi proses. Literatur membuktikan bahwa efek sinergis antara NaOH 40 % dan suhu 100 °C memberikan kombinasi yang optimal, tingginya DD diperoleh tanpa degradasi berlebihan dan efisiensi waktu reaksi yang baik . Studi Huang *et al.* (2020) mencatat bahwa kombinasi tersebut tidak hanya meningkatkan efisiensi *deasetilasi*, tetapi juga meminimalkan kehilangan berat polimer dibandingkan kondisi ekstrem ($> 120\text{ }^{\circ}\text{C}$, $> 60\%$). Nilai DD tinggi sangat penting dari sisi aplikasi, karena berkorelasi langsung dengan jumlah gugus amina bebas yang tersedia untuk interaksi elektrostatik, adsorpsi logam berat, maupun pengikatan senyawa bioaktif lainnya . Oleh karenanya, kondisi suhu 100 °C dan konsentrasi NaOH 40 % dinilai paling optimal untuk menghasilkan kitosan berkualitas tinggi dengan potensi aplikasi luas di berbagai bidang.

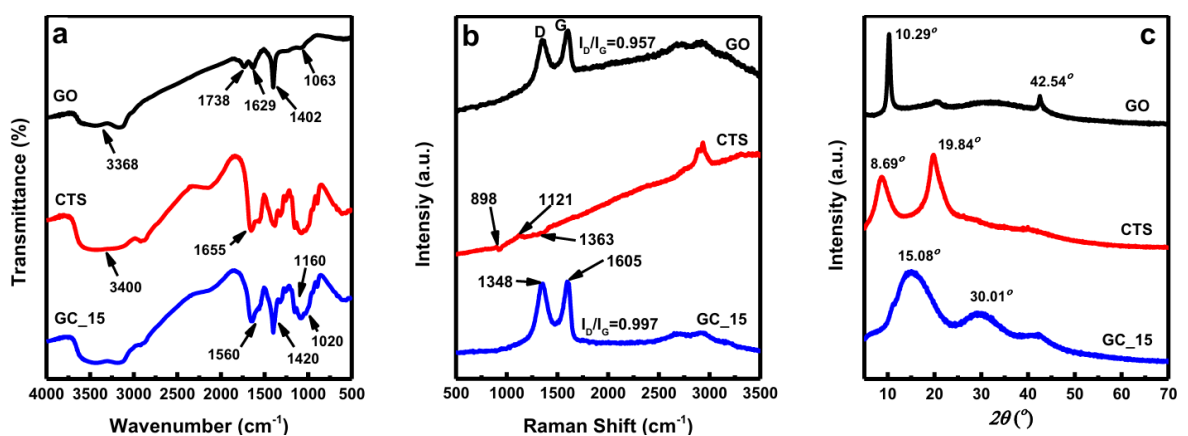
Karakterisasi Kitosan

Kitosan yang telah disintesis dapat dikarakterisasi melalui sejumlah parameter, seperti kadar abu, kadar air, derajat deasetilasi (*degree of deacetylation*, DD), serta identifikasi gugus fungsi. Penentuan kadar abu merupakan salah satu indikator keberhasilan tahap demineralisasi. Semakin rendah kadar abu yang diperoleh dari proses isolasi, semakin tinggi tingkat kemurnian kitosan yang dihasilkan. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7949:2013, kadar abu maksimum yang diperbolehkan untuk kitosan adalah sebesar 5%.

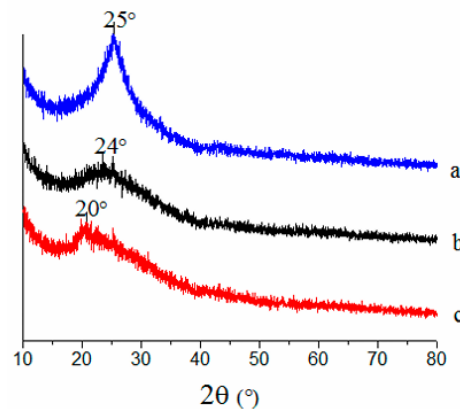
Kadar air kitosan menjadi parameter penting dalam karakterisasi, dengan batas maksimum sebesar 12% sesuai ketentuan SNI 7949:2013. Analisis kadar air perlu dilakukan karena kitosan bersifat higroskopis, yaitu mudah menyerap uap air dari udara. Sifat ini berkaitan dengan kemampuan gugus amina, *N*-asetil, dan hidroksil pada struktur kitosan untuk membentuk ikatan hidrogen dengan molekul H₂O di atmosfer.

