

Antifungal activity of hydrogel derived from *Amusium pleuronectes* (Windowpane Shell) chitosan against *Malassezia furfur*

Aktivitas antijamur hidrogel dari kitosancangkang kerang simping (*Amusium Pleuronectes*) terhadap *Malassezia Furfur*

Revi Mariska Ritonga ^a, Ridwanto ^{a*}, Haris Munandar Nasution ^a, Rafita Yuniarti ^a

^a Program Studi Farmasi, Fakultas Farmasi, Universitas Muslim Nusantara Al-Washliyah, Medan, Sumatera Utara, Indonesia.

*Corresponding Authors: : ridwanto@umnaw.ac.id

Abstract

Amusium pleuronectes shell waste was investigated as a source of chitosan for a topical hydrogel with activity against *Malassezia furfur*. Chitosan was isolated by deproteinization, demineralization, depigmentation, and alkaline deacetylation, characterized by Fourier-transform infrared spectroscopy, and incorporated into hydrogels at nominal concentrations of 2%, 4%, and 6%, with a chitosan-free base as control. Physical properties were assessed over 21 days, and antifungal activity was evaluated by agar-well diffusion. The recovered material represented 24.30% of the initial shell mass, and its estimated degree of deacetylation was approximately 77%. All formulations retained their appearance without visible phase separation. Across formulations and observation times, pH ranged from 4.55 to 6.09, spread diameter from 5.1 to 5.8 cm, adhesion from 1.11 to 1.61 s, and apparent viscosity from 31,310 to 38,180 cP; pH, adhesion, and viscosity declined during storage. Mean inhibition zones were 11.57 ± 0.21 , 13.33 ± 0.15 , and 15.00 ± 0.10 mm for the 2%, 4%, and 6% formulations, respectively (three readings each). The base produced no inhibition halo, whereas the reported ketoconazole comparator value was 21.3 mm. The 6% formulation showed the greatest in vitro inhibition among the chitosan hydrogels, while the changes in physical properties indicate a need for further formulation optimization.

Keywords: *Amusium pleuronectes*; chitosan; hydrogel; *Malassezia furfur*; antifungal activity.

Abstrak

Limbah cangkang *Amusium pleuronectes* dikaji sebagai sumber kitosan untuk sediaan hidrogel topikal dengan aktivitas terhadap *Malassezia furfur*. Kitosan diisolasi melalui deproteinasi, demineralisasi, depigmentasi, dan deasetilasi alkalis, dikarakterisasi menggunakan spektroskopi inframerah transformasi Fourier, kemudian diformulasikan menjadi hidrogel dengan konsentrasi nominal 2%, 4%, dan 6%, disertai basis tanpa kitosan sebagai kontrol. Sifat fisik dievaluasi selama 21 hari, sedangkan aktivitas antijamur diuji menggunakan metode difusi sumuran. Rendemen bahan hasil isolasi sebesar 24,30% terhadap massa cangkang awal, dengan estimasi derajat deasetilasi sekitar 77%. Seluruh formula mempertahankan penampilannya tanpa pemisahan fase yang terlihat. Pada seluruh formula dan waktu pengamatan, pH berkisar 4,55–6,09, diameter daya sebar 5,1–5,8 cm, daya lekat 1,11–1,61 detik, dan viskositas tampak 31.310–38.180 cP; pH, daya lekat, serta viskositas menurun selama penyimpanan. Rata-rata zona hambat hidrogel 2%, 4%, dan 6% berturut-turut sebesar $11,57 \pm 0,21$; $13,33 \pm 0,15$; dan $15,00 \pm 0,10$ mm, masing-masing berdasarkan tiga pembacaan. Basis tidak menghasilkan zona hambat, sedangkan nilai pembanding ketokonazol sebesar 21,3 mm. Formula 6% menunjukkan penghambatan *in vitro* terbesar di antara hidrogel kitosan yang diuji, sementara perubahan sifat fisik menunjukkan perlunya optimalisasi formulasi lebih lanjut.

Kata kunci: *Amusium pleuronectes*; kitosan; hidrogel; *Malassezia furfur*; aktivitas antijamur.



Copyright © 2020 The author(s). You are free to : **Share** (copy and redistribute the material in any medium or format) and **Adapt** (remix, transform, and build upon the material) under the following terms: **Attribution** — You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use; **NonCommercial** — You may not use the material for commercial purposes; **ShareAlike** — If you remix, transform, or build upon the material, you must distribute your contributions under the same license as the original. Content from this work may be used under the terms of the a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\) License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

<https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v9i3.1866>

Article History:

Received: 26/05/2026,
Revised: 29/08/2026,
Accepted: 29/08/2026,
Available Online: 18/09/2026.

QR access this Article



Pendahuluan

Pitiriasis versikolor merupakan infeksi jamur superfisial yang ditandai oleh lesi hipopigmentasi atau hiperpigmentasi dengan skuama halus dan berkaitan dengan khamir *Malassezia*. Antijamur topikal berperan utama dalam penatalaksanaannya, sehingga pengembangan sistem penghantaran lokal yang sesuai menjadi salah satu tujuan penting dalam bidang farmasi. *Malassezia furfur* dipilih sebagai organisme uji karena merupakan khamir kulit yang bergantung pada lipid dan berperan dalam penyakit ini. [1–3] Penelitian terbaru pada isolat *Malassezia* asal Kolombia menunjukkan variasi kepekaan terhadap azol, baik antar-isolat maupun antara bentuk planktonik dan biofilm, yang menegaskan pentingnya pengujian spesifik terhadap organisme sasaran. [4]

Kerang simping, *Amusium pleuronectes*, merupakan bivalvia bernilai ekonomi di perairan Indonesia. Cangkangnya berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku lokal untuk meningkatkan nilai guna limbah pengolahan hasil laut. [5] Penelitian terhadap limbah biota perairan Sumatera Utara dan cangkang kerang darah telah memberikan dasar bagi pengembangan isolasi kitosan dari sumber setempat, meskipun rendemen dan karakteristik bahan bervariasi menurut sumber biologis serta prosedur ekstraksi. [6,7] Nilai farmasetik bahan tersebut ditentukan oleh keterkaitan antara karakteristik kimia, perilakunya dalam sistem pembawa, dan aktivitasnya terhadap mikroorganisme sasaran.

Kitosan merupakan turunan kitin yang mengalami deasetilasi parsial dan memiliki gugus amina yang dapat terprotonasi dalam medium asam. Kelarutan dan interaksinya dengan permukaan biologis dipengaruhi oleh karakteristik molekuler serta kondisi medium. [8] Mekanisme antijamur yang diusulkan melibatkan interaksi antara polimer kationik dan permukaan sel jamur, diikuti perubahan integritas membran atau fungsi sel. Efek tersebut bervariasi menurut konsentrasi polimer, bobot molekul, derajat deasetilasi, dan spesies jamur. [9] Sifat-sifat ini mendasari kajian mengenai hubungan antara kandungan kitosan dan aktivitas antijamur dalam sediaan hidrogel topikal.

Hidrogel merupakan sistem pembawa semipadat berbasis air dengan viskositas, daya sebar, dan daya lekat yang dapat disesuaikan melalui formulasi. Penelitian mengenai hidrogel antijamur dan penghantaran transdermal menunjukkan pentingnya kesesuaian sistem pembawa polimer dengan tujuan penggunaan topikal. [10,11] Kitosan cangkang lobster air tawar telah diformulasikan menjadi gel antibakteri dan antijerawat, sedangkan penelitian terbaru mengkaji hidrogel kitosan cangkang kerang bambu terhadap *Trichophyton mentagrophytes*. [12–14] Penelitian ini mengevaluasi kitosan cangkang *A. pleuronectes* dalam hidrogel berbasis karbopol pada konsentrasi nominal 2%, 4%, dan 6%, dengan fokus pada karakterisasi fisikokimia, perubahan sifat fisik selama penyimpanan 21 hari, serta penghambatan *M. furfur* secara *in vitro*.

Metode Penelitian

Tempat penelitian dan penyiapan cangkang

Penelitian eksperimental ini dilaksanakan pada Desember 2024–Februari 2025 di Laboratorium Terpadu Farmasi Universitas Muslim Nusantara Al-Washliyah dan Laboratorium Penelitian Terpadu Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia. Cangkang dikumpulkan secara purposif dari wilayah pesisir Sibolga, Sumatera Utara. Determinasi spesies dilakukan di Laboratorium Sistemika Hewan, Universitas Sumatera Utara. Cangkang dicuci untuk menghilangkan pengotor yang melekat, dijemur selama 21 hari untuk mengurangi kadar air sebelum penggilingan, kemudian diayak menggunakan ayakan 40 mesh. Sebanyak 100 g serbuk hasil ayakan digunakan untuk proses isolasi.

Isolasi kitosan

Isolasi meliputi deproteinasi menggunakan basa, demineralisasi menggunakan asam, depigmentasi, dan deasetilasi, mengikuti urutan isolasi kitosan cangkang bivalvia yang dijelaskan oleh Rizki dkk. [15] Serbuk cangkang direaksikan dengan NaOH 4% pada rasio padatan terhadap cairan 1:10 (b/v), suhu 100 °C, selama 1 jam. Padatan yang diperoleh selanjutnya direaksikan dengan HCl 2 N pada rasio 1:5 (b/v), suhu 100 °C, selama 1 jam. Depigmentasi dilakukan menggunakan NaOCl 4% pada rasio 1:10 (b/v) selama 1 jam pada suhu ruang. Setelah setiap tahap, padatan disaring, dicuci dengan akuades hingga pH netral, dan dikeringkan pada suhu 60 °C selama 4 jam. Bahan hasil depigmentasi direaksikan dengan NaOH 50% pada rasio 1:20 (b/v), suhu 100 °C, selama 1 jam, kemudian dicuci hingga pH netral dan dikeringkan pada suhu 60 °C selama 4 jam.

Rendemen setiap tahap dihitung dari perbandingan massa padatan kering setelah perlakuan terhadap massa bahan sebelum tahap tersebut, kemudian dikalikan 100. Rendemen keseluruhan kitosan dihitung terhadap 100 g serbuk cangkang awal. Rendemen terhadap fraksi kitin hasil depigmentasi dihitung secara terpisah untuk membedakan kedua basis perhitungan.

Karakterisasi bahan dan analisis inframerah

Spektrum inframerah transformasi Fourier (FTIR) direkam pada rentang bilangan gelombang 4000–400 cm^{-1} dan dibandingkan dengan kitosan baku komersial (Sigma-Aldrich, produk 448877). Penetapan gugus fungsi pada pita serapan mengacu pada prinsip spektroskopi inframerah dan pendekatan karakterisasi kitosan yang saling melengkapi. [16,17] Derajat deasetilasi (DD) diestimasi menggunakan rasio absorbansi pada daerah amida I dan hidroksil terhadap garis dasar, dengan faktor koreksi 1,33. Pita serapan yang digunakan dalam perhitungan berada pada bilangan gelombang 1648 dan 3353 cm^{-1} .

$$\text{DD (\%)} = [1 - (A_{1648}/A_{3353})/1,33] \times 100; A_v = \log_{10}(T_{\text{garis dasar}}/T_{\text{pita}}).$$

Untuk perbandingan visual, kurva kitin prekursor, kitosan baku, dan kitosan hasil isolasi didigitasi dari gambar spektrum, dikalibrasi terhadap skala bilangan gelombang serta transmitansi pada masing-masing gambar, kemudian disajikan secara tumpang tindih (*overlap*; Gambar 1B). Perubahan skala horizontal pada 2000 cm^{-1} dalam gambar sumber diperhitungkan sebelum kurva ditampilkan pada sumbu bilangan gelombang yang seragam. Kurva ditampilkan tanpa normalisasi intensitas, koreksi garis dasar, atau pergeseran vertikal; bagian yang tertutup anotasi tidak digunakan. Visualisasi ini digunakan untuk perbandingan kualitatif, sedangkan estimasi DD tetap mengacu pada konstruksi garis dasar pada Gambar 1A.

Kadar air ditentukan dengan mengeringkan 0,5 g bahan pada suhu 100–105 °C selama 2 jam, dilanjutkan dengan pendinginan dalam desikator selama 30 menit dan penimbangan kembali. Penetapan kadar abu dilakukan terhadap 0,5 g bahan yang dipanaskan pada suhu 500 °C selama 4 jam. Kelarutan diuji dalam air, air yang dipanaskan, alkohol, dan asam asetat 2%; pengujian dalam asam asetat menggunakan rasio 1:100 (b/v). Reaksi kualitatif dengan tembaga sulfat dalam suasana basa juga diamati menggunakan albumin dan air sebagai pembanding.

Formulasi hidrogel

Tabel 1. Komposisi hidrogel kitosan dan basis kontrol.

Komponen	F0	F1	F2	F3
Kitosan cangkang kerang	0%	2%	4%	6%
Karbopol	1 g	1 g	1 g	1 g
Trietanolamin	q.s.	q.s.	q.s.	q.s.
Propilen glikol	5 mL	5 mL	5 mL	5 mL
Gliserin	5 mL	5 mL	5 mL	5 mL
Metilparaben	0,1 g	0,1 g	0,1 g	0,1 g
Akuades hingga	100 mL	100 mL	100 mL	100 mL

Konsentrasi menunjukkan kadar nominal pada masing-masing formula; q.s., secukupnya.

Pengolahan 100 g serbuk cangkang menghasilkan 95,10 g padatan setelah deproteinasi, 49,70 g setelah demineralisasi, 48,95 g setelah depigmentasi, dan 24,30 g setelah deasetilasi (Tabel 2). Rendemen akhir setara dengan 24,30% terhadap massa cangkang awal atau 49,64% terhadap fraksi kitin hasil depigmentasi.

Rendemen tahap demineralisasi sebesar 52,26% menunjukkan kehilangan massa 47,74%, sedangkan rendemen tahap depigmentasi sebesar 98,49% menunjukkan kehilangan massa 1,51%. Perubahan massa pada tahap depigmentasi relatif kecil dibandingkan penurunan massa selama perlakuan asam dan deasetilasi.

Empat formula disiapkan, yaitu basis tanpa kitosan (F0) serta hidrogel dengan konsentrasi nominal kitosan 2% (F1), 4% (F2), dan 6% (F3). Komposisi formula disajikan pada Tabel 1. Karbopol didispersikan dalam akuades panas sambil digerus secara kontinu. Metilparaben dicampurkan dengan propilen glikol dan gliserin, kemudian campuran tersebut dimasukkan ke dalam polimer yang telah terhidrasi. Trietanolamin ditambahkan pada tahap pembentukan gel, diikuti penambahan sediaan kitosan dan sisa fase air. Campuran digerus hingga homogen secara makroskopis.

Evaluasi sifat fisik selama penyimpanan

Sediaan disimpan pada suhu ruang dan dievaluasi pada hari ke-0, 7, 14, dan 21 untuk menilai penampilan, pH, daya sebar, daya lekat, dan viskositas tampak. Homogenitas visual dinilai dengan meratakan gel di antara dua kaca objek, kemudian mengamati keberadaan partikel kasar atau gumpalan; hasil pengamatan dicatat pada minggu ke-1 hingga ke-3. Pengukuran pH dilakukan terhadap dispersi 1 g hidrogel dalam 10 mL akuades menggunakan pH meter yang telah dikalibrasi dengan larutan dapar pH 7,0.

Daya sebar diukur dengan menempatkan 0,5 g gel di antara dua lempeng kaca, memberikan beban 150 g selama 1 menit, kemudian mengukur diameter penyebarannya. Daya lekat dievaluasi menggunakan 0,25 g gel di antara dua kaca objek yang ditekan dengan beban 1 kg selama 5 menit; waktu terlepasnya kedua kaca dicatat dengan pembebanan 80 g. Viskositas tampak diukur menggunakan viskometer Brookfield dengan spindle 04 pada kecepatan 60 rpm setelah 1–2 menit. Nilai viskositas dinyatakan dalam sentipoise (cP).

Kultur jamur dan uji difusi sumuran

Kultur *M. furfur* diperoleh dari Universitas Sumatera Utara. Penilaian morfologi dilakukan melalui pengamatan karakteristik makroskopis koloni dan preparat yang diwarnai dengan *lactophenol cotton blue* pada perbesaran 400×. Kultur diremajakan pada Sabouraud dextrose agar pada suhu 25 °C selama 48 jam. Kekeruhan suspensi dalam larutan salin disesuaikan dengan standar McFarland 0,5, kemudian diencerkan 1:100 sebelum inokulasi.

Pada uji difusi, sebanyak 0,1 mL suspensi jamur dicampurkan dengan 15 mL potato dextrose agar. Setelah medium memadat, dibuat sumuran berdiameter 6 mm yang diisi dengan 50 mg masing-masing gel uji. Basis gel tanpa kitosan digunakan sebagai kontrol negatif, sedangkan salep ketokonazol 2% digunakan sebagai pembanding positif. Cawan diinkubasi pada suhu 25 °C selama 24–48 jam, kemudian diameter zona hambat diukur menggunakan jangka sorong. Diameter zona hambat setiap formula yang mengandung kitosan dicatat dalam tiga pembacaan.

Pengamatan eksploratif pada kulit dan analisis data

Pengamatan dengan aplikasi terbuka dilakukan pada enam sukarelawan. Hidrogel dioleskan pada kulit di belakang telinga sebanyak dua hingga tiga kali selama periode pengamatan 24 jam, kemudian dicatat adanya kemerahan, gatal, dan kekasaran kulit. Prosedur aplikasi mengacu pada evaluasi gel topikal yang dijelaskan oleh Munthe dan Ridwanto. [18]

Data zona hambat F1–F3 disajikan sebagai rata-rata aritmetika dan simpangan baku sampel (SD) dari tiga pembacaan. Hasil pengukuran fisik diuraikan berdasarkan formula dan waktu penyimpanan, tanpa memperlakukan waktu pengamatan yang berbeda sebagai ulangan independen. Hasil kontrol negatif dan satu nilai ringkasan kontrol positif disajikan secara terpisah dari hasil pembacaan berulang pada formula uji.

Hasil dan Pembahasan

Rendemen isolasi dan karakteristik bahan

Pengolahan 100 g serbuk cangkang menghasilkan 95,10 g padatan setelah deproteinasi, 49,70 g setelah demineralisasi, 48,95 g setelah depigmentasi, dan 24,30 g setelah deasetilasi (Tabel 2). Rendemen akhir setara dengan 24,30% terhadap massa cangkang awal atau 49,64% terhadap fraksi kitin hasil depigmentasi. Rendemen tahap demineralisasi sebesar 52,26% menunjukkan kehilangan massa 47,74%, sedangkan rendemen tahap depigmentasi sebesar 98,49% menunjukkan kehilangan massa 1,51%. Perubahan massa pada tahap depigmentasi relatif kecil dibandingkan penurunan massa selama perlakuan asam dan deasetilasi.

Tabel 2. Neraca massa selama isolasi dari 100 g serbuk cangkang.

Tahap	Padatan kering (g)	Rendemen tahap (%)	Rendemen keseluruhan (%)
Serbuk cangkang awal	100,00	—	100,00
Deproteinasi	95,10	95,10	95,10
Demineralisasi	49,70	52,26	49,70
Depigmentasi	48,95	98,49	48,95
Deasetilasi	24,30	49,64	24,30

Rendemen tahap dihitung terhadap massa bahan sebelum setiap perlakuan; rendemen keseluruhan dihitung terhadap massa serbuk cangkang awal.

Penurunan massa selama perlakuan asam sejalan dengan pelepasan komponen cangkang yang larut dalam asam; pembentukan gelembung berkaitan dengan pelepasan karbon dioksida selama pelarutan karbonat. Meskipun demikian, perubahan massa saja tidak membuktikan penghilangan mineral secara selektif maupun terjaganya struktur polimer. Berdasarkan massa kitin, Ridwanto dkk. melaporkan rendemen kitosan sebesar 75,94% dari udang, 55,74% dari kepiting, dan 68,75% dari lobster air tawar, dibandingkan 49,64% pada penelitian ini. [6] Sementara itu, Ahmed dkk. memperoleh 28 g kitosan dari 120 g cangkang udang, setara dengan rendemen 23,33% terhadap massa cangkang, yang secara numerik mendekati rendemen keseluruhan penelitian ini, yaitu 24,30%. [19] Perbedaan bahan baku, perlakuan asam dan basa, serta basis perhitungan membatasi perbandingan langsung efisiensi proses. Variasi struktur menurut sumber biologis juga dilaporkan pada kitin dan kitosan yang diperoleh dari serangga. [20]

Tabel 3. Hasil karakterisasi bahan yang diisolasi dari cangkang kerang simping.

Parameter	Hasil
Penampilan	Serbuk coklat muda dengan serpihan halus
Bau	Tidak berbau
Kelarutan dalam asam asetat 2%	Larut
Kelarutan dalam air, air panas, dan alkohol	Tidak larut
Kadar abu	0,53%
Kadar air	1,73%
Derajat deasetilasi berdasarkan FTIR	Sekitar 77%
Reaksi tembaga sulfat dalam suasana basa	Warna ungu muda

Bahan hasil isolasi larut dalam asam asetat 2%, tetapi tidak larut dalam medium lain yang diuji, sesuai dengan sifat kelarutan kitosan yang bergantung pada kondisi asam. [8] Kadar abu dan kadar air mencerminkan aspek mutu yang berbeda: kadar abu menggambarkan residu anorganik, sedangkan kadar air berkaitan dengan proses pengeringan dan penyerapan air setelahnya. Rizki dkk. melaporkan kadar abu 0,7% dan kadar air 3,81% pada kitosan *Anadara antiquata*, sedangkan Mardiana melaporkan kadar abu 3,4672% pada bahan asal *Anadara granosa*. [7,15] Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa nilai gravimetri yang rendah tidak dengan sendirinya membuktikan kemurnian kimia secara menyeluruh. Persyaratan mutu kitosan diatur dalam SNI 7949:2013 dan edisi berikutnya, SNI 7949:2022, tetapi penilaian kesesuaiannya memerlukan pengukuran yang tervalidasi berdasarkan spesifikasi yang berlaku. [21,22]

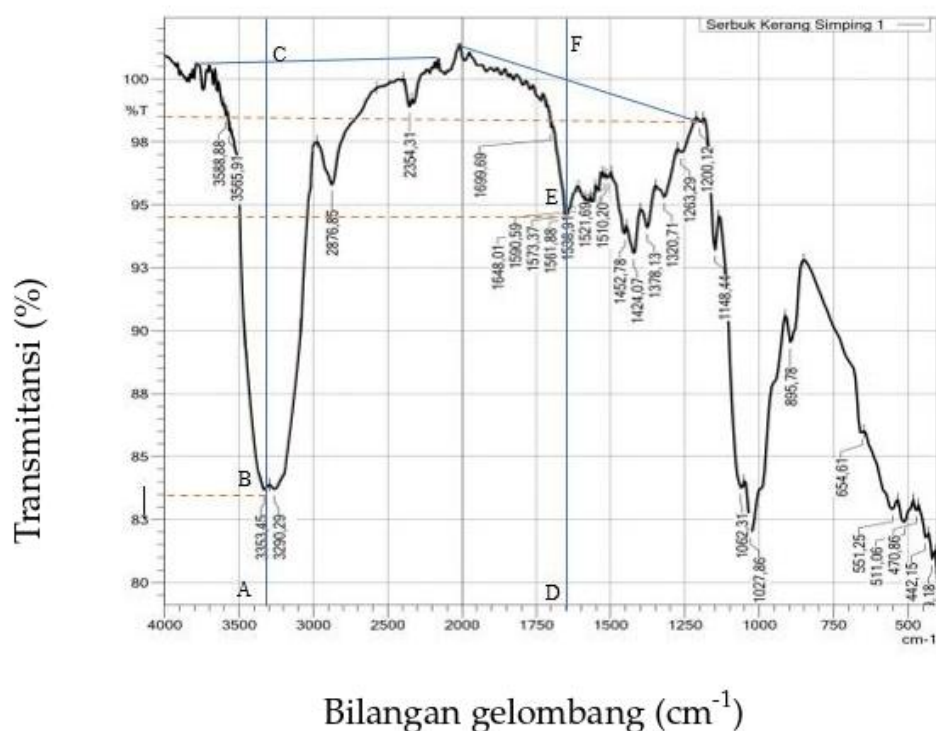
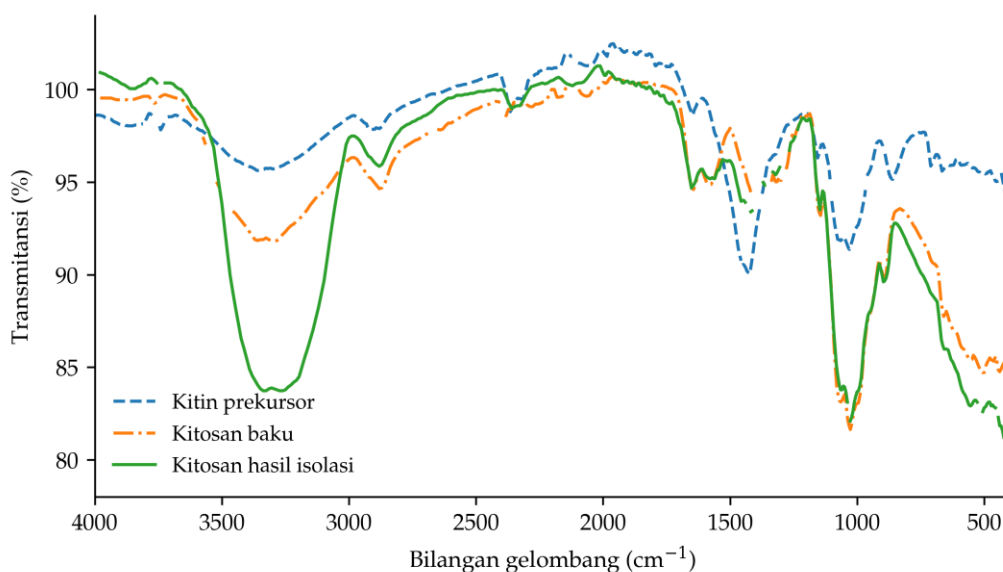
Warna ungu muda pada reaksi tembaga sulfat dalam suasana basa merupakan hasil pengamatan kualitatif, bukan pengukuran deasetilasi yang selektif. Oleh karena itu, reaksi tersebut tidak menggantikan karakterisasi struktur maupun membuktikan ketiadaan residu protein. Perbandingan spektrum FTIR memberikan dasar yang lebih relevan untuk mengidentifikasi bahan sebagai fraksi polisakarida dengan karakteristik menyerupai kitosan, sementara verifikasi kuantitatif komposisi tetap penting bagi pemanfaatannya dalam bidang farmasi. [17].

Karakteristik inframerah dan deasetilasi

Spektrum FTIR kitosan hasil isolasi memperlihatkan kemiripan profil dengan kitosan baku, terutama pada daerah ulur O–H/N–H, C–H alifatik, dan sidik jari polisakarida (Tabel 4; Gambar 1B). Pita lebar pada 3353,45 cm⁻¹ berdekatan dengan pita kitosan baku pada 3359,19 cm⁻¹, sedangkan pita C–H alifatik masing-masing teramati pada 2876,85 dan 2871,10 cm⁻¹. Kesamaan pita pada 1062,31 dan 895,78 cm⁻¹ juga mendukung keberadaan kerangka polisakarida. Spektrum kitin prekursor disertakan untuk memperlihatkan perbedaan profil sebelum dan sesudah tahap deasetilasi.

Tabel 4. Pita serapan FTIR terpilih pada kitin, kitosan baku komersial, dan bahan hasil isolasi.

Daerah spektrum / penetapan sementara	Kitin (cm ⁻¹)	Kitosan baku (cm ⁻¹)	Kitosan hasil isolasi (cm ⁻¹)
Vibrasi ulur O-H/N-H	3298,03	3359,19	3353,45
Vibrasi ulur C-H alifatik	2876,85	2871,10	2876,85
Daerah amida I / karbonil	1648,01	1648,01	1648,01
Vibrasi tekuk N-H / daerah amida II	1556,14	1579,11	1573,37
Daerah C-O-C polisakarida	1062,31	1062,31	1062,31
Daerah sidik jari glikosidik	912,78	895,78	895,78

A**B**

Gambar 1. Karakterisasi FTIR bahan asal cangkang *Amusium pleuronectes*. (A) Spektrum kitosan hasil isolasi dan konstruksi garis dasar untuk estimasi DD; penanda A–F menunjukkan titik konstruksi, dengan AB = 84, AC = 101, DE = 94,5, dan DF = 100. (B) Overlap kurva kitin prekursor, kitosan baku, dan kitosan hasil isolasi, didigitasi dari gambar spektrum untuk perbandingan kualitatif. Kurva tidak dinormalisasi dan bagian yang tertutup anotasi tidak ditelusuri.

Pada daerah amida, penugasan pita dalam Tabel 4 mencatat bilangan gelombang 1648,01 cm^{-1} pada ketiga bahan, sedangkan pita yang berkaitan dengan lingkungan N-H tercatat pada 1556,14 cm^{-1} untuk kitin, 1579,11 cm^{-1} untuk kitosan baku, dan 1573,37 cm^{-1} untuk kitosan hasil isolasi. Kedekatan posisi pita kedua kitosan menunjukkan kesesuaian lingkungan gugus fungsi yang mengandung nitrogen. Interpretasi perubahan amida selama deasetilasi mempertimbangkan keseluruhan pola spektrum dan rasio absorbansi; perubahan posisi puncak tidak disamakan dengan hilangnya pita atau penurunan intensitas secara kuantitatif. [16,17]

Pola serapan tersebut sejalan secara kualitatif dengan penelitian Ahmed dkk. pada kitin dan kitosan cangkang udang, yang melaporkan pita ulur O-H/N-H masing-masing pada 3435 dan 3443 cm^{-1} , serta pita C=O pada 1072 dan 1071 cm^{-1} . [19] Meskipun posisi pita tidak identik dengan hasil penelitian ini, keduanya memperlihatkan daerah serapan hidroksil/amina dan polisakarida yang sama. Perbandingan tersebut mendukung penafsiran berdasarkan kombinasi pita karakteristik, bukan kesamaan satu bilangan gelombang. Weißpflog dkk. mengombinasikan analisis tinggi, luas, dan dekonvolusi pita FTIR dengan NMR, analisis unsur, serta titrasi dalam karakterisasi DD, sehingga kemiripan visual spektrum dan penentuan tingkat deasetilasi merupakan informasi yang saling melengkapi. [17]

Pada konstruksi garis dasar dalam Gambar 1A, nilai transmitansi acuan dan pita serapan masing-masing sebesar 100 dan 94,5 pada 1648 cm^{-1} , serta 101 dan 84 pada 3353 cm^{-1} . Nilai tersebut menghasilkan $A_{1648} = 0,024568$ dan $A_{3353} = 0,080042$. Substitusi ke dalam persamaan menghasilkan DD sebesar 76,92%, atau sekitar 77%, yang menunjukkan deasetilasi parsial. Sebagai pembanding, Rizki dkk. melaporkan DD sebesar 75% pada kitosan cangkang *Anadara antiquata* yang diperoleh melalui deasetilasi alkalis. [15] Kedua hasil berada pada kisaran deasetilasi parsial yang berdekatan, tetapi perbedaan bahan baku dan pendekatan analisis perlu dipertimbangkan dalam membandingkan nilainya. Ketelitian estimasi pada penelitian ini mengikuti ketelitian pembacaan garis dasar; tampilan *overlap* berfungsi sebagai pelengkap visual, bukan validasi independen terhadap DD. [17].

Tabel 5. Hasil pengukuran sifat fisik selama penyimpanan pada suhu ruang.

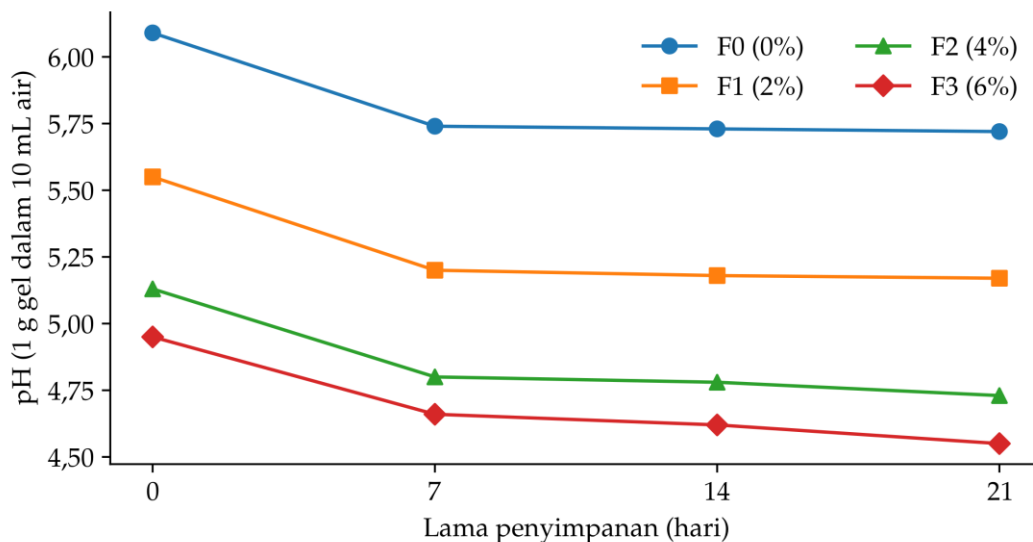
Parameter	Formula	Hari ke-0	Hari ke-7	Hari ke-14	Hari ke-21
pH	F0	6,09	5,74	5,73	5,72
	F1	5,55	5,20	5,18	5,17
	F2	5,13	4,80	4,78	4,73
	F3	4,95	4,66	4,62	4,55
Daya lekat (detik)	F0	1,61	1,58	1,47	1,35
	F1	1,56	1,53	1,40	1,28
	F2	1,51	1,49	1,19	1,14
	F3	1,38	1,34	1,16	1,11
Diameter daya sebar (cm)	F0	5,1	5,3	5,3	5,3
	F1	5,3	5,4	5,4	5,4
	F2	5,5	5,7	5,7	5,7
	F3	5,7	5,8	5,8	5,8
Viskositas tampak (cP)	F0	33.670	32.270	32.050	31.690
	F1	36.340	33.590	33.490	31.310
	F2	36.540	35.050	34.640	32.360
	F3	38.180	36.720	34.700	33.560

F0, basis kontrol; F1–F3, hidrogel dengan konsentrasi nominal kitosan 2%, 4%, dan 6%. Hasil pengukuran disajikan menurut waktu penyimpanan.

Karakteristik fisik selama penyimpanan 21 hari

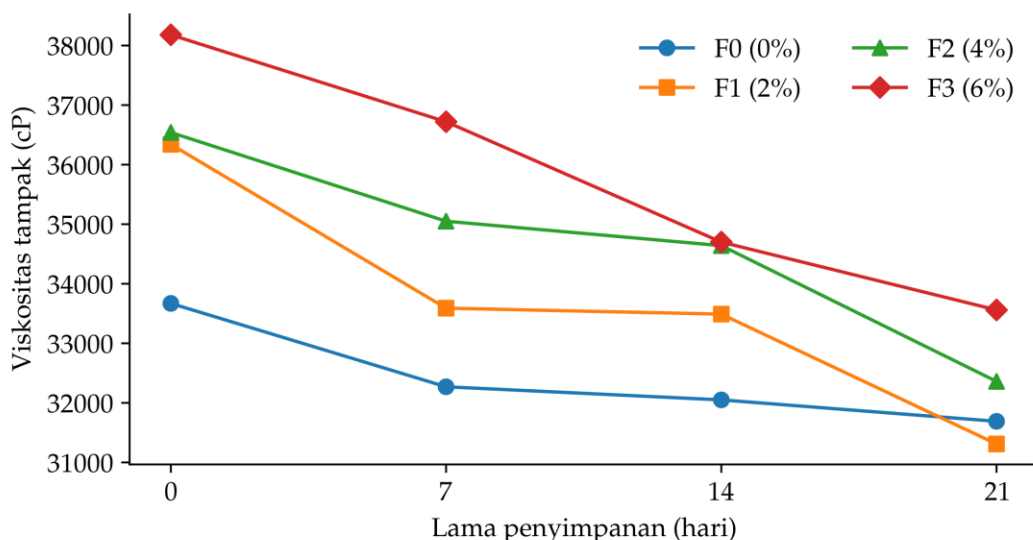
Seluruh formula mempertahankan penampilan dan bau awal selama 21 hari, tanpa pemisahan fase yang terlihat. F0 tampak transparan, sedangkan formula yang mengandung kitosan tampak agak keruh. Seluruh formula menunjukkan homogenitas makroskopis pada evaluasi mingguan. Meskipun demikian, pengukuran kuantitatif memperlihatkan perubahan bertahap pada pH, daya lekat, dan viskositas tampak (Tabel 5), sehingga penampilan visual yang tetap tidak serta-merta menunjukkan bahwa seluruh sifat bahan tidak berubah.

Pada seluruh formula dan waktu pengamatan, pH berkisar 4,55–6,09, diameter daya sebar 5,1–5,8 cm, daya lekat 1,11–1,61 detik, dan viskositas tampak 31.310–38.180 cP. F3 memiliki pH terendah sepanjang penyimpanan, dengan penurunan dari 4,95 menjadi 4,55, sedangkan pH F0 menurun dari 6,09 menjadi 5,72 (Gambar 2). Arah perubahan yang serupa pada basis tanpa kitosan menunjukkan bahwa penurunan pH tidak dapat dikaitkan semata-mata dengan degradasi kitosan. Produk degradasi kimia tidak diukur dalam penelitian ini, dan profil pH saja belum cukup untuk menyimpulkan keamanan sediaan pada kulit.



Gambar 2. Perubahan pH hidrogel selama penyimpanan 21 hari pada suhu ruang. Pengukuran dilakukan setelah 1 g gel didispersikan dalam 10 mL akuades.

Viskositas tampak menurun pada seluruh formula (Gambar 3), yaitu sebesar 5,88% pada F0, 13,84% pada F1, 11,44% pada F2, dan 12,10% pada F3 dari hari ke-0 hingga hari ke-21. Pada awal pembuatan, peningkatan konsentrasi kitosan berkaitan dengan viskositas tampak yang lebih tinggi. Namun, pola ini tidak sepenuhnya bertahan hingga hari ke-21, ketika viskositas F1 sedikit lebih rendah daripada F0. Daya lekat juga menurun, sedangkan diameter daya sebar meningkat sedikit pada minggu pertama dan kemudian relatif tetap. Viskositas, daya sebar, dan waktu pelepasan mengukur aspek perilaku sediaan semipadat yang berbeda, sehingga mutu gel tidak dapat ditentukan hanya dari satu parameter. Penelitian formulasi gel antijamur dan gel kitosan cangkang juga menempatkan parameter-parameter tersebut sebagai ukuran evaluasi yang saling melengkapi. [10,12,13].



Gambar 3. Perubahan viskositas tampak selama penyimpanan 21 hari pada suhu ruang, diukur menggunakan viskometer Brookfield dengan spindle 04 pada kecepatan 60 rpm.

Hasil ini menunjukkan terjaganya integritas makroskopis selama periode pengujian, tetapi belum menjadi dasar penetapan masa simpan. Penampilan yang tetap terjaga disertai perubahan sifat reologi yang terukur menjadi pertimbangan dalam optimalisasi sistem pembawa polimer berbasis air. Pengamatan ini belum membuktikan peningkatan penetrasi kulit, pengendalian pelepasan obat, maupun terjaganya aktivitas antijamur setelah penyimpanan, karena parameter tersebut tidak dievaluasi.

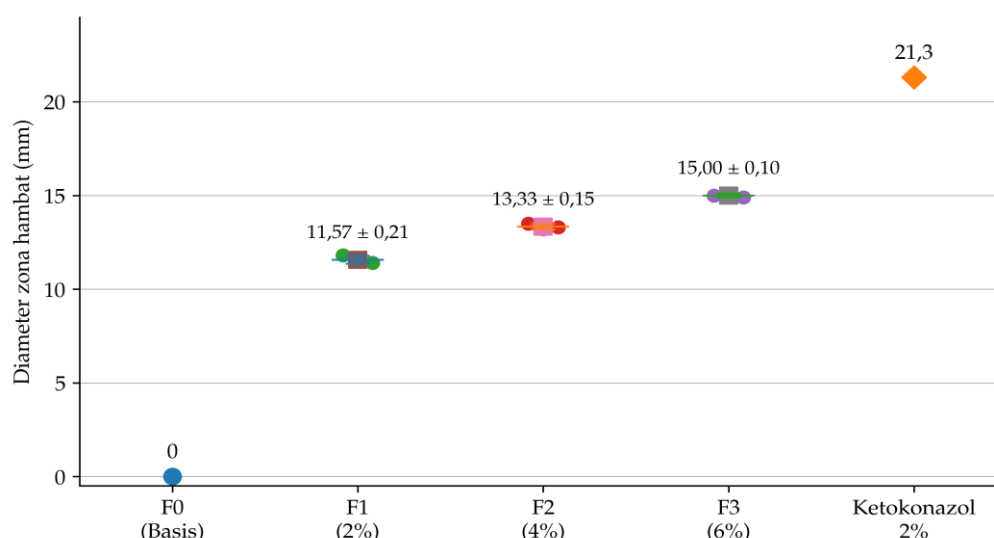
Aktivitas antijamur dan interpretasinya

Zona hambat meningkat pada ketiga formula yang mengandung kitosan (Tabel 6; Gambar 4). Nilai rata-rata $\pm$ SD berturut-turut sebesar $11,57 \pm 0,21$ mm pada F1, $13,33 \pm 0,15$ mm pada F2, dan $15,00 \pm 0,10$ mm pada F3. Basis kontrol tidak menunjukkan zona hambat, sedangkan pembanding ketokonazol menghasilkan diameter zona hambat 21,3 mm. Dengan demikian, F3 menghasilkan zona hambat terbesar di antara formula kitosan yang diuji, tetapi masih lebih kecil dibandingkan pembanding positif pada kondisi pengujian yang diterapkan.

Tabel 6. Hasil pengukuran zona hambat terhadap *M. furfur*.

Sediaan	Pembacaan 1 (mm)	Pembacaan 2 (mm)	Pembacaan 3 (mm)	Ringkasan (mm)
F1 (2%)	11,8	11,5	11,4	$11,57 \pm 0,21$
F2 (4%)	13,5	13,2	13,3	$13,33 \pm 0,15$
F3 (6%)	15,0	15,1	14,9	$15,00 \pm 0,10$
F0 (basis kontrol)	—	—	—	0; tanpa zona hambat
Ketokonazol 2%	—	—	—	21,3

Nilai F1–F3 merupakan rata-rata $\pm$ simpangan baku sampel (SD) dari tiga pembacaan. Hasil kontrol disajikan tanpa SD karena data tiap pembacaan kontrol tidak tersedia; tanda “—” tidak menunjukkan nilai pengukuran nol.



Gambar 4. Pembacaan individual diameter zona hambat serta rata-rata $\pm$ simpangan baku sampel (SD) pada hidrogel kitosan. Setiap kelompok terdiri atas tiga pembacaan. Hasil kontrol disajikan secara terpisah pada Tabel 6 karena data tiap ulangan yang sebanding tidak tersedia.

Peningkatan zona hambat seiring konsentrasi sejalan dengan bertambahnya jumlah kitosan yang tersedia untuk berinteraksi dengan sel jamur. Namun, hasil difusi agar mencerminkan gabungan antara penghambatan biologis, pelepasan dari sistem pembawa, dan perpindahan senyawa melalui medium; ukuran zona hambat bukan merupakan ukuran langsung potensi intrinsik. pH yang lebih rendah pada formula berkonsentrasi tinggi juga dapat memengaruhi ionisasi polimer dan pertumbuhan jamur. Interaksi kationik dengan permukaan sel jamur merupakan penjelasan mekanistik yang didukung literatur kitosan, tetapi kerusakan membran, pengikatan intraseluler, dan penghambatan enzim tidak diperiksa secara langsung dalam penelitian ini. [9]

Hasibuan dkk. melaporkan zona hambat 11,5 mm pada hidrogel kitosan *Solen corneus* 6% terhadap *T. mentagrophytes*. [14] Meskipun nilai F3 pada penelitian ini lebih besar secara numerik, perbedaan organisme uji serta kemungkinan perbedaan karakteristik polimer dan difusi tidak mendukung kesimpulan bahwa potensi antijamurnya lebih tinggi. Demikian pula, aktivitas antibakteri gel kitosan cangkang lobster air tawar

mendukung kelayakan pemanfaatan polimer asal cangkang dalam sistem pembawa topikal, tetapi tidak secara langsung membuktikan efektivitasnya terhadap *Malassezia*. [12,13] Temuan antibiofilm Ahmed dkk. berkaitan dengan nanopartikel kitosan bermuatan asam salisilat, sehingga tidak dapat diterapkan langsung pada hidrogel tanpa modifikasi yang diuji dalam penelitian ini. [19]

Kesesuaian kondisi kultur dengan kebutuhan organisme menjadi aspek penting dalam interpretasi hasil. Ketergantungan *M. furfur* pada lipid membedakannya dari khamir yang lazim diuji pada medium tanpa suplementasi, sedangkan metode uji kepekaan *Malassezia* yang telah dioptimalkan menggunakan sistem pertumbuhan khusus yang mengandung lipid. [3,23] Oleh karena itu, hasil difusi ini merupakan bukti awal aktivitas pada tingkat formulasi, bukan penetapan konsentrasi hambat minimum, kategori kepekaan klinis, atau kesetaraan dengan ketokonazol. Zona hambat yang lebih besar pada formula 6% menunjukkan aktivitas tertinggi di antara formula yang diuji pada kondisi tersebut, tetapi belum menetapkan konsentrasi optimum untuk penggunaan terapeutik.

Pengamatan eksploratif reaksi lokal pada kulit

Tidak ditemukan kemerahan, gatal, maupun kekasaran kulit pada enam sukarelawan selama pengamatan 24 jam. Pengamatan jangka pendek ini belum menjelaskan risiko sensitisasi, tolerabilitas penggunaan berulang, atau keamanan pada kulit yang mengalami kelainan. Uji toksisitas kitosan dari bivalvia lain, seperti uji larva udang terhadap kitosan *Meretrix meretrix* yang dilaporkan oleh Pratiwi dan Ridwanto, menggunakan model biologis yang berbeda dan tidak dapat digunakan untuk memvalidasi keamanan pada kulit manusia. [24].

Kesimpulan

Bahan hasil isolasi cangkang *Amusium pleuronectes* dapat diformulasikan menjadi hidrogel berbasis karbopol pada konsentrasi nominal kitosan 2%, 4%, dan 6%. Karakteristik FTIR dan estimasi DD sekitar 77% berdasarkan garis dasar konsisten dengan kitosan yang mengalami deasetilasi parsial. Seluruh formula mempertahankan penampilan makroskopis selama penyimpanan 21 hari, meskipun pH, daya lekat, dan viskositas tampak menurun. Pada uji difusi sumuran, formula 6% menghasilkan zona hambat terbesar di antara hidrogel kitosan, yaitu $15,00 \pm 0,10$ mm, dibandingkan $11,57 \pm 0,21$ mm pada konsentrasi 2% dan $13,33 \pm 0,15$ mm pada konsentrasi 4%. Formula 6% menjadi kandidat untuk pengujian lanjutan yang spesifik terhadap *Malassezia* dan optimalisasi stabilitas fisik. Temuan ini terbatas pada kondisi pengujian *in vitro* dan penyimpanan jangka pendek yang diterapkan.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan terkait dengan publikasi artikel ini. Penelitian ini tidak menerima dana dari lembaga mana pun, dan penulis tidak memiliki hubungan finansial maupun personal yang dapat memengaruhi isi artikel ini.

Referensi

- [1] Kaushik N, Pujalte GGA, Reese ST. Superficial fungal infections. Prim Care 2015;42:501–516. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2015.08.004>.
- [2] Karray M, McKinney WP. Tinea versicolor. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482500/> (accessed 20 September 2026).
- [3] Vest BE, Krauland K. *Malassezia furfur*. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK553091/> (accessed 20 September 2026).
- [4] Galvis-Marín JC, Celis-Ramírez AM, Tabares-Villa FA, Zuluaga-Vélez A, Sepúlveda-Arias JC. Characterisation of antifungal resistance to azoles in Colombian isolates of *Malassezia* spp. Mycoses 2025;68:e70112. <https://doi.org/10.1111/myc.70112>.
- [5] Budiyati, Omar SBA, Niartiningsih A, Widowati I, Kasim N, Yusuf M, et al. Habitat characteristics of Asian moon scallops (*Amusium pleuronectes*) in Makassar Strait and Bone Bay Waters, Indonesia. Biodiversitas 2024;25:3423–3430. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d251004>.

- [6] Ridwanto, Daulay AS, Gurning K. Isolation and characterization of chitosan from sea and freshwater waste, North Sumatera Province, Indonesia. *Rasayan J Chem* 2022;15:780–785. <https://doi.org/10.31788/RJC.2022.1526721>.
- [7] Mardiana U. Isolasi dan karakterisasi kitosan pada kerang darah (*Anadara granosa*). *J BTH Med Lab Technol* 2021;1:1–9. https://www.ejurnal.universitas-bth.ac.id/index.php/P3M_JBMLT/article/view/693 (accessed 20 September 2026).
- [8] Aranaz I, Alcántara AR, Civera MC, Arias C, Elorza B, Heras Caballero A, et al. Chitosan: an overview of its properties and applications. *Polymers* 2021;13:3256. <https://doi.org/10.3390/polym13193256>.
- [9] Poznanski P, Hameed A, Orczyk W. Chitosan and chitosan nanoparticles: parameters enhancing antifungal activity. *Molecules* 2023;28:2996. <https://doi.org/10.3390/molecules28072996>.
- [10] Kumar TP, Eswaraiah MC. Formulation and evaluation of topical hydrogel containing antifungal drug. *Pharm Pharmacol Int J* 2020;8:249–254. <https://doi.org/10.15406/ppij.2020.08.00302>.
- [11] Leong MY, Kong YL, Burgess K, Wong WF, Sethi G, Looi CY. Recent development of nanomaterials for transdermal drug delivery. *Biomedicines* 2023;11:1124. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11041124>.
- [12] Rani Z, Ridwanto, Nasution HM, Kaban VE, Nasri N, Karo NB. Antibacterial activity of freshwater lobster (*Cherax quadricarinatus*) shell chitosan gel preparation against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *J Appl Pharm Sci* 2023;13:146–153. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2023.130216>.
- [13] Ridwanto, Rosa VD, Rani Z, Fauzi ZPA. Utilization of chitosan from fresh water lobster (*Cherax quadricarinatus*) shells in anti-acne gel preparations. *Trends Sci* 2024;21:7243. <https://doi.org/10.48048/tis.2024.7243>.
- [14] Hasibuan NH, Ridwanto, Nasution HM, Rani Z. Antifungal activity of chitosan from bamboo shells (*Solen corneus*) in the production of hydrogel against *Trichophyton mentagrophytes*. *J Pharm Sci* 2025;8:1654–1673. <https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v8i3.906>.
- [15] Rizki D, Ridwanto, Rani Z. Isolasi dan identifikasi kitosan dari cangkang kerang bulu (*Anadara antiquata*). *Media Farmasi* 2023;19:74–80. <https://doi.org/10.32382/mf.v19i2.174>.
- [16] Ozaki Y. Infrared spectroscopy — mid-infrared, near-infrared, and far-infrared/terahertz spectroscopy. *Anal Sci* 2021;37:1193–1212. <https://doi.org/10.2116/analsci.20R008>.
- [17] Weißpflog J, Vehlow D, Müller M, Kohn B, Scheler U, Boye S, et al. Characterization of chitosan with different degree of deacetylation and equal viscosity in dissolved and solid state – insights by various complimentary methods. *Int J Biol Macromol* 2021;171:242–261. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.010>.
- [18] Munthe U, Ridwanto. Formulasi sediaan gel hand sanitizer dari ekstrak etanol daun malaka (*Phyllanthus emblica* L.) sebagai antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus*. *J Health Med Sci* 2022;1:21–27. <https://pusdikra-publishing.com/index.php/jkes/article/view/584> (accessed 20 September 2026).
- [19] Ahmed HA, El-Maradny YA, Shalaby MA, El-Menshawy H, Abd EL-Wahab AE. Isolation and characterization of chitosan from shrimp shell waste and the sustainable preparation of salicylic acid-loaded chitosan nanoparticles for antibiofilm applications. *Sci Rep* 2025;15:19263. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-03355-3>.
- [20] Mei Z, Kuzhir P, Godeau G. Update on chitin and chitosan from insects: sources, production, characterization, and biomedical applications. *Biomimetics* 2024;9:297. <https://doi.org/10.3390/biomimetics9050297>.
- [21] Badan Standardisasi Nasional. SNI 7949:2013. Kitosan—syarat mutu dan pengolahan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional; 2013.
- [22] Badan Standardisasi Nasional. SNI 7949:2022. Kitosan—syarat mutu dan pengolahan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional; 2022. <https://pesta.bsn.go.id/produk/detail/14288-sni79492022> (accessed 20 September 2026).
- [23] Leong C, Buttafuoco A, Glatz M, Bosshard PP. Antifungal susceptibility testing of *Malassezia* spp. with an optimized colorimetric broth microdilution method. *J Clin Microbiol* 2017;55:1883–1893. <https://doi.org/10.1128/JCM.00338-17>.
- [24] Pratiwi A, Ridwanto. Uji toksisitas kitosan cangkang kerang tahu (*Meretrix meretrix* L) dengan metode Brine Shrimp Lethality Test (BSLT). *J Farm Klin Sains* 2022;2:7–13. <https://doi.org/10.26753/jfks.v2i2.984>.