

Antifungal Activity of Chitosan from Bamboo Shells (*Solen corneus*) in the Production of Hydrogel Against *Trichophyton mentagrophytes*

Aktivitas Antijamur Kitosan Dari Cangkang Kerang Bambu (*Solen corneus*) Pada Pembuatan Hidrogel Terhadap *Trichophyton mentagrophytes*

Nabila Hasim Hasibuan ^a, Ridwanto ^{a*}, Haris Munandar Nasution ^a, Zulmai Rani ^a

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

*Corresponding Authors: rid.fillah66@gmail.com or ridwanto@umngaw.ac.id

Abstract

Background: Hydrogels are topical preparations applied to the skin surface. Chitosan, a compound derived from the deacetylation of chitin, has various benefits, including antifungal activity. Utilizing waste from bamboo clam shells (*Solen courneus*) collected in Belawan waters as a source of chitosan could provide a sustainable solution for developing antifungal hydrogel formulations. **Objective:** This study aimed to produce chitosan from bamboo clam shells, formulate it into a stable hydrogel, and evaluate its antifungal activity against *Trichophyton mentagrophytes*. **Methods:** This experimental study involved isolating chitosan through deproteinization, demineralization, depigmentation, and deacetylation steps. The resulting chitosan was characterized by moisture content, ash content, yield, solubility, and functional group identification using FTIR spectroscopy. Subsequently, chitosan was formulated into four hydrogel variations (0%, 2%, 4%, and 6%). The hydrogel formulations were evaluated for organoleptic properties, homogeneity, pH, viscosity, spreadability, adhesiveness, and antifungal activity. **Results:** The produced chitosan exhibited functional groups similar to standard chitosan and a degree of deacetylation of 77.5%. Hydrogel evaluation over three weeks showed good stability, with pH values of 4–6.5, spreadability of 5–7 cm, adhesiveness greater than 1 second, and viscosity ranging from 3,000–50,000 cps, all meeting the required standards. The antifungal test demonstrated that the 6% chitosan hydrogel had the highest inhibition zone (11.5 mm) against *Trichophyton mentagrophytes*. **Conclusion:** Chitosan derived from bamboo clam shells was successfully formulated into a stable hydrogel with effective antifungal activity. The 6% concentration exhibited the strongest antifungal effect, indicating its potential as a topical preparation for treating skin fungal infections.

Keywords: Chitosan, Hydrogel, Antifungal, *Trichopyton mentagropyte*.

Abstrak

Latar Belakang: Hidrogel merupakan sediaan topikal yang diaplikasikan pada permukaan kulit. Kitosan, senyawa yang berasal dari deasetilasi kitin, memiliki berbagai manfaat, salah satunya sebagai antijamur. Pemanfaatan limbah cangkang kerang bambu (*Solen courneus*) dari perairan Belawan sebagai sumber kitosan dapat menjadi solusi berkelanjutan dalam pengembangan sediaan hidrogel antijamur. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan kitosan dari cangkang kerang bambu, memformulasikannya ke dalam sediaan hidrogel yang stabil, serta menguji aktivitas antijamurnya terhadap *Trichophyton mentagrophytes*. **Metode:** Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, meliputi isolasi kitosan melalui tahapan deproteinasi, demineralisasi, depigmentasi, dan deasetilasi. Kitosan yang dihasilkan dikarakterisasi melalui analisis kadar air, kadar abu, rendemen, kelarutan, dan spektrofotometer FTIR untuk identifikasi gugus fungsi. Selanjutnya, kitosan diformulasikan ke dalam empat variasi hidrogel (0%, 2%, 4%, dan 6%). Evaluasi sediaan meliputi uji organoleptis, homogenitas, pH, viskositas, daya sebar, daya lekat, serta uji aktivitas antijamur. **Hasil:** Kitosan yang dihasilkan memiliki kemiripan gugus fungsi dengan kitosan baku dan derajat deasetilasi sebesar 77,5%.

Hasil evaluasi hidrogel selama tiga minggu menunjukkan stabilitas yang baik, dengan pH (4-6,5), daya sebar (5-7 cm), daya lekat (>1 detik), dan viskositas (3.000-50.000 cps) yang memenuhi persyaratan. Uji antijamur menunjukkan bahwa hidrogel kitosan 6% memiliki daya hambat tertinggi (11,5 mm) terhadap *Trichophyton mentagrophytes*. **Kesimpulan:** Kitosan dari cangkang kerang bambu berhasil diformulasikan menjadi hidrogel yang stabil dan efektif sebagai antijamur. Konsentrasi 6% menunjukkan aktivitas antijamur terbaik, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai sediaan topikal untuk infeksi jamur kulit.

Kata Kunci: Kitosan, Hidrogel, Antijamur, *Trichophyton mentagrophyte*.



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 [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\) License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Article History:

Received: 20/05/2025,
Revised: 17/08/2025,
Accepted: 18/08/2025,
Available Online: 18/08/2025,

QR access this Article



<https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v8i3.906>

Pendahuluan

Trichophyton mentagrophytes merupakan salah satu jamur dermatofit yang sering menyebabkan infeksi superfisial pada kulit, rambut, dan kuku. Salah satu infeksi yang ditimbulkan adalah *Tinea capitis*, yaitu infeksi jamur pada kulit kepala dan batang rambut. Infeksi ini lebih sering menyerang anak-anak, namun juga dapat ditemukan pada orang dewasa. *Tinea capitis* bersifat menular dan dapat menyebar melalui kontak langsung maupun melalui benda yang terkontaminasi, sehingga memerlukan penanganan dengan agen antijamur yang efektif [1]. Kurap kulit kepala adalah infeksi dermatologis yang memengaruhi bercak-bercak kulit di kulit kepala, akibat jamur yang menyerang dan mengakar di batang rambut. Infeksi kurap kulit kepala menyebabkan bintik-bintik merah berbentuk cincin, gatal, pustula, dan rambut patah, termasuk bercak-bercak botak dan bahkan jaringan parut di kulit kepala[2].

Tinea capitis adalah infeksi jamur superfisial pada kulit kepala dan batang rambut yang disebabkan oleh dermatofit, terutama dari genus *Trichophyton* dan *Microsporum*. Penyakit ini umum terjadi di seluruh dunia, namun lebih sering ditemukan di negara-negara berkembang dengan iklim tropis dan subtropis. Faktor-faktor seperti kebersihan pribadi yang kurang, kepadatan penduduk yang tinggi, dan standar sosial ekonomi yang rendah berkontribusi terhadap tingginya prevalensi penyakit ini [3]. Oleh karena itu perlu mengaplikasikan sediaan antijamur sekaligus menciptakan sensasi dingin pada kulit kepala.

Chitosan (CS) merupakan salah satu polisakarida yang paling menonjol yang digunakan dalam pembuatan hidrogel karena biokompatibilitasnya, biodegradabilitas, toksisitas rendah, aktivitas antijamur dan antioksidan, serta sifat mukoadhesif dan homeostatisnya namun, kitosan tidak larut dalam pH netral dan fisiologis, sehingga membatasi aplikasinya[1,2]. Untuk meningkatkan kelarutan dalam air, banyak turunan kitosan, seperti kitosan kuaterner dan kitosan karboksimetil [4].

Kerang bambu (*Solen courneus*) merupakan salah satu jenis *bivalvia* yang banyak ditemukan di wilayah perairan Indonesia, termasuk daerah Belawan, Kabupaten Deli Serdang. Selama ini, pemanfaatan kerang bambu oleh masyarakat umumnya hanya terbatas pada bagian dagingnya sebagai bahan pangan, sedangkan cangkangnya dibuang sebagai limbah. Limbah cangkang yang tidak dikelola dengan baik berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan, terutama di daerah pesisir yang padat penduduk. Cangkang kerang bambu mengandung kitin, yaitu polisakarida yang dapat diolah lebih lanjut menjadi kitosan melalui proses deasetilasi. Kitosan merupakan biopolimer alami yang bersifat biodegradabel, tidak toksik, dan memiliki berbagai aktivitas biologis, salah satunya sebagai antijamur [4].

Hidrogel adalah jaringan polimer hidrofilik tiga dimensi (3D) yang dapat menyerap sejumlah besar air dan cairan biologis dalam strukturnya. Hidrogel menciptakan lingkungan terhidrasi untuk perlekatan dan

pertumbuhan sel, sehingga sangat serbaguna dan cocok untuk rekayasa sel dan jaringan. Secara umum, hidrogel berasal dari polimer sintetis dan alami, yang dapat mempertahankan strukturnya melalui ikatan silang kimia dan atau fisik [4].

Hasil penelitian Maulani et al., menyatakan bahwa kitosan dapat diisolasi dari Solen vagina, spesies kerang dari famili *Solenidae*, dengan derajat deasetilasi (DD) sebesar $85,00 \pm 3,98\%$ [5]. Kitosan tersebut memiliki kualitas fisikokimia yang baik dan berpotensi digunakan sebagai bahan bioaktif, meskipun belum diuji aktivitas antijamurnya [3].