Karakterisasi *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) terhadap hasil sintesis kitosan bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi penyusunnya. Salah satu ciri khas spektra FTIR kitosan berbentuk film adalah munculnya serapan pada daerah 1567 cm^{-1} (Zulvianti *et al.*, 2022). Pita serapan tajam pada rentang $3300\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus amina akibat regangan N–H (*N–H stretching*) (Vo *et al.*, 2020; Mathaba & Daramola, 2020). Selain itu, pita lenturan N–H (*N–H bending*) tampak pada rentang $1450\text{--}1480\text{ cm}^{-1}$ yang menandakan keberadaan gugus amina bebas (--NH_2). Gugus hidroksi (--OH dan C--OH) terdeteksi pada daerah sekitar 3500 cm^{-1} dan sebelum 1000 cm^{-1} , sedangkan pita untuk gugus C–H juga muncul pada rentang tersebut (Mathaba & Daramola, 2020). Kehadiran gugus amina pada spektra FTIR menjadi indikator keberhasilan proses deasetilasi kitin menjadi kitosan.

Karakterisasi kitosan juga dapat dilakukan menggunakan spektroskopi *Raman*, yang menunjukkan pita khas pada 898 cm^{-1} yang mengindikasikan gugus amina bebas --NH_2 (Vo *et al.*, 2020). Selain itu, analisis menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD) dapat digunakan untuk menentukan tingkat kristalinitas senyawa. Pola difraksi XRD pada kitosan menunjukkan dua puncak utama pada $2\theta = 8,69^\circ$ dan $19,84^\circ$, yang masing-masing mewakili struktur terhidrasi dan anhidrat (Vo *et al.*, 2020). Penelitian lain oleh Zhu *et al.* (2020) menunjukkan puncak difraksi pada sekitar $2\theta = 20^\circ$, yang mengindikasikan struktur kristalin anhidrat dari kitosan seperti pada Gambar 7 dan Gambar 8 berikut ini.



Gambar 7. a) Spektra FTIR, b) Spektra Raman, dan c) Spektra XRD Kitosan (CTS) (Vo, *et al.*, 2020)



Gambar 8. Spektra XRD kitosan (c) (Zhu, *et.al.*, 2020)

Modifikasi Kitosan

Kitosan memiliki kelarutan yang rendah dalam air serta menunjukkan sifat mekanik yang kurang memadai, sehingga mudah rapuh atau mengalami kerusakan pada suhu kamar (Zulvianti *et al.*, 2022). Karakteristik fisika dan kimia kitosan dapat ditingkatkan melalui beberapa pendekatan, di antaranya dengan mencampurkan kitosan bersama polimer alam, polimer sintetik, maupun mineral alam untuk membentuk suatu komposit (Zulvianti *et al.*, 2022). Sifat kitosan yang bermuatan positif memungkinkan terjadinya interaksi elektrostatik dengan polimer lain yang bermuatan negatif, sehingga meningkatkan stabilitas dan performa material (Zulvianti *et al.*, 2022).

Selain melalui pembentukan komposit, modifikasi kitosan juga dapat dilakukan dengan teknik ikat silang (*cross-linking*). Proses ikat silang ini mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi kitosan karena membentuk adsorben kompleks dengan muatan tambahan dan struktur yang lebih stabil. Modifikasi tersebut juga memungkinkan konversi kitosan ke dalam berbagai bentuk fungsional seperti spons, gel, butiran, *scaffold*, mikropartikel, maupun nanopartikel (Ababneh & Hameed, 2021).

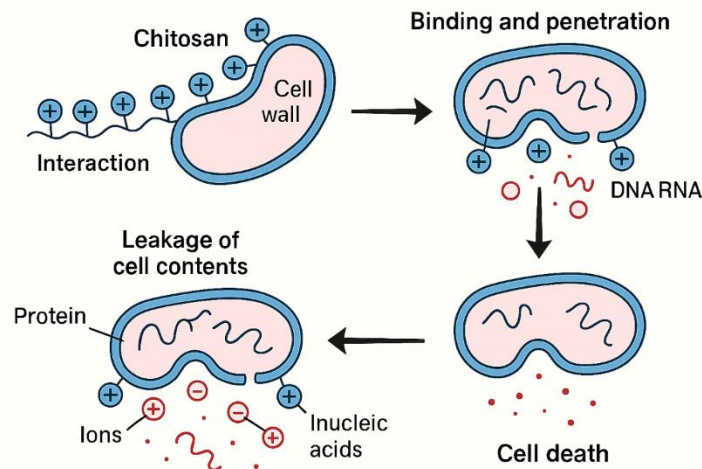
Manfaat Kitosan

Kitosan memiliki manfaat yang luas dalam berbagai bidang aplikasi, antara lain sebagai adsorben untuk limbah logam berat dan zat warna, bahan

pengawet, antijamur, antikanker, antibakteri, flokulan/koagulan, serta sebagai komponen aktif dalam bidang kosmetik, farmasi, biokatalis, *bioprinting*, *bioenergy*, dan pengemasan makanan (Mahatmanti *et al.*, 2022; Ababneh & Hameed, 2021). Manfaat tersebut dapat diperoleh berkat sifat unggul kitosan, seperti tidak beracun (*non-toxic*), biokompatibel, *biodegradable*, serta kemampuannya untuk membentuk berbagai bentuk struktur seperti gel, film, partikel, nanopartikel, dan *scaffolding* (Mursal *et al.*, 2023; Zulvianti *et al.*, 2022).

Salah satu manfaat utama kitosan adalah sebagai agen antibakteri dan antimikroba yang efektif, terutama dalam aplikasi pengawetan. Efektivitas ini sangat dipengaruhi oleh berat molekul dan derajat deasetilasi (*degree of deacetylation*, DD) dari kitosan. Semakin tinggi berat molekul dan DD, semakin besar interaksi antara gugus fungsional amina ($-NH_2$) yang bermuatan positif dengan dinding sel bakteri yang bermuatan negatif. Gugus amina ini, selain bersifat elektropositif yang sangat reaktif, juga memiliki pasangan elektron bebas (PEB) yang dapat membentuk ikatan kovalen koordinasi dengan ion kalsium (Ca^{2+}) yang terdapat pada dinding sel bakteri (Mahatmanti *et al.*, 2022).

Interaksi ini akan merusak integritas dinding sel bakteri melalui pelepasan ion-ion penting, gangguan pada keseimbangan osmotik, serta penetrasi molekul kitosan ke dalam membran sel. Akibatnya, fungsi vital sel terganggu yang mengarah pada kebocoran isi intraseluler, penurunan metabolisme, dan akhirnya menyebabkan kematian sel bakteri seperti ilustrasi pada Gambar 9. Oleh karena itu, peningkatan berat molekul dan DD kitosan berbanding lurus dengan potensi antibakterinya terhadap berbagai mikroorganisme.



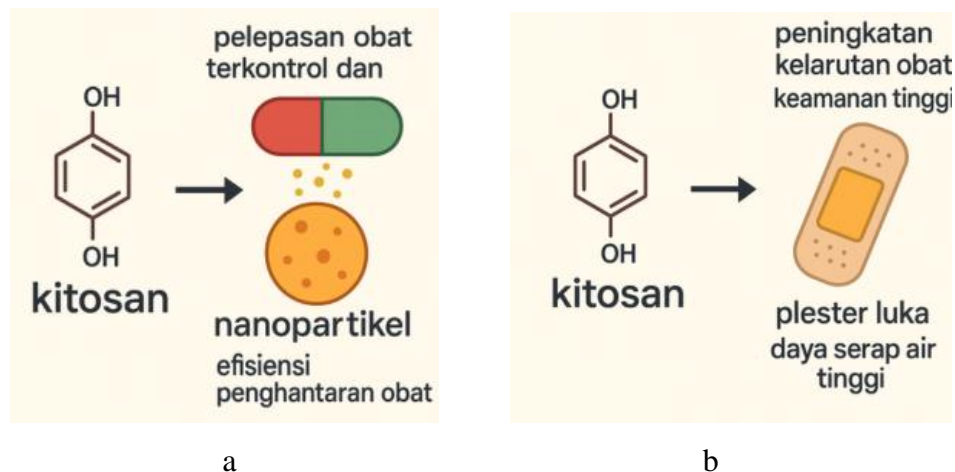
Gambar 9. Ilustrasi mekanisme kitosan sebagai anti mikroorganisme

Aplikasi kitosan dalam bidang farmasi salah satunya adalah sebagai *drug carrier* (pembawa obat), karena memiliki stabilitas kimia yang baik serta kapasitas pembawaan obat yang tinggi (Zulvianti et al., 2022). Stabilitas dan kapasitas tersebut memungkinkan kitosan untuk mengangkut molekul obat dalam jumlah besar dalam matriks partikelnya. Selain itu, bentuk nanopartikel kitosan memungkinkan penggabungan substansi bersifat hidrofilik maupun hidrofobik, sehingga dapat digunakan melalui berbagai rute pemberian, seperti secara oral maupun melalui inhalasi (Mursal et al., 2023).

Kitosan juga berperan penting dalam meningkatkan kelarutan obat di dalam tubuh, memperkuat efektivitas farmakologis, dan memperbaiki bioavailabilitas obat. Kemampuannya dalam menyerap senyawa dengan efisien serta sifat imunogenisitasnya yang rendah menjadikan kitosan sebagai kandidat ideal untuk sistem penghantaran obat (Zulvianti et al., 2022).

Menurut penelitian Zulvianti et al. (2022), pelepasan obat dari matriks kitosan bersifat *controlled release* (terkontrol) dengan durasi pelepasan yang cenderung lambat, sehingga memungkinkan terapi yang lebih stabil dan berkelanjutan. Bentuk nanopartikel kitosan juga meningkatkan efisiensi penghantaran obat serta menunjukkan tingkat biokompatibilitas yang tinggi, menjamin keamanan dalam aplikasi medis. Selain itu, kitosan dalam bentuk gel dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuat plester luka karena memiliki daya

serap air yang tinggi, yang berguna dalam mencegah risiko infeksi akibat penumpukan cairan pada area luka seperti ilustrasi pada Gambar 10.

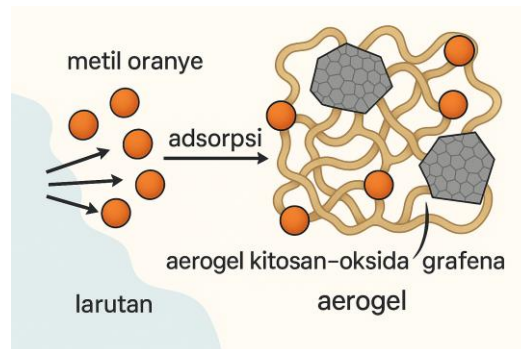


Gambar 10. Ilustrasi kitosan sebagai a) mekanisme pelepasan obat dan b) bahan plester luka

Kitosan juga dimanfaatkan dalam bidang pemurnian air yang tercemar. Hal ini dikarenakan kitosan memiliki kapasitas adsorpsi yang besar karena dapat berinteraksi secara elektrostatik antara muatan negatif dengan gugus amina yang bermuatan positif dan dapat berinteraksi secara elektrostatik antara muatan positif dengan gugus hidroksil yang bermuatan negatif. Selain itu, kitosan tidak berbahaya untuk lingkungan karena bersifat *biodegradable* dan *biocompatible* (Vo *et. al.*, 2020)

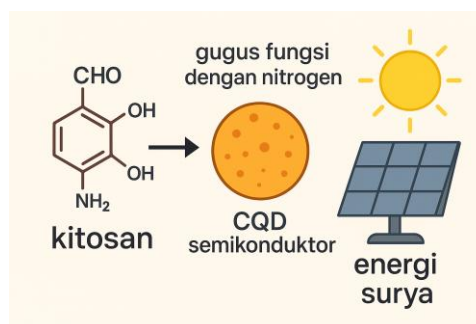
Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh (Vo *et. al.*, 2020), bahwasanya kitosan yang merupakan polikationik diikatsilang dengan *graphen oxide* yang bermuatan negatif melalui interaksi elektrostatik meningkatkan pori dan memungkinkan terjadinya difusi zat terlarut yang tentu saja akan meningkatkan kapasitas adsorpsi untuk adsorpsi zat warna kationik dan anionic yaitu rhodamine b, metilen biru, metilen orange dan *congo red*. Penelitian yang sama juga dilakukan Oleh (Zhu *et.al.*, 2020) yaitu adsorpsi zat warna metilen orange menggunakan aerogel komposit kitosan-*graphene oxide* dengan metode hidrotermal yang diilustrasikan seperti Gambar 11. Selain zat warna, kitosan juga di manfaatkan dalam adsorpsi ion logam seperti pada penelitian Mathaba &

Daramola (2020). Penelitian tersebut mensintesis kitosan dan dimanfaatkan dalam adsorpsi ion logam Mn^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , dan Ca^{2+} .



Gambar 11. Ilustrasi adsorpsi metil orange dengan komposit aerogel kitosan-*graphene oxide*

Kitosan juga dimanfaatkan dalam bioenergy salah satunya sebagai solar sistem karena kitosan dapat berperan sebagai prekursor yang memiliki nilai kuantum tinggi serta menghasilkan CQD semikonduktor sehingga diaplikasikan dalam energi solar sistem atau energi surya. Kinerja sel surya bergantung pada gugus fungsi dengan kandungan nilai nitrogen yang terdapat pada kitosan. Semakin tinggi kandungan nitrogen, maka semakin tinggi efisiensi kinerja dari sel surya (Ababneh *et.al.*, 2021)

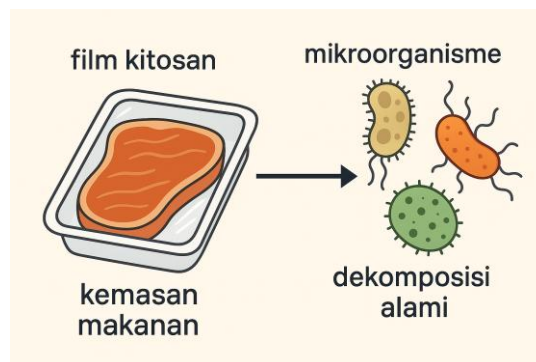


Gambar 12. Ilustrasi pemanfaatan kitosan sebagai bahan panel surya

Kitosan dimanfaatkan sebagai bahan baku baterai karena kandungan karbon dalam kitosan tinggi sehingga dapat dimanfaatkan untuk menyimpan energi, khususnya dalam baterai litium-selenium (Li-Se) (Ababneh *et.al.*, 2021). Kitosan juga dapat dimanfaatkan sebagai biokatalis dengan cara memodifikasi kitosan dengan pusat aktifnya (Ababneh *et.al.*, 2021). Kitosan bisa dimanfaatkan

untuk pencemaran udara dengan mengikat CO₂ seperti ilustrasi pada Gambar 12 (Ababneh *et.al.*, 2021)

Kitosan dimanfaatkan dalam pengemasan makanan dalam bentuk film, sehingga sangat bermanfaat dalam menurunkan angka penggunaan plastik kemasan makanan. Kitosan aman untuk lingkungan karena dapat terurai secara alami oleh mikroorganisme, selain itu juga kitosan bersifat anti mikroba dan anti jamur. Selain itu, kitosan dapat mengatur respirasi dan metabolisme fisiologis dari buah, menjaga nilai gizi serta kualitasnya (Florez *et.al.*, 2022, wang *et.al.*, 2024). Beberapa penelitian membahas mengenai pengemasan makanan menggunakan kitosan semakin meningkat setiap tahunnya, dan penelitian terindeks scopus pada tahun 2015-2020 ada sekitar 900 publikasi (Florez *et.al.*, 2022). Penelitian Florez *et.al.*, 2022 menjelaskan adanya senyawa fenolik dalam pembuatan film kitosan akan meningkatkan sifat mekanik, antimikroba dan antioksidan seperti ilustrasi pada Gambar 13.



Gambar 13. Ilustrasi Kitosan sebagai pengemasan makanan

Kitosan dimanfaatkan dalam proses pengawetan buah setelah panen agar menjaga buah tetap segar, tidak mudah rusak yang dapat membahayakan kesehatan. (wang *et.al.*, 2024). Lin 2020 mempelajari pengaruh konsentrasi kitosan yang berbeda terhadap karakteristik penyimpanan buah klengkeng. Perlakuan pada buah klengkeng menunjukkan laju respirasi buah yang rendah, penurunan permeabilitas membran sel kulit buah, indeks coklat, indeks dekomposisi pulpa indeks penyakit buah dan penurunan buah berat buah juga rendah karena dilapisi oleh film kitosan. Kitosan juga menghasilkan klorofil,

karotenoid, antosianin, flavonoid, dan fenolik tinggi dalam pericarp klengkeng yang akan mempertahankan kualitas buah.

Perspektif Islam (Integrasi Sains dan Islam)

1. Pendekatan Maqāṣid asy-Syarī'ah sebagai Landasan Etis-Ekologis

Maqāṣid asy-Syarī'ah adalah inti dari tujuan hukum Islam, yang secara tradisional mencakup lima penjagaan utama: agama (*ḥifẓ ad-dīn*), jiwa (*ḥifẓ an-nafs*), akal (*ḥifẓ al-'aql*), keturunan (*ḥifẓ an-nasl*), dan harta (*ḥifẓ al-māl*). Para ulama kontemporer melihat perlindungan lingkungan (*ḥifẓ al-bi'ah*) dan kesehatan (*ḥifẓ aṣ-ṣiḥḥah*) sebagai manifestasi nyata dari maqāṣid dalam kehidupan modern seiring perkembangan zaman dan tantangan global seperti krisis lingkungan dan degradasi sumber daya alam (Dusuki & Bouheraoua, 2011; Auda, 2008). Secara teoritis, pendekatan maqāṣid menawarkan kerangka nilai moral dan etis yang mendorong manusia untuk bertindak sebagai khalifah, atau pengelola bumi. Al-Qur'an menyatakan bahwa manusia memiliki tanggung jawab untuk menjaga keseimbangan alam (QS. Al-Baqarah: 30). Pengembangan teknologi yang ramah lingkungan seperti penggunaan kitosan dari limbah cangkang udang menunjukkan aktualisasi maqāṣid yang integratif antara ilmu dan iman dalam konteks ini.

2. Implementasi Maqāṣid dalam Pemanfaatan Kitosan: Analisis Multi-Dimensi

Pemanfaatan sumber daya alam memiliki konsekuensi moral dan spiritual selain keuntungan teknis dan ekonomis. Melalui konsep *Maqāṣid asy-Syarī'ah*, agama Islam telah mengatur prinsip-prinsip pengelolaan alam semesta. Pendekatan ini menempatkan manusia sebagai khalifah di bumi, berfungsi sebagai penjaga (*ḥāfiẓ*) dan pemakmur (*'āmir*) alam semesta. Oleh karena itu, setiap inovasi dan pengembangan teknologi termasuk di bidang rekayasa biomaterial seperti kitosan selayaknya bertujuan untuk kebaikan, baik untuk manusia maupun untuk ciptaan Allah secara keseluruhan.

Kitosan, produk bioteknologi dari limbah cangkang udang, adalah contoh nyata dari upaya pengelolaan sumber daya air yang mengikuti nilai-nilai *maqāṣid*. Menurut Islam, limbah bukan sekadar sisa yang tidak berguna; itu adalah potensi

manfaat yang dapat dimaksimalkan dengan penelitian. Dengan mengubah limbah menjadi produk bernilai tambah tinggi, kita tidak hanya mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga menjaga kesehatan masyarakat, meningkatkan nilai ekonomi, dan menumbuhkan rasa syukur dan amanah terhadap alam dalam kehidupan sehari-hari. Lebih dari itu, pendekatan ini menunjukkan bahwa sains dan teknologi dapat berfungsi sebagai alat yang sangat efektif untuk mencapai tujuan mulia syariat.

Ketika dilihat dari sudut pandang *ḥifẓ al-bi'ah* (perlindungan lingkungan), *ḥifẓ aṣ-ṣiḥḥah* (kesehatan), *ḥifẓ al-māl* (ekonomi), *ḥifẓ an-naḥs* (jiwa), dan *ḥifẓ ad-dīn* (agama), kitosan tidak hanya memiliki banyak manfaat praktis, tetapi juga menunjukkan harmoni yang indah antara ilmu, iman, dan tanggung jawab sosial.

Tabel berikut mengelompokkan aspek *maqāṣid asy-Syarī'ah* secara teoritis dan aplikatif untuk menunjukkan bagaimana nilai-nilainya dapat digunakan secara efektif dalam penggunaan kitosan. Tabel berikut juga menunjukkan implementasi *Maqāṣid* dalam Pemanfaatan Kitosan: Analisis Multi-Dimensi, yang menjadi fondasi konseptual yang menegaskan bahwa perkembangan sains Islam tidak dapat dipisahkan dari upaya untuk mewujudkan keberlanjutan, keadilan, dan kemaslahatan bersama:

Tabel 1. Aspek Maqāṣid asy-Syarī'ah secara teoritis dan aplikatif

Aspek Maqāṣid	Makna Konseptual	Relevansi terhadap Kitosan
<i>ḥifẓ al-bi'ah</i> (Menjaga lingkungan)	Memelihara alam dan mengurangi kerusakan ekosistem	Limbah cangkang udang yang tidak diolah dapat mencemari laut. Sebagai kitosan, dapat mengurangi polusi dan mendukung keberlanjutan lingkungan (Amini et al., 2022).
<i>ḥifẓ aṣ-ṣiḥḥah</i> (Menjaga kesehatan)	Menjamin kesehatan mental dan fisik manusia	Kitosan digunakan dalam farmasi, kosmetik, pengawet alami, dan untuk meningkatkan ketahanan pangan dan gizi karena sifatnya yang antibakteri dan antimikroba

(Shahidi & Arachchi, 1999).

<i>ḥifẓ al-māl</i> (Menjaga harta)	Mengoptimalkan pengelolaan sumber daya dan kekayaan	Seperti pupuk, pengawet, dan bahan aktif farmasi, limbah dapat digunakan untuk menghasilkan uang dan mendukung ekonomi berputar.
<i>ḥifẓ an-nafs</i> (Menjaga jiwa)	Menjamin keselamatan dan kelestarian hidup.	Pengelolaan limbah yang sehat melindungi manusia dari pencemaran dan penyakit yang disebabkan oleh limbah organik.
<i>ḥifẓ ad-dīn</i> (Menjaga agama)	Meningkatkan kesadaran syukur dan ibadah dalam pemanfaatan sumber daya laut.	Sebagaimana dinyatakan dalam QS. Al-A'rāf: 96 dan Fatir: 12, pemanfaatan sumber daya laut mencerminkan prinsip syukur dan tidak boros (<i>isrāf</i>).
Khalifah dan Amanah Ekologis	Manusia sebagai penjaga bumi yang bertanggung jawab	Kitosan adalah contoh nyata dari tugas khalifah: menangani limbah dengan cara yang kreatif dan produktif (QS. Al-Baqarah: 30).
Barakah (keberkahan)	Pemanfaatan yang memberi manfaat luas, bukan hanya profit	Udang, misalnya, mengandung keberkahan jika digunakan secara bijak untuk kepentingan umum.

3. Spiritualitas Ilmiah: Harmoni antara Ilmu, Iman, dan Lingkungan

Ilmu pengetahuan juga dikenal sebagai sains dan iman yang selama ini dianggap sebagai satu dan sama, semakin diperlukan dalam era kontemporer yang semakin sarat dengan masalah ekologis dan krisis spiritual. Dalam pengelolaan

sumber daya alam, pendekatan *maqāṣid asy-syarī'ah* menawarkan paradigma yang harmonis yang menyatukan epistemologi ilmiah dan etika tauhid dalam satu kerangka besar yang disebut spiritualitas ilmiah.

Dalam perspektif ini, ilmu tidak dipandang sebagai alat untuk mengeksploitasi keuntungan duniawi. Sebaliknya, ilmu digunakan untuk membaca, memahami, dan merenungkan ayat-ayat kauniyyah Allah SWT yang ada di alam semesta. Alam adalah tanda kebesaran Ilahi yang mengundang perenungan dan rasa syukur, bukan hanya objek penelitian. Inovasi dalam pengolahan limbah udang menjadi kitosan sebuah senyawa alami yang memiliki banyak manfaat dalam bidang kesehatan, pertanian, dan lingkungan adalah salah satu contoh nyata dari integrasi nilai-nilai tersebut.

Kitosan, yang dibuat dari limbah cangkang udang melalui proses deasetilasi kitin, bukan hanya hasil dari kemajuan teknologi saat ini, tetapi juga bentuk rasa terima kasih ilmiah. Ia berubah menjadi implementasi ibadah alam, di mana setiap langkah dalam proses sains dilihat sebagai upaya untuk menegakkan nilai-nilai Islam yang luhur, yaitu menjaga lingkungan (*ḥifẓ al-bī'ah*), memelihara kehidupan (*ḥifẓ al-nafs*), dan menciptakan kemaslahatan umum (*maṣlaḥah 'āmmah*).

Allah SWT berfirman dalam QS. Al-Baqarah ayat 164:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ وَالْفُلْكِ الَّتِي تَجْرِي فِي الْبَحْرِ بِمَا يَنْفَعُ النَّاسَ وَمَا أَنْزَلَ اللَّهُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ مَّاءٍ فَأَحْيَا بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَتَصْرِيفِ الرِّيْحِ وَالسَّحَابِ الْمُسَخَّرِ بَيْنَ السَّمَاءِ وَالْأَرْضِ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ ﴿١٦٤﴾

Artinya: Sesungguhnya pada penciptaan langit dan bumi, pergantian malam dan siang, bahtera yang berlayar di laut dengan (muatan) yang bermanfaat bagi manusia, apa yang Allah turunkan dari langit berupa air, lalu dengannya Dia menghidupkan bumi setelah mati (kering), dan Dia menebarkan di dalamnya semua jenis hewan, dan pengisaran angin dan awan yang dikendalikan antara

langit dan bumi, (semua itu) sungguh merupakan tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang mengerti.

Menurut ayat ini, memahami fenomena alam merupakan bentuk ibadah intelektual yang mendorong keyakinan dan pelestarian Bumi, bukan hanya tugas saintifik. Dalam dunia sains, inovasi kitosan juga merupakan bagian dari aplikasi *maqāṣid asy-syarī'ah*, di mana pelestarian alam dan kebaikan bagi umat diutamakan. Lebih dari itu, metode ini membangun kesadaran bahwa keberkahan (keberkahan) dalam sains diukur bukan hanya dari seberapa besar hasilnya, tetapi juga dari niat, proses, dan dampak positifnya terhadap kehidupan manusia dan alam semesta. Dalam perspektif spiritualitas ilmiah, pencapaian saintifik sebanding dengan pencapaian manusia dalam tugas mereka sebagai khalifah di Bumi (QS. Al-Baqarah: 30). Oleh karena itu, pengembangan sains yang berbasis *maqāṣid* tidak hanya meningkatkan keilmuan tetapi juga membentuk ilmuwan yang bertanggung jawab secara spiritual, sosial, dan lingkungan. Inilah ruh dari keselarasan antara ilmu, iman, dan alam, sebuah sintesis yang memberikan harapan untuk masa depan sains yang lebih baik dan penuh berkat.

KESIMPULAN

Studi ini menegaskan bahwa limbah cangkang udang merupakan sumber potensial kitin yang dapat diolah menjadi kitosan berkualitas tinggi melalui proses demineralisasi, deproteinasi, dan deasetilasi dengan parameter yang dioptimalkan. Kitosan hasil sintesis memiliki karakteristik fisik, kimia, dan biologis yang unggul serta aplikasi luas di berbagai bidang, mulai dari pangan, kesehatan, hingga lingkungan. Pemanfaatan limbah cangkang udang sebagai bahan baku kitosan mendukung prinsip ekonomi sirkular, pengurangan limbah, dan pelestarian lingkungan. Integrasi nilai-nilai etika Islam, seperti prinsip keberlanjutan, pengelolaan sumber daya secara bijak, dan tanggung jawab sebagai khalifah di bumi, memberikan landasan moral yang kuat dalam pengembangan biomaterial ramah lingkungan. Dengan demikian, kolaborasi antara sains modern dan etika Islam menjadi kunci dalam mewujudkan inovasi berkelanjutan yang bermanfaat bagi masyarakat dan lingkungan.

DAFTAR RUJUKAN

- Ababneh, H. & Hameed, B.H. (2021). Chitosan-Derived hydrothermally carbonized materials and its applications: A review of recent literature. *International Journal of Biological Macromolecules*, 186, 314-327.
- Aldila, H., Nuryadin, A., & Dalimunthe, D. (2021). Pengaruh konsentrasi NaOH pada proses deasetilasi kitin terhadap derajat deasetilasi kitosan. *Jurnal Riset Fisika Indonesia (JRFI)*, 1(2), 7–11.
- Alemu, D., Getachew, E., & Mondal, A.K. (2023). Study on the Physicochemical Properties of Chitosan and their Applications in the Biomedical Sector. *Hindawi International Journal of Polymer Science*, 1-13.
- Amini, F., Islawati, I., & Asdinar. (2021). Pemanfaatan chitosan dari limbah kulit udang sebagai pestabil pada nanopartikel perak dengan bioreduktor daun serai (*Cymbopogon citratus*). *Jurnal Kesehatan Panrita Husada*, 6(2), 195–203.
- Auda, J. (2008). *Maqasid al-Shariah as Philosophy of Islamic Law: A Systems Approach*. London: International Institute of Islamic Thought (IIIT).
- Dusuki, A. W., & Bouheraoua, S. (2011). *The framework of Maqasid al-Shari'ah and its implication for Islamic finance*. Kuala Lumpur: International Shari'ah Research Academy for Islamic Finance (ISRA).
- Iyan dan Sari, D.A. (2020). Pengoptimalan Nilai Guna Limbah Kulit Udang. *Barometer*, 5(1), 224-226.
- KKP (Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia). *Indonesia Gandeng ADB untuk Tingkatkan Produksi Udang Nasional*.
- Li, Q., Mi, Y., Tan, W., Guo, Z. (2020). Highly efficient free radical-scavenging property of phenolic-functionalized chitosan derivatives: Chemical modification and activity assessment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 4279-4288.
- Lin, Y., Li, N., Lin, H., Lin, M., Chen, Y., Wang, H., Ritenour, M.A., & Lin, Y. (2020). Effect of Chitosan treatment on the storability and quality properties of longan fruit during storage. *Food Chemistry*, 306, 1-10.
- Mahatmanti, F.W., Kusumastuti, E., Jumaeri, Sulistyani, M., Susiyanti, A., Haryanti, U., & Dirgantari, P. (2022). *Pembuatan Kitin dan Kitosan dari*

Limbah Cangkang Udang Sebagai Upaya Memanfaatkan Limbah Menjadi Material Maju. ResearchGate.

- Mathaba, M., & Daramola, M. O. (2020). Effect of chitosan's degree of deacetylation on the performance of PES membrane infused with chitosan during AMD treatment. *Membranes*, 10(3), 52. <https://doi.org/10.3390/membranes10030052>
- Mathaba, M., & Daramola, M.O. (2020). Effect of Chitosan's Degree of Deacetylation on the Performance of PES Membrane Infused with Chitosan during AMD Treatment. *Membranes*: 10(52), 1-16.
- Mursal, I.L.P., Warsito, A.M.P., Ariyanti, D.K., Susanti, E.I., & Irma, R. (2023). Review Article: Use of Chitosan Nanoparticles as New Drug Delivery. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*: 6(2), 804–809.
- Neves, J., Sarmiento, B., Mazzaglia, D., Bonferoni, M. C., Neto, A. P., Monteiro, M. C., & Seabra, V. (2011). Effect of chitosan coating in overcoming the phagocytosis of insulin-loaded solid lipid nanoparticles by mononuclear phagocyte system. *Carbohydrate Polymers*. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.12.042>
- Shahidi, F., Arachchi, J. K. V., & Jeon, Y. J. (1999). Food applications of chitin and chitosans. *Trends in Food Science & Technology*, 10(2), 37–51.
- Vo, T.S., Vo, T.T.B.C., Suk, J.W., and Kim, K. (2020). Recycling Performance of Graphene Oxide-Chitosan Hybrid Hydrogels for Removal of Cationic and Anionic Dyes. *Nan Convergence*: 7(4), 1-11.
- Wang, J. Yuan, Y., Liu, Y., Li, X., & Wu, S. (2024). Application of Chitosan in Fruit Preservation: A review. *Food Chemistry*, x(23), 1-10.
- Yuan, Y., Chesnutt, B. M., Haggard, W. O., & Bumgardner, J. D. (2011). Deacetylation of chitosan: Material characterization and *in vitro* evaluation via albumin adsorption and pre-osteoblastic cell cultures. *Materials*, 4, 1399–1416. <https://doi.org/10.3390/ma4081399>
- Zhu, W., Jiang, X., Liu, F., You, F., & Yao, C. (2020). Preparation of Chitosan-Graphene Oxide Composite Aerogel by Hydrothermal Method and Its Adsorption Property of Methyl Orange. *Polymers*: 12(2169), 1-16.
- Zulvianti, P.N., Lestari, P.M., & Nining, N. (2022). Review Komposit Pati-Kitosan: Perannya dalam Berbagai Sistem Penghantaran Obat. *Majalah Farmasetika*: 7(1), 18-38