Penelitian Afifah dan Nurwaini (2018) menunjukkan bahwa hidrogel dengan bahan aktif tertentu dapat menghambat pertumbuhan *Trichophyton mentagrophytes*, dengan zona hambat mencapai $14 \pm 0,5$ mm [6]. Ini membuktikan bahwa sediaan hidrogel merupakan bentuk penghantaran topikal yang efektif untuk zat aktif antimikroba [4,5]. Selain itu, penelitian oleh Chasanah et al. juga membahas formulasi sediaan hidrogel menggunakan bahan aktif alami, dengan evaluasi parameter fisik seperti pH, viskositas, homogenitas, dan daya sebar [7]. Formulasi tersebut menunjukkan kestabilan dan kesesuaian sebagai sediaan topikal.

Berdasarkan uraian diatas maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang Aktivitas Antijamur Kitosan Dari Cangkang Kerang Bambu (*Solen corneus*) Pada Pembuatan Hidrogel Terhadap *Trichophyton mentagrophytes*.

Metode Penelitian

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan tahapan yang meliputi pengumpulan sampel, pengelolaan sampel, pembuatan pereaksi, sintesis kitosan, analisis gugus fungsi menggunakan spektrofotometer FTIR, karakterisasi kitosan, formulasi sediaan hidrogel, evaluasi sediaan hidrogel, serta pengujian aktivitas antijamur terhadap *Trichophyton mentagrophytes*. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah hidrogel kitosan, sedangkan variabel terikat terdiri dari mutu fisik hidrogel kitosan dan aktivitas antijamurnya terhadap *Trichophyton mentagrophytes*. Parameter yang diamati mencakup uji kadar air, kadar abu, rendemen, kelarutan, serta analisis gugus fungsi menggunakan FTIR. Evaluasi sediaan hidrogel meliputi uji organoleptis, homogenitas, pH, viskositas, daya sebar, dan daya lekat. Selain itu, dilakukan uji aktivitas antijamur dengan metode sumuran untuk mengukur efektivitas sediaan dalam menghambat pertumbuhan *Trichophyton mentagrophytes*.

Peralatan dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi blender (Philips), beaker glass (Pyrex), batang pengaduk (Pyrex), pipet tetes, tabung reaksi (Pyrex), cawan petri (Pyrex), erlenmeyer (Pyrex), kawat ose, corong (Pyrex), ayakan mesh 40, oven (Mettler), tanur (B-One), neraca analitik (Shimadzu), magnetic stirrer, hot plate (Thermo), pH meter elektroda, autoklaf, perkamen, dan laminar air flow (Biobase). Sedangkan untuk bahan penelitian terdiri atas cangkang kerang bambu yang diperoleh dari perairan Belawan, Kabupaten Deli Serdang. Bahan kimia yang digunakan meliputi NaOH p.a. 50%, HCl pekat 2N, NaOCl 4%, NaCl 0,9%, Karbopol 940, trietanolamin (TEA), gliserin, metil paraben, dan aquadest steril. Media pertumbuhan yang digunakan adalah Potato Dextrose Agar (PDA) dan Sabouraud Dextrose Agar (SDA) untuk uji mikrobiologi.

Pengumpulan dan Pengolahan Sampel

Pengambilan sampel kerang bambu (*Solen corneus*) dilakukan secara *purposive sampling* di perairan Belawan, Kecamatan Pancur Batu, Kabupaten Deli Serdang, Provinsi Sumatera Utara. Metode ini dipilih untuk memperoleh sampel yang representatif tanpa membandingkan dengan lokasi lain. Selanjutnya, preparasi cangkang kerang bambu dilakukan melalui proses pengeringan di bawah sinar matahari hingga mencapai kondisi kering sempurna. Cangkang yang telah kering kemudian dihaluskan menggunakan mesin penggiling bumbu dan diayak dengan ayakan 40 mesh untuk memperoleh serbuk homogen, sesuai dengan metode yang dikembangkan oleh Rizki & Rani (2023) [8].

Isolasi Kitin dari Serbuk Cangkang Kerang Bambu

Proses Deproteinasi

Cangkang kerang bambu yang dihaluskan direaksikan dengan menggunakan NaOH 4% dalam gelas beaker dengan perbandingan 1:10 (b/v), dipanaskan dengan suhu 100°C selama 1 jam sambil dilakukan

pengadukan dengan kecepatan 100 rpm menggunakan *magnetic stirrer* lalu didinginkan. Selanjutnya serbuk cangkang disaring menggunakan kertas saring dan dinetralkan dengan aquades sampai pH 7, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 4 jam. Residu yang diperoleh setelah dikeringkan kemudian didinginkan lalu ditimbang [9].

Proses Demineralisasi

Serbuk cangkang hasil deproteinasi direaksikan dengan HCl 2N dalam gelas beaker dengan perbandingan 1:5 (b/v) sambil dilakukan pengadukan dengan kecepatan 100 rpm menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam pada suhu 90°C. Selanjutnya serbuk cangkang disaring menggunakan kertas saring dan dinetralkan dengan aquades sampai pH 7. Hasil padatan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 4 jam. Residu yang diperoleh setelah dikeringkan kemudian ditimbang [9,10].

Proses Depigmentasi

Serbuk cangkang hasil demineralisasi direaksikan dengan NaOCl 4% dalam gelas beaker dengan perbandingan 1:10 (b/v) selama 1 jam sambil dilakukan pengadukan dengan kecepatan 100 rpm menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu ruang. Serbuk cangkang kemudian disaring menggunakan kertas saring dan dinetralkan dengan aquades sampai pH 7. Hasil padatan dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C selama 4 jam. Residu yang diperoleh setelah dikeringkan kemudian didinginkan lalu ditimbang [9,10].

Proses Deasetilasi Kitin Menjadi Kitosan

Serbuk cangkang hasil depigmentasi direaksikan dengan NaOH 50% dalam gelas beaker dengan perbandingan 1:20 (b/v) sambil dilakukan pengadukan dengan kecepatan 300 rpm menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam dengan suhu 100°C. Setelah suhu dingin, disaring dan dinetralkan dengan aquades sampai pH 7. Hasil padatan dikeringkan dengan oven pada suhu 100°C selama 80 menit hingga menjadi serbuk. Residu yang diperoleh setelah dikeringkan kemudian didinginkan lalu ditimbang [9,10].

Analisa Gugus Fungsi dengan Menggunakan FTIR

Analisis gugus fungsi senyawa kitosan menggunakan instrumen FTIR dengan teknik DRS (*Diffuse Reflectance Spectroscopy*). Serbuk yang sudah dikeringkan dicampurkan dengan KBr, jumlah sampel adalah 1% dari massa KBr, campuran diletakkan pada *sample holder*. Sampel dianalisis menggunakan instrumen FTIR. Berdasarkan data FTIR dapat ditentukan nilai derajat deasetilasi dengan menggunakan metode *base line* yang dirumuskan oleh Domszy dan Robert [11]. Persamaan yang dipakai adalah sebagai berikut :

$$\% DD = 1 - \left(\frac{A_{1648}}{A_{3359}} \times \frac{1}{1,33} \right)$$

Keterangan:

A1648 = Absorbansi pada panjang gelombang 1648 cm untuk serapan gugus -C=O
 A3359 = Absorbansi pada panjang gelombang 3359 cm⁻¹ untuk serapan gugus -NH
 1,33 = Konstanta untuk derajat deasetilasi yang sempurna.

Karakterisasi Kitosan Cangkang Kerang Bambu

Karakterisasi kitosan dari cangkang kerang bambu (*Solen corneus*) meliputi uji organoleptis, rendemen, kadar abu, kadar air, dan kelarutan. Uji organoleptis dilakukan dengan mengamati bentuk, warna, bau, dan rasa serbuk kitosan hasil proses demineralisasi, deproteinasi, depigmentasi, dan deasetilasi [8]. Rendemen dihitung berdasarkan persentase berat kitosan hasil sintesis terhadap berat awal bahan baku. [3,6]

Kadar abu ditentukan dengan metode pemanasan sampel pada suhu 600°C selama 1 jam, mengacu standar SNI 7949:2013 (≤5%) [12]. Kadar air diuji dengan pengeringan sampel pada suhu 105°C hingga bobot konstan (standar SNI ≤12%) [12]. Kelarutan kitosan dianalisis menggunakan pelarut asam asetat 2% dengan perbandingan 1:100 (b/v) [13].

Formulasi dan Pembuatan Hidrogel Kitosan Kerang Bambu

Formulasi sediaan hidrogel dalam penelitian ini mengacu pada metode yang dikembangkan oleh Chasanah et al. (2019) dengan modifikasi komposisi bahan aktif [7]. Formula dasar terdiri dari carbopol 1%, triethanolamine (2-5 tetes), *propylene glycol* 5%, glyserin 5%, *methylparaben* 0.1%, dan aquadest ad 100%. Pada formula modifikasi, ekstrak bawang dayak digantikan dengan kitosan kerang bambu dengan variasi konsentrasi 2%, 4%, dan 6%.

Proses pembuatan hidrogel diawali dengan pengembangan carbopol dalam aquadest panas selama 2 jam. Methylparaben yang telah dilarutkan dalam *propylene glycol* ditambahkan dan diaduk hingga homogen, diikuti dengan penambahan gliserin. Campuran kemudian dinetralkan dengan triethanolamine sebelum penambahan kitosan kerang bambu sebagai bahan aktif. Terakhir, sisa aquadest ditambahkan hingga mencapai volume akhir dan diaduk hingga homogen.

Evaluasi Sediaan Hidrogel Kitosan Kerang Bambu

Evaluasi stabilitas fisik sediaan hidrogel dilakukan melalui penyimpanan pada suhu kamar selama dua minggu dan uji sentrifugasi, dengan pemisahan fase sebagai indikator stabilitas [14]. Pengamatan organoleptis meliputi evaluasi bentuk, warna, dan aroma pada hari ke-0, 7, 14, dan 21 sesuai standar Depkes RI (1995). Homogenitas diuji dengan mengoleskan sediaan antara dua kaca objek dan memastikan tidak adanya partikel kasar atau gumpalan berdasarkan persyaratan SNI 06-2588. Viskositas diukur menggunakan viskometer Brookfield dengan spindle nomor 03 pada kecepatan 60 rpm, mengacu standar SNI 16-4380-1996 yang menetapkan kisaran viskositas 3.000-50.000 cps. Uji daya sebar dilakukan dengan memberikan beban 150 g selama 1 menit, dimana nilai ideal berkisar 5-7 cm sesuai SNI 06-2588. Daya lekat dievaluasi dengan memberikan beban 1 kg selama 5 menit diikuti beban 80 g, dengan persyaratan waktu lepas minimal 1 detik [15]. Pengukuran pH menggunakan pH meter terkalibrasi menunjukkan rentang nilai yang dapat diterima antara 4.5-6.5 berdasarkan SNI 06-2588, memastikan kompatibilitas sediaan dengan kulit. Seluruh pengujian dirancang untuk memverifikasi kualitas sediaan hidrogel sesuai standar farmasi Indonesia [6].

Uji Iritasi Hidrogel pada Sukarelawan

Sediaan hidrogel dioleskan pada kulit belakang telinga enam panelis sukarelawan selama 24 jam tanpa dibilas, kemudian diamati adanya eritema, edema, atau tanda iritasi lainnya. Jumlah panelis ini mengacu pada standar uji topikal skala laboratorium dan didukung oleh penelitian sebelumnya Qonita et al, yang dianggap memadai untuk evaluasi keamanan awal sediaan dengan tetap memperhatikan validitas data dan efisiensi sumber daya [16,17].

Identifikasi Jamur dan Preparasi Bahan Uji Antijamur

Identifikasi jamur dilakukan melalui pengamatan makroskopis (warna koloni, pola radial, dan lingkaran konsentris) serta mikroskopis (struktur hifa dan reproduksi) menggunakan pewarnaan lactophenol cotton blue dengan perbesaran 400x [18]. Sebelum pengujian, dilakukan preparasi larutan pereaksi meliputi: NaOH 4% dan 50%, HCl 2N, NaOCl 4%, dan NaCl 0,9% sesuai standar Depkes RI (1995), serta media PDA (pH 4,5-5,5) dan SDA (pH 5,4-5,8) yang disterilisasi pada 121°C selama 15 menit [19,20]. Jamur diremajakan pada media SDA dengan metode gores dan diinkubasi 28°C selama 48 jam [21]. Suspensi jamur disiapkan dengan menyesuaikan kekeruhan larutan McFarland 0,5 ($1,5 \times 10^8$ CFU/mL) menggunakan NaCl 0,9% [22,23].

Uji Aktivitas Antijamur Hidrogel Kitosan Kerang Bambu terhadap *Trichophyton mentagrophytes*

Aktivitas antijamur diuji menggunakan metode difusi sumur agar terhadap *Trichophyton mentagrophytes* (diperoleh dari Universitas Sumatera Utara). Pengujian dilakukan dalam tiga replika dengan kontrol negatif (basis gel) dan kontrol positif (ketokonazol 2%) [6]. Suspensi jamur diinokulasikan pada media PDA, kemudian dibuat sumuran berdiameter 6 mm menggunakan *cork borer* steril. Masing-masing sumuran diisi 50 mg sediaan hidrogel (konsentrasi 2%, 4%, 6%), diinkubasi pada 28°C selama 24-48 jam, dan zona hambat diukur setelah inkubasi [24].

Hasil Dan Pembahasan

Limbah cangkang kerang bambu yang diambil di daerah perairan Belawan, Kabupaten Deli Serdang, terlebih dahulu dimulai dengan penyiapan sampel. Cangkang kerang bambu di peroleh sebanyak 2 kg di keringkan dibawah sinar matahari kurang lebih selama 2 minggu sampai sampel kering dan tidak terdapat kandungan air yang ada pada limbah cangkang kerang bambu sehingga serbuk cangkang kerang yang dihasilkan tidak lembab, tidak rusak dan tahan lama sebelum proses dimulai. Cangkang bambu dihaluskan dengan menggunakan penggiling bumbu dapur sampai terbentuk serbuk yang kasar, selanjutnya dilakukan pengayakan dengan menggunakan ayakan 40 mesh dan mendapatkan serbuk yang halus. Setelah proses persiapan sampel selesai, di dapatkan sebanyak 1,18 kg serbuk cangkang kerang bambu dari 2 kg cangkang

kerang yang dikumpulkan. Kemudian serbuk cangkang kerang dimasukkan kedalam wadah tertutup dan disimpan di suhu ruangan.

Hasil Proses Deproteinasi

Proses deproteinasi dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan kandungan protein yang terdapat dalam serbuk cangkang kerang bambu. Tahapan ini penting karena protein yang masih menempel secara kovalen pada gugus fungsi kitin dapat mengganggu proses selanjutnya, seperti deasetilasi dan pembuatan kitosan. Pada tahap ini digunakan larutan NaOH 4% sebagai pelarut basa yang mampu memutus ikatan peptida dalam protein. Konsentrasi ini dinilai cukup efektif untuk melarutkan protein tanpa merusak struktur dasar kitin [25,26].

Proses deproteinasi dipercepat dengan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* yang berfungsi untuk menciptakan pencampuran yang merata antara larutan NaOH dan serbuk kerang bambu, serta menjaga suhu larutan tetap stabil selama proses pemanasan. Pemanasan dilakukan pada suhu 100°C selama 1 jam untuk mempercepat reaksi hidrolisis antara NaOH dan protein, sehingga protein dapat terurai dan terlepas dari kitin. Setelah proses pemanasan, dilakukan penyaringan dan pembilasan residu menggunakan aquadest sebanyak 1,7 L. Pembilasan ini bertujuan untuk menghilangkan sisa larutan NaOH yang bersifat basa dan menetralkan pH dari residu yang dihasilkan. Tahap pembilasan juga membantu membersihkan sisa protein yang mungkin masih menempel [25–27]. Setelah itu residu yang diperoleh dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 4 jam untuk menghilangkan kandungan air dan mendapatkan serbuk kitin yang kering. Pengeringan pada suhu ini dilakukan untuk menjaga struktur dan kualitas kitin tetap baik. Secara keseluruhan, tahap deproteinasi merupakan langkah awal yang sangat penting dalam proses pemurnian kitin dari cangkang kerang bambu agar diperoleh hasil dengan rendemen tinggi dan kemurnian optimal. Hasil dari deproteinasi menunjukkan penurunan bobot sampel dan di dapatkan hasil akhir yaitu 97,750 g dan diperoleh randemen sebesar 97,75%.

Hasil Proses Demineralisasi

Proses demineralisasi bertujuan untuk menghilangkan kandungan mineral anorganik, terutama kalsium karbonat (CaCO_3), yang terdapat pada serbuk cangkang kerang bambu. Tahap ini penting dalam isolasi kitin karena keberadaan mineral dapat mempengaruhi kemurnian serta kadar abu pada produk akhir [28]. Dalam tahap ini, larutan HCl 2N digunakan sebagai pelarut asam yang efektif dalam melarutkan mineral. Asam klorida bereaksi dengan kalsium karbonat menghasilkan garam terlarut dan gas karbon dioksida (CO_2), yang ditandai dengan munculnya gelembung [29]. Oleh karena itu, larutan HCl perlu ditambahkan secara perlahan untuk menghindari luapan akibat reaksi eksotermis dan pelepasan gas. Proses ini dilengkapi dengan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* untuk meratakan pencampuran antara sampel dengan larutan HCl serta mempercepat reaksi antara mineral dan asam.

Pemanasan pada suhu tertentu dilakukan untuk mempercepat reaksi demineralisasi, sehingga mineral dapat larut lebih efisien dalam waktu yang lebih singkat. Setelah proses reaksi selesai, dilakukan pembilasan menggunakan aquadest untuk menghilangkan sisa-sisa HCl dan produk samping yang masih tersisa dalam sampel. Pembilasan juga berfungsi untuk menetralkan pH sampel agar tidak asam sebelum masuk ke proses berikutnya. Residu hasil demineralisasi kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama beberapa jam untuk menghilangkan kadar air dan menghasilkan kitin dengan kelembaban rendah serta stabil secara fisik [30].

Berdasarkan hasil penelitian, dari berat awal 100 g, proses deproteinasi menghasilkan sampel seberat 97,95 g, sehingga terjadi penurunan berat sebesar 2,05%. Selanjutnya, tahap depigmentasi menurunkan berat sampel menjadi 95,68 g, setara dengan penurunan sekitar 2,30% dari tahap sebelumnya. Proses demineralisasi memberikan penurunan paling signifikan, dengan sisa sampel 50,95 g, atau berkurang sekitar 46,74% dari hasil depigmentasi. Secara keseluruhan, berat sampel menurun 49,05% dari berat awal. Penurunan ini menunjukkan bahwa sebagian besar mineral telah berhasil dihilangkan, yang sangat mempengaruhi kualitas kitin terutama dalam menurunkan kadar abu. Semakin rendah kadar abu yang diperoleh, maka semakin tinggi kemurnian dan kualitas kitin yang dihasilkan.

Hasil Proses Depigmentasi

Tahap selanjutnya adalah depigmentasi, yang melibatkan rendaman sampel dalam NaOCl 4% selama 1 jam dan dilakukan penyaringan residu dengan mengalirkan aquadest sebanyak 1,2 L untuk menetralkan residu yang dihasilkan. Sampel kemudian dikeringkan selama 4 jam pada suhu ruang. Proses depigmentasi

merupakan tahap penting dalam pemurnian bahan baku, terutama dalam pengolahan biomaterial seperti kitosan, guna menghilangkan pigmen dan senyawa organik yang tidak diinginkan. Penggunaan larutan NaOCl 4% bertujuan untuk mengoksidasi dan melarutkan pigmen warna yang tersisa sehingga diperoleh bahan dengan warna yang lebih cerah dan kualitas yang lebih baik. Larutan NaOCl dipilih karena efektivitasnya dalam reaksi oksidasi yang dapat menghancurkan struktur pigmen kompleks tanpa merusak matriks bahan utama [31–35].

Pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama proses depigmentasi bertujuan untuk memastikan distribusi larutan yang merata dan meningkatkan kontak antara larutan NaOCl dengan pigmen pada sampel sehingga proses oksidasi berjalan optimal [32,36,37]. Pemanasan pada suhu tertentu membantu mempercepat reaksi kimia dan meningkatkan efisiensi penghilangan pigmen. Selanjutnya, pembilasan menggunakan aquadest sebanyak 1,2 L berfungsi untuk menghilangkan sisa-sisa NaOCl dan produk oksidasi yang dapat mengganggu proses selanjutnya atau menurunkan kualitas produk akhir [28,31,32,34–38]. Terakhir, pengeringan pada suhu ruang selama 4 jam dilakukan untuk menghilangkan kelembapan tanpa merusak struktur biomaterial, sehingga sampel siap untuk tahap pengolahan berikutnya.

Hasil proses depigmentasi menunjukkan bahwa berat sampel menurun menjadi 95,68 g, setara dengan penurunan sekitar 2,30% dibandingkan tahap sebelumnya, yaitu deproteinasi yang menghasilkan sampel seberat 97,95 g. Tahap depigmentasi memiliki peranan penting dalam memperoleh kitosan dengan warna lebih cerah dan tingkat kemurnian tinggi, yang selanjutnya memengaruhi sifat fisik dan kimia produk akhir [31–35,37].

Hasil Proses Deasetilasi Kitin Menjadi Kitosan

Langkah terakhir adalah deasetilasi kitin untuk menghasilkan kitosan. Langkah deasetilasi dilakukan dengan cara memasukkan kitin ke larutan NaOH p.a 50% dengan perbandingan 1:20 (b/v) selama 1 jam pada suhu 100°C, diikuti dengan pengeringan pada suhu 100°C selama 80 menit di dalam oven. Kondisi ini dipilih karena struktur sel-sel kitin yang tebal dan kuatnya ikatan hidrogen intramolekuler antara atom hidrogen pada gugus amin dan atom oksigen pada gugus karbonil. Proses deasetilasi bertujuan untuk memutus ikatan antara karbon pada gugus asetil dengan atom nitrogen pada kitin sehingga berubah menjadi gugus amina (NH_2), yang merupakan ciri khas kitosan dengan aktivitas biokompatibel dan biodegradabel [31,33–38].

Penggunaan larutan NaOH 50% dianggap lebih ekonomis dan ramah lingkungan dibandingkan konsentrasi yang lebih tinggi, karena memberikan keseimbangan optimal antara efisiensi deasetilasi dan pengurangan limbah kimia berbahaya [36,38,39]. Pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama proses deasetilasi bertujuan untuk meningkatkan kontak larutan alkali dengan permukaan kitin sehingga reaksi deasetilasi berlangsung lebih merata dan efektif [39]. Pemanasan pada suhu 100°C mempercepat reaksi kimia pemutusan ikatan asetil, mengingat ikatan hidrogen yang kuat dalam kitin membutuhkan energi panas untuk terurai [31,33–38]. Setelah proses reaksi, pembilasan dengan aquadest dilakukan untuk menghilangkan sisa NaOH dan produk samping yang dapat mempengaruhi kualitas dan keamanan kitosan. Terakhir, pengeringan pada suhu 100°C selama 80 menit bertujuan untuk menghilangkan kelembapan tanpa merusak struktur kitosan sehingga siap untuk aplikasi lebih lanjut.

Berdasarkan hasil penelitian kerang bambu yang telah dilakukan, dari proses deasetilasi kitin menjadi kitosan diperoleh berat sampel sebesar 50,35 g dari berat sampel setelah proses depigmentasi sebesar 95,68 g. Hasil deasetilasi menunjukkan penurunan bobot pada sampel sebesar 96,82% dari berat sampel setelah proses depigmentasi. Tahap deasetilasi ini sangat krusial untuk memperoleh kitosan dengan derajat deasetilasi tinggi yang berpengaruh pada sifat fisik, kimia, dan fungsional produk akhir [31,33–38].

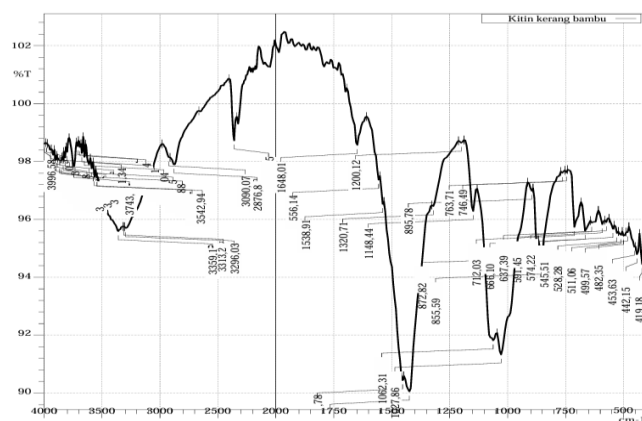
Hasil Pengujian Kemurnian Kitosan Baku dan Hasil Isolasi Kitosan Kerang Bambu Menggunakan FT-IR Kitin Cangkang Kerang Bambu

Hasil pengujian kitin cangkang kerang bambu dilakukan menggunakan spektroskopi FT-IR. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi utama serta memverifikasi keberhasilan proses isolasi dan deasetilasi kitin menjadi kitosan. Hasil spektrum kitin cangkang kerang bambu dapat dilihat pada gambar 1.

Berdasarkan **Gambar 1** hasil isolasi kitin cangkang kerang bambu menunjukkan adanya gugus-gugus fungsi utama yang merupakan karakteristik struktur kimia kitin. Untuk melihat kesesuaian struktur, spektrum ini dibandingkan dengan hasil karakterisasi kitin yang telah dipublikasikan dalam jurnal ilmiah yang berasal dari sumber biologis yang berbeda, yaitu kitin dari spesies udang *Parapenaeus longirostris*.

Pita serapan pada bilangan gelombang $3320,09\text{ cm}^{-1}$ pada kitin kerang bambu dan sekitar 3400 cm^{-1} pada referensi menunjukkan vibrasi ulur gugus O-H dan N-H yang menandakan adanya ikatan hidrogen.

Pita-pita lainnya seperti vibrasi C=O (amida I dan II), C-N, dan C-O-C juga tampak pada kedua spektrum. Meskipun terdapat pergeseran kecil pada bilangan gelombang, kesamaan pola serapan menunjukkan bahwa struktur kitin yang diisolasi dari cangkang kerang bambu sesuai dengan karakteristik umum kitin.



Gambar 1. Hasil Spektrum Kitin Cangkang Kerang Bambu

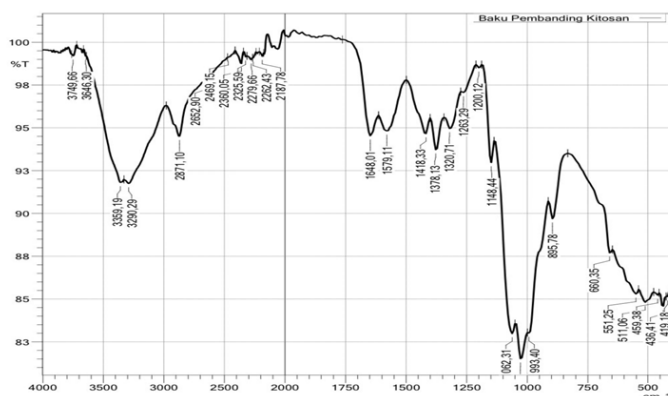
Tabel 1. Perbandingan Bilangan Gelombang Spektrum FTIR Kitin

Gugus Fungsi	Kitin Kerang Bambu (cm ⁻¹)	Kitin Referensi (cm ⁻¹)
Vibrasi ulur O-H & N-H	3296,03	3250-3440
Vibrasi ulur C-H aromatik	3090,07	3000-3100
Vibrasi ulur C-H alifatik	2876,85	2870-2960
Vibrasi ulur C=O (Amida I)	1648,01	1630-1650
Vibrasi tekuk N-H (Amida II)	1556,14	1550-1558
Vibrasi ulur C-N (Amida III)	1320,71	1310-1320
Vibrasi ulur C-O	1027,86	1020-1250
Vibrasi ulur β-1,4-glikosidik	895,78	890-950

Berdasarkan data pada **Tabel 1** dapat disimpulkan bahwa kitin hasil isolasi dari cangkang kerang bambu memiliki kemiripan struktur dengan kitin hasil ekstraksi dari spesies lain. Hal ini mendukung bahwa proses ekstraksi telah berhasil menghasilkan kitin dengan struktur yang sesuai [40].

Kitosan Baku

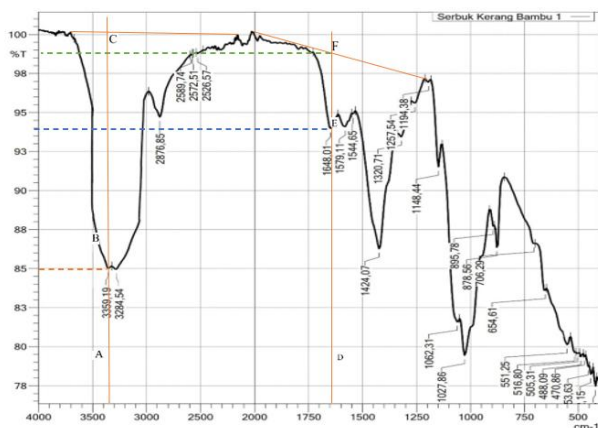
Hasil pengujian kitosan baku dengan kitosan cangkang kerang bambu dilakukan menggunakan spektroskopi FT-IR. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi utama kitosan baku dan kitosan kerang bambu. Hasil spektrum kitosan baku dan kitosan cangkang kerang bambu dapat dilihat pada gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Hasil Spektrum Kitosan Baku

Hasil Analisa Derajat Deasetilasi FTIR Kitosan Cangkang Kerang Bambu

Hasil analisa derajat deasetilasi FTIR kitosan cangkang kerang bambu dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Hasil Spektrum Kitosan Cangkang Kerang Bambu

Berdasarkan **Gambar 4** Spektrum FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) yang ditampilkan dilengkapi dengan garis-garis bantu seperti A, B, C, D, dan F yang berfungsi untuk menandai dalam spektrum tersebut, baik secara vertikal maupun horizontal. Garis A merupakan garis vertikal yang biasanya ditempatkan sekitar 3400 cm^{-1} untuk menandai puncak serapan yang menunjukkan vibrasi O–H stretching, yang berasal dari ikatan hidrogen pada alkohol atau molekul air. Untuk menentukan posisi garis ini, cari puncak tajam atau lebar dalam rentang $3200\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ dan tarik garis vertikal tepat pada puncak tersebut. Garis B adalah garis horizontal yang diletakkan sekitar 85% transmitansi untuk menandai posisi minimum transmitansi pada puncak di sekitar 3400 cm^{-1} ; garis ini diambil dari titik terendah puncak dan ditarik ke arah sumbu Y sebagai acuan visual. Sedangkan garis C berfungsi sebagai baseline atau acuan nilai transmitansi maksimum sekitar 99–100%, sehingga ditarik secara horizontal pada bagian spektrum yang datar, biasanya di sisi kiri spektrum pada frekuensi di atas 3700 cm^{-1} . Garis D merupakan garis vertikal yang menandai awal fingerprint region, yaitu daerah sidik jari spektrum yang berada di rentang $1500\text{--}500\text{ cm}^{-1}$, sehingga garis ini biasanya ditempatkan pada posisi 1500 cm^{-1} sebagai batas kiri area tersebut. Sementara itu, garis F adalah garis miring yang menghubungkan beberapa puncak penting dalam satu rentang frekuensi diantara $1700\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$, yang berfungsi untuk menyoroti pola serapan atau “envelope” dari spektrum tersebut.

Perbedaan Spektrum FTIR Kitin dan Kitosan

Spektrum FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada senyawa kitin dan kitosan. Proses deasetilasi pada kitin menjadi kitosan menyebabkan perubahan pada struktur kimia tertentu, terutama pada gugus amida dan amina. Tabel berikut menunjukkan perbandingan bilangan gelombang dari beberapa gugus fungsi utama yang terdeteksi pada spektrum FTIR kitin dan kitosan, baik standar maupun yang berasal dari cangkang kerang bambu.

Berdasarkan hasil perbandingan spektrum, dapat disimpulkan bahwa proses deasetilasi menyebabkan pergeseran pada pita-pita tertentu yang berkaitan dengan gugus amida, namun tidak mengubah struktur dasar rantai polisakarida. Perbedaan utama antara kitin dan kitosan tercermin pada spektrum FTIR, khususnya pada pita serapan gugus amida dan amina. Kitin menunjukkan tiga pita khas dari gugus amida, yaitu Amida I, II, dan III. Namun, pada kitosan, pita Amida II dan III menghilang dan digantikan oleh pita khas gugus amina (NH_2 dan C–N), yang menandakan keberhasilan proses deasetilasi dalam mengkonversi kitin menjadi kitosan.

Hilangnya pita serapan 1556 cm^{-1} (Amida II) pada kitosan isolasi menunjukkan keberhasilan deasetilasi, karena gugus asetil ($-\text{NHCOCH}_3$) telah terkonversi menjadi gugus amina ($-\text{NH}_2$). Selain itu, intensitas pita 1648 cm^{-1} (Amida I) pada kitosan menurun dibandingkan dengan kitin, menunjukkan berkurangnya jumlah gugus asetil setelah proses deasetilasi.

Tabel 3. Perbedaan Bilangan Gelombang FTIR Kitin dan Kitosan

Gugus Fungsi	Kitin (cm ⁻¹)	Kitosan (cm ⁻¹)	Keterangan
O-H & N-H stretching	3296,03	3359,19	Tumpang tindih O-H dan N-H, menunjukkan gugus hidroksil dan amina
C=O stretching (Amida I)	1648,01	1648,01	Masih muncul pada kitosan, tapi cenderung lebih lemah
N-H bending (Amida II)	1556,14	Tidak tampak	Menghilang pada kitosan, menandakan deasetilasi
C-N & N-H (Amida III)	1320,71	Tidak tampak	Tidak muncul pada kitosan, mendukung hilangnya gugus amida
NH ₂ bending (Protonated amine)	-	1579,11	Muncul khas pada kitosan setelah deasetilasi
C-N stretching (gugus amina)	-	1263,29	Khas pada kitosan, menggantikan puncak Amida III
C-O stretching	1027,86	1062,31	Peregangan gugus C-O (umum pada polisakarida)
β-1,4-glikosidic vibration	895,78	895,78	Struktur dasar glikosidik tetap ada di kitin dan kitosan

Hasil Karakterisasi Kitosan dari Cangkang Bambu**Parameter Kitosan Cangkang Bambu**

Hasil pemeriksaan karakterisasi kitosan cangkang kerang bambu (*Solen courneus*) meliputi pemeriksaan kadar air, kadar abu, kelarutan, dan derajat deasetilasi. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada **Tabel 4** berikut :

Tabel 4. Parameter Kitosan

Parameter	Kitosan SNI (No. 7949, Tahun 2013)	Kitosan Yang Diperoleh
Kadar Air	≤ 12%	1,46 %
Kadar Abu	≤ 5%	0,33 %
Kelarutan Dengan Asam Asetat Glasiat 2%	Larut	Larut
Tekstur	Serbuk	Serbuk
Warna	Putih	Putih Kecoklatan
Bau	Tidak Berbau	Tidak Berbau
Derajat Deasetilasi	≥ 75%	77,5%

Data hasil penelitian yang ditunjukkan pada tabel di atas terlihat bahwa kitosan yang diperoleh memenuhi nilai standar dan dapat digunakan untuk berbagai aplikasi. Kitosan yang dihasilkan memiliki kadar air yang rendah. Kadar air dalam kitosan dipengaruhi oleh keberhasilan proses pengeringan, waktu pengeringan, jumlah kitosan yang dikeringkan, dan permukaan tempat kitosan dikeringkan. Kadar abu yang dihasilkan sebesar 0,33%, menunjukkan bahwa kitosan yang dihasilkan memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh Protan Biopolymer untuk kadar abu kitosan yaitu kurang dari ≤ 5%.

Tabel 4. Kelarutan Kitosan

Pelarut	Derajat kelarutan
Aquadest	Tidak larut
Aquadest dipanaskan	Tidak larut
Alkohol	Tidak larut
Asam asetat glasiat 2%	Larut

Kelarutan kitosan dalam asam asetat merupakan salah satu parameter yang dapat dijadikan sebagai standar penilaian mutu kitosan. Semakin tinggi kelarutan kitosan dalam asam asetat glasiat 2% berarti mutu

kitosan yang dihasilkan semakin baik. Kitosan yang dihasilkan memiliki kelarutan yang sempurna dalam asam asetat glasiat 2%. Kitosan merupakan senyawa yang tidak larut dalam air, sedikit larut dalam HCl, HNO₃, dan H₃PO₄ serta tidak larut dalam H₂SO₄. Kitosan lebih larut dalam asam-asam encer seperti asam asetat glasiat, asam format, asam sitrat. Kitosan juga tidak larut dalam beberapa pelarut organik seperti alkohol, aseton, dimetil formamida dan dimetil sulfoksida, tetapi kitosan larut baik dalam asam format berkonsentrasi 0,2–100% dalam pelarut air [41].

Randemen

Tabel 6. Rendemen kitosan

Berat serbuk cangkang bambu awal (g)	100
Berat sampel setelah deproteinasi (g)	97,95
Berat sampel setelah demineralisasi (g)	52,12
Berat sampel setelah dipigmentasi/kitin(g)	95,68
Kitosan yang didapatkan (g)	50,35
Rendemen Kitosan (%)	52,62

Pada penelitian ini tahap isolasi kitin dimulai dengan tahap deproteinasi, demineralisasi dan dilanjutkan dengan tahap depigmentasi yang berlangsung selama 1 jam pada suhu 100°C, hal ini berpengaruh terhadap % Randemen kitin yang dihasilkan selain dari faktor suhu pemanasan dan lama pengadukan yang dilakukan. Selain itu, faktor berpengaruh terhadap rendemen kitin adalah urutan tahapan isolasi kitin, pada penelitian ini urutan isolasi kitin dimulai dari deproteinasi- demineralisasi-depigmentasi dan terakhir deasetilasi. Urutan tahapan ini mempengaruhi efektivitas penghilangan komponen-komponen yang tidak diinginkan dalam sampel, seperti protein, mineral, dan pigmen. Setiap tahapan memiliki peran yang penting dalam memastikan bahwa kitin yang dihasilkan memiliki kualitas dan jumlah yang optimal. Misalnya, proses deproteinasi berfungsi untuk menghilangkan protein yang terikat pada kitin, demineralisasi untuk menghilangkan mineral, dan depigmentasi untuk mengurangi kandungan pigmen yang dapat mempengaruhi sifat dan kemurnian kitin yang dihasilkan. Tahap selanjutnya yaitu deasetilasi untuk mendapat kitosan.

Pada tahap ini dilakukan dengan merendam kitin menggunakan NaOH p.a 50% dengan perbandingan 1:20 (b/v) kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam pada suhu 100°C. Proses deasetilasi dalam basa kuat panas dilakukan untuk menghilangkan gugus asetil pada kitin melalui pemutusan ikatan antara karbon pada gugus asetil dengan nitrogen pada gugus amin. Reaksi pembentukan kitosan dari kitin merupakan reaksi hidrolisa suatu amida oleh suatu basa. Kitin bertindak sebagai amida dan NaOH sebagai basanya. Mula-mula terjadi reaksi adisi, dimana gugus–OH masuk ke dalam gugus NHCOCH₃ kemudian terjadi eliminasi gugus CH₃COO sehingga dihasilkan suatu amina yaitu kitosan [27]. Dari penelitian ini %Rendemen kitosan yang diperoleh sebanyak 52,62 %.

Hasil Evaluasi Sediaan Hidrogel Chitosan Kerang Bambu

Bahan aktif yang digunakan dalam hidrogel ini adalah kitosan, dengan bahan tambahannya terdiri dari carbopol 940, gliserin, propilen glikol, metil paraben, tri ethanolamin (TEA) dan aquadest. Pada pembuatan hidrogel ini dibuat sebanyak 4 formula, formula pertama dibuat tanpa penambahan kitosan, formula kedua dibuat dengan penambahan kitosan dengan konsentrasi 2 %, formula ketiga dibuat dengan penambahan kitosan dengan konsentrasi 4 %, dan formula keempat dibuat dengan penambahan kitosan dengan konsentrasi 6 %. Setelah terbentuk hidrogel dilakukan evaluasi fisik dengan parameter-parameter pengujian meliputi pengamatan organoleptis, homogenitas, pengukuran pH, uji viskositas, uji stabilitas fisik hidrogel dilakukan penyimpanan pada suhu kamar pengamatan dilakukan pada hari minggu ke-0 sampai minggu ke-3.

Hasil Pengujian Organoleptis Fisik Sediaan Hidrogel

Hasil pemeriksaan organoleptis hidrogel dapat dilihat pada tabel 7. Berdasarkan **Tabel 7.** di atas menunjukkan bahwa masing-masing formula yang telah diamati selama 3 minggu (21 hari) memberikan hasil yang baik yaitu tidak mengalami perubahan warna, bau, dan bentuk serta tidak mengalami pemisahan sediaan. Hal ini menunjukkan bahwa sediaan hidrogel kitosan stabil dalam penyimpanan.

Tabel 7. Hasil pemeriksaan organoleptis hidrogel

Formulasi	Pengamatan	(Hari)			
		0	7	14	21
FO	Warna	Jernih transparan	Agak keruh transparan	Keruh transparan	Keruh transparan
	Bau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau
	Bentuk	Sangat kental	Sangat kental	Sangat kental	Sangat kental
F1	Warna	Agak keruh transparan	Agak keruh transparan	Agak keruh transparan	Agak keruh transparan
	Bau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau
	Bentuk	Kental	Kental	Kental	Kental
F2	Warna	Agak keruh transparan	Agak keruh transparan	Agak keruh transparan	Agak keruh transparan
	Bau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau
	Bentuk	Kental	Kental	Kental	Kental
F3	Warna	Agak keruh transparan	Agak keruh transparan	Agak keruh transparan	Agak keruh transparan
	Bau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau
	Bentuk	kental	kental	kental	kental

Keterangan:

Formula 0 : Kontrol negatif (Basis hidrogel tanpa kitosan)

Formula 1 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 2 %

Formula 2 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 4 %

Formula 3 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 6 %

Hasil Pengujian Homogenitas Sediaan Hidrogel

Hasil pengujian homogenitas hidrogel dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 8. Hasil pemeriksaan homogenitas hidrogel

Formulasi	Uji			Keterangan
	Minggu-1	Minggu-2	Minggu-3	
F0	Homogen	Homogen	Homogen	Tidak berubah
F1	Homogen	Homogen	Homogen	Tidak berubah
F2	Homogen	Homogen	Homogen	Tidak berubah
F3	Homogen	Homogen	Homogen	Tidak berubah

Keterangan:

Formula 0 : Kontrol negatif (Basis hidrogel tanpa kitosan)

Formula 1 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 2 %

Formula 2 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 4 %

Formula 3 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 6 %

Berdasarkan hasil pengujian homogenitas yang tercantum pada **Tabel 8**, seluruh formulasi hidrogel dengan berbagai konsentrasi kitosan bambu (2, 4, dan 6%) serta Kontrol negatif (Basis hidrogel tanpa kitosan) menunjukkan karakteristik yang homogen dan stabil selama periode pengamatan tiga minggu. Tidak terdapat perubahan visual pada tekstur atau konsistensi hidrogel, yang menandakan bahwa sediaan tetap merata dan tidak mengalami pemisahan fase. Hal ini juga didukung oleh hasil uji sentrifugasi, di mana tidak ditemukan pemisahan atau pengendapan partikel setelah dilakukan putaran sentrifugal, yang mengonfirmasi kestabilan dan homogenitas sediaan. Dengan demikian, formulasi hidrogel yang diuji telah memenuhi kriteria homogen dan stabil pada seluruh konsentrasi yang digunakan

Hasil Pengujian pH Sediaan Hidrogel

Hasil pengujian pH sediaan hidrogel dapat dilihat pada tabel 9. Berdasarkan **Tabel 9** hasil pengukuran pH yang diperoleh selama 3 minggu (21 hari), menunjukkan hasil pH sediaan hidrogel F0 (Kontrol negatif (Basis hidrogel tanpa kitosan)), F1 (2 %), F2 (4 %), dan F3 (6 %) berkisar antara 5,2-5,5. pH sediaan yang dihasilkan masih memenuhi batas pH fisiologis kulit, Hidrogel yang baik harus memiliki pH yang sesuai dengan pH kulit yaitu 4-6,5 [7]. Secara umum, terdapat penurunan pH pada semua formulasi hidrogel seiring

berjalannya waktu, yang kemungkinan disebabkan oleh degradasi bahan, reaksi internal, atau pelepasan senyawa asam selama penyimpanan [42]. Namun, jika dilihat berdasarkan formulasi, nilai pH tidak menunjukkan pola perubahan yang konsisten atau linier, melainkan fluktuatif (naik-turun). Hal ini dapat disebabkan oleh interaksi antara bahan aktif atau aditif dengan matriks hidrogel, serta kompleksitas sistem formulasi di mana peningkatan konsentrasi tidak selalu diikuti oleh perubahan pH yang sebanding [43,44]. Meskipun demikian, seluruh sediaan tetap berada dalam kisaran aman dan sesuai untuk aplikasi topikal.

Tabel 9. Hasil pemeriksaan pH hidrogel

Formulasi	Hasil rata-rata 3 kali pengukuran pH (Hari)			
	0	7	14	21
F0	5,39	5,38	5,36	5,32
F1	5,52	5,46	5,43	5,29
F2	5,34	5,33	5,32	5,22
F3	5,46	5,44	5,43	5,41

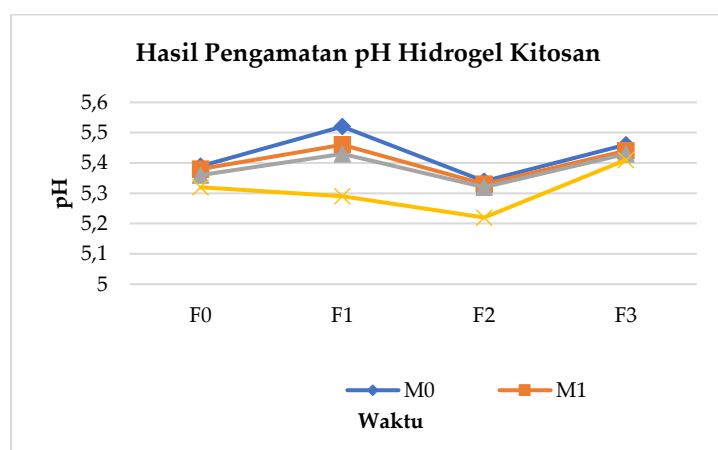
Keterangan:

Formula 0 : Kontrol negatif (Basis hidrogel tanpa kitosan)

Formula 1 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 2 %

Formula 2 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 4 %

Formula 3 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 6 %



Gambar 5. Grafik hubungan antara waktu dan pH sediaan

Hasil Pengujian Daya Lekat Sediaan Hidrogel

Hasil pengujian daya lekat sediaan hidrogel dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 10. Hasil Pemeriksaan daya lekat hidrogel

Formulasi	Hasil rata-rata 3 kali pengukuran daya lekat (Hari)			
	0	7	14	21
F0	1,66	1,58	1,47	1,47
F1	1,54	1,48	1,43	1,25
F2	1,50	1,45	1,32	1,21
F3	1,36	1,16	1,15	1,11

Keterangan:

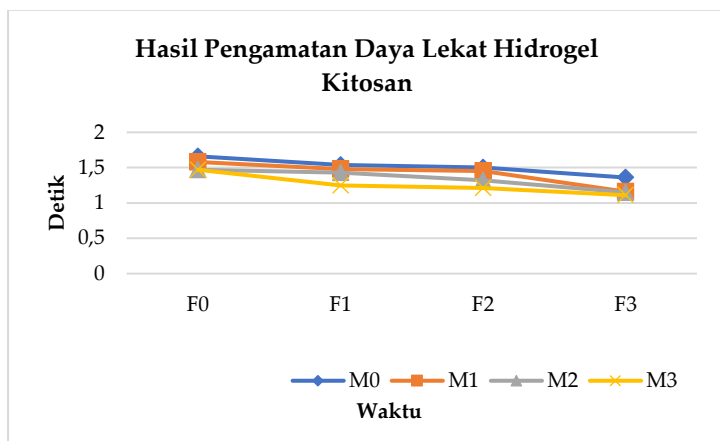
Formula 0 : Kontrol negatif (Basis hidrogel tanpa kitosan)

Formula 1 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 2 %

Formula 2 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 4 %

Formula 3 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 6 %

Berdasarkan **Tabel 10** diatas hasil pengujian daya lekat sediaan hidrogel diperoleh rata-rata daya sebar formula 0 yaitu 1,54 detik, formula 1 yaitu 1,42 detik, formula 2 yaitu 1,37 detik , dan formula 3 yaitu 1,19 detik. Uji daya lekat dilakukan untuk mengetahui kemampuan hidrogel untuk melekat pada permukaan kulit saat dioleskan pada kulit. Daya lekat yang baik yaitu lebih dari 1 detik [15]. Dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa sediaan memenuhi syarat daya lekat.



Gambar 6. Grafik hubungan antara waktu dan daya lekat sediaan

Hasil Pengujian Daya Sebar Sediaan Hidrogel

Hasil pengujian daya sebar sediaan hidrogel dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 11.Hasil Pemeriksaan daya sebar hidrogel

Formulasi	Hasil rata-rata 3 kali pengukuran daya sebar (Hari)			
	0	7	14	21
F0	5,1	5,2	5,2	5,2
F1	5,3	5,4	5,4	5,4
F2	5,5	5,7	5,7	5,7
F3	5,7	5,9	5,9	5,9

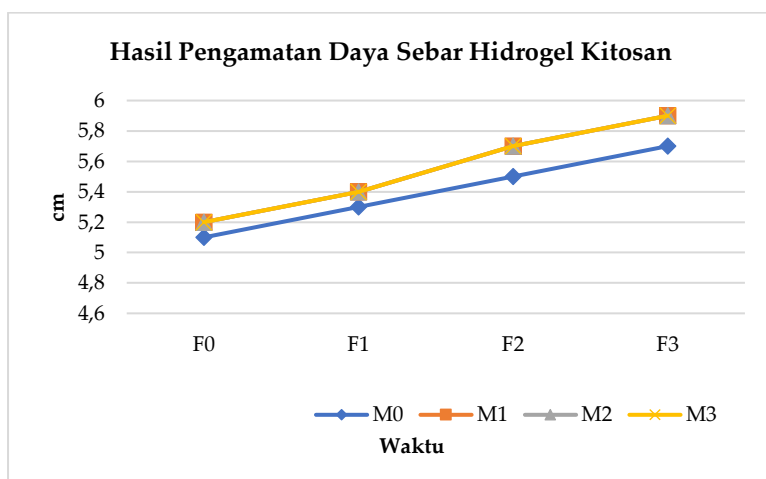
Keterangan:

Formula 0 : Kontrol negatif (Basis hidrogel tanpa kitosan)

Formula 1 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 2 %

Formula 2 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 4 %

Formula 3 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 6 %



Gambar 7. Grafik hubungan antara waktu dan daya sebar sediaan

Berdasarkan **Tabel 11** diatas hasil pengujian daya sebar sediaan hidrogel diperoleh rata-rata daya sebar formula 0 yaitu 5,1 cm, formula 1 yaitu 5,3 cm, formula 2 yaitu 5,6 cm, dan formula 3 yaitu 5,8 cm. Uji daya sebar dilakukan untuk mengetahui besarnya gaya yang diperlukan hidrogel untuk menyebar pada kulit atau untuk mengetahui kemampuan menyebar sediaan hidrogel saat dioleskan pada kulit. Daya sebar hidrogel yang baik yaitu sesuai SNI No. 06-2588 yaitu sebesar 5-7 cm [15]. Dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa sediaan memenuhi syarat daya sebar.

Hasil Pengujian Viskositas Sediaan Hidrogel

Hasil pengujian viskositas sediaan hidrogel dapat dilihat pada tabel 12 di bawah ini.

Tabel 12. Hasil Pemeriksaan viskositas hidrogel

Formulasi	Hasil rata-rata 3 kali pengukuran viskositas (Hari)			
	0	7	14	21
F0	34630	33490	32270	31780
F1	36450	34050	33670	31520
F2	36690	35880	34680	32880
F3	38850	36830	34950	33930

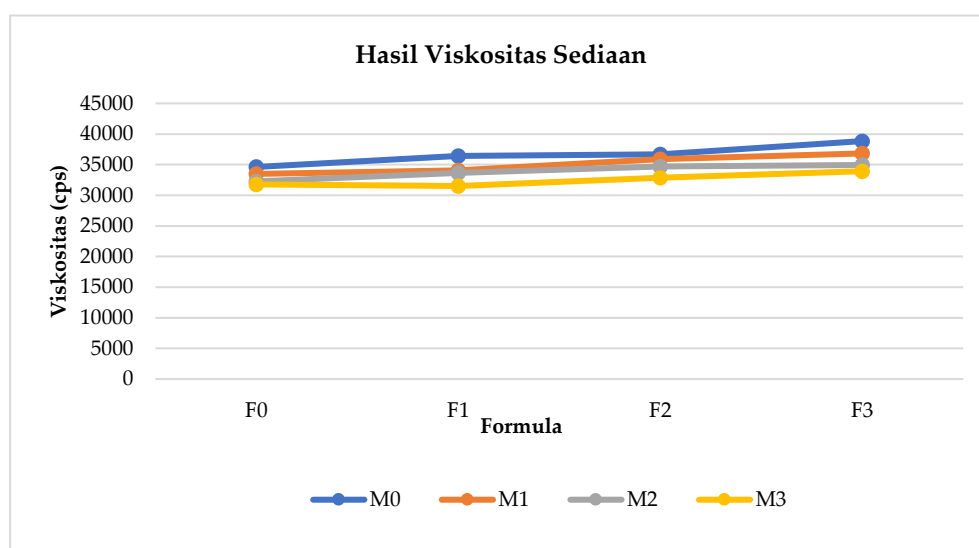
Keterangan:

Formula 0 : Kontrol negatif (Basis hidrogel tanpa kitosan)

Formula 1 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 2 %

Formula 2 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 4 %

Formula 3 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 6 %

**Gambar 8.** Grafik hubungan antara formula dan viskositas sediaan

Berdasarkan **Gambar 7**, hasil viskositas berdasarkan formula cenderung mengalami peningkatan. Peningkatan konsentrasi kitosan dalam formulasi hidrogel menunjukkan hubungan yang signifikan terhadap peningkatan viskositas sediaan. Hal ini disebabkan oleh sifat fisikokimia kitosan sebagai polimer alami yang mampu membentuk jaringan tiga dimensi (3D) ketika dilarutkan dalam pelarut asam seperti asam asetat. Pada konsentrasi kitosan yang lebih tinggi, jumlah rantai polimer yang tersedia dalam sistem juga semakin banyak, sehingga memungkinkan terjadinya lebih banyak interaksi antar rantai, baik melalui ikatan hidrogen maupun interaksi elektrostatik. Interaksi ini memperkuat dan memperpadat struktur jaringan hidrogel, yang pada akhirnya berdampak terhadap peningkatan viskositas. Selain itu, kitosan memiliki gugus fungsional seperti amino ($-NH_2$) dan hidroksil ($-OH$) yang bersifat hidrofilik. Dengan meningkatnya konsentrasi kitosan, jumlah gugus fungsional tersebut juga bertambah sehingga kemampuan untuk mengikat molekul air menjadi lebih besar. Air yang terikat dalam jaringan kitosan ini menjadi terperangkap dalam matriks gel, sehingga pergerakan molekul pelarut menjadi lebih terbatas dan menyebabkan larutan menjadi lebih kental (viskositas meningkat).

Namun, hubungan antara viskositas dengan waktu penyimpanan pada penelitian ini mengalami penurunan. Fenomena ini bisa terjadi karena selama penyimpanan, sediaan hidrogel yang mengandung kitosan dapat mengalami penurunan pH. Penurunan pH ini merupakan hal yang umum dan berkaitan dengan stabilitas kimia kitosan. Sebagai polimer kationik, kitosan umumnya dilarutkan dalam media asam seperti asam asetat untuk membentuk hidrogel. Selama penyimpanan, struktur kitosan dapat mengalami degradasi secara kimia atau biologis, yang menyebabkan pemutusan rantai polimer menjadi senyawa-senyawa yang bersifat asam, seperti glukosamin atau asam asetat bebas. Akumulasi senyawa-senyawa tersebut menyebabkan pH sediaan menjadi lebih rendah dari waktu ke waktu. Penurunan pH ini dapat memengaruhi kestabilan fisik sediaan, termasuk viskositasnya. Pada kondisi tertentu, degradasi kitosan dapat mengurangi panjang rantai polimer atau mengubah interaksi antarmolekulnya, yang secara tidak langsung dapat mempengaruhi struktur gel dan menyebabkan fluktuasi viskositas. Oleh karena itu,

meskipun pada awalnya peningkatan konsentrasi kitosan berbanding lurus dengan kenaikan viskositas, kestabilan viskositas tetap dipengaruhi oleh faktor penyimpanan seperti suhu, waktu, dan pH sediaan.

Pada pengujian viskositas hidrogel, digunakan spindle nomor 3 karena rentang viskositas yang diharapkan sesuai dengan kemampuan pengukuran spindle ini. Spindle 3 memiliki kemampuan mengukur viskositas pada kisaran sedang hingga tinggi, sehingga sangat cocok untuk sampel hidrogel yang memiliki viskositas dalam rentang puluhan ribu centipoise (cps) seperti pada penelitian ini (31780–38850 cps). Penggunaan spindle yang tepat sangat penting agar pengukuran viskositas akurat dan stabil, karena spindle dengan ukuran atau kecepatan yang tidak sesuai dapat menyebabkan hasil yang kurang representatif atau bahkan kesalahan pengukuran. Oleh karena itu, spindle 3 dipilih untuk menyesuaikan karakteristik viskositas hidrogel yang diuji, sehingga dapat memberikan hasil yang valid dan konsisten sesuai standar yang berlaku. Viskositas sediaan hidrogel yang baik menurut Badan Standar Nasional Indonesia (BSNI/BSN/SNI) yaitu pada SNI 16-4380-1996, nilai viskositas gel adalah 3.000–50.000 cps[15].

Uji iritasi hidrogel pada sukarelawan

Hasil uji iritasi terhadap kulit dilakukan dengan mengoleskan sediaan hidrogel pada kulit bagian belakang telinga sebanyak enam orang sukarelawan yang memenuhi kriteria inklusi. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui adanya potensi efek samping atau reaksi iritasi yang mungkin timbul akibat pemakaian sediaan. Setelah pengolesan, sediaan dibiarkan menempel pada kulit selama 24 jam, kemudian diamati secara seksama terhadap tanda-tanda iritasi seperti kemerahan, rasa gatal, pembengkakan, atau pengkasaran kulit. Penggunaan enam sukarelawan dalam uji iritasi ini dilakukan untuk memperoleh data yang cukup representatif dan valid secara statistik, sekaligus mempertimbangkan aspek etika dan keamanan dalam penelitian awal, sehingga dapat menggambarkan respons kulit yang bervariasi tanpa membebani subjek secara berlebihan [45].

Tabel 13. Hasil uji iritasi dari sediaan

No	Keterangan	Sukarelawan					
		1	2	3	4	5	6
1	Kemerahan pada kulit	-	-	-	-	-	-
2	Gatal pada kulit	-	-	-	-	-	-
3	Kulit menjadi kasar	-	-	-	-	-	-

Keterangan:

- Tidak terjadi reaksi pada kulit:

Berdasarkan hasil pengamatan yang tercantum pada **Tabel 13**, tidak ditemukan adanya reaksi negatif seperti kemerahan, gatal, ataupun pengkasaran pada kulit para sukarelawan. Kondisi kulit tetap normal tanpa perubahan visual setelah 24 jam pemakaian hidrogel. Hal ini menunjukkan bahwa sediaan hidrogel yang diuji aman untuk digunakan pada kulit tanpa menimbulkan efek iritasi. Uji iritasi kulit ini sangat penting sebagai salah satu parameter utama dalam evaluasi keamanan produk topikal, guna memastikan bahwa bahan aktif maupun eksipien dalam formulasi tidak menyebabkan gangguan atau kerusakan pada kulit pengguna saat digunakan secara rutin.

Hasil Uji Aktivitas Antijamur Hidrogel Terhadap *Trichophyton mentagrophytes*

Berdasarkan tabel 14, menunjukkan bahwa diameter zona hambat pada *Trichophyton mentagrophytes* terlihat berbeda dalam berbagai konsentrasi. Pada konsentrasi 2% menunjukkan bahwa diameter zona hambat sebanyak 9,7 mm, konsentrasi 4% sebanyak 10,4 mm, dan konsentrasi 6% menunjukkan zona hambat sebesar 11,5 mm. sedangkan kontrol positif diperoleh daya hambat 21,0 mm dan kontrol negatif diperoleh daya hambat 0 mm atau tidak memberikan respon hambatan.

Zona hambat menunjukkan sensitifitas antijamur terhadap kitosan dari cangkang kerang bambu (*Solen corneus*) dalam menghambat pertumbuhan *Trichophyton mentagrophytes*. Zona hambat terkecil terletak pada konsentrasi 2% dikategorikan memiliki kekuatan sedang, sedangkan zona hambat terbesar terletak pada konsentrasi 6% dikategorikan kuat. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi yang diberikan maka semakin besar pula daya hambat terhadap pertumbuhan suatu jamur [1].

Aktivitas antijamur kitosan 6% yang lebih rendah dibanding ketokonazol mungkin disebabkan oleh berat molekul tinggi kitosan yang menghambat penetrasi ke sel jamur. Namun, nilai zona hambat >10 mm tetap relevan untuk aplikasi topikal [1,7].

Tabel 14. Hasil uji aktivitas antijamur

Formulasi	Zona hambat (mm)			Rata-rata (mm)	Kategori
	1	2	3		
F1 (2%)	9,6	9,7	9,8	9,7	Sedang
F2 (4 %)	10,6	10,5	10,3	10,4	Sedang
F3 (6 %)	11,3	11,7	11,7	11,5	Kuat
Kontrol negatif (Basis hidrogel tanpa kitosan)	0				Lemah
Kontrol positif	21,0				Sangat Kuat

Keterangan:

Formula 0 : Kontrol negatif (Basis hidrogel tanpa kitosan)

Formula 1 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 2 %

Formula 2 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 4 %

Formula 3 : Hidrogel kitosan bambu konsentrasi 6 %

Kontrol Positif : Ketoconazole 2%

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa kitosan dari cangkang kerang bambu (Solen corneus) berhasil diformulasikan menjadi sediaan hidrogel yang memenuhi semua parameter uji fisik meliputi homogenitas, pH dalam rentang 4,5-6,5, daya sebar 5-7 cm, daya lekat lebih dari 1 detik, dan viskositas 3.000-50.000 cps, serta terbukti tidak menimbulkan iritasi pada kulit. Lebih lanjut, sediaan hidrogel kitosan ini menunjukkan aktivitas antijamur yang signifikan terhadap *Trichophyton mentagrophytes* dengan diameter zona hambat yang meningkat seiring konsentrasi kitosan, yaitu 9,7 mm pada formula 1 (2% kitosan), 10,4 mm pada formula 2 (4% kitosan), dan 11,5 mm pada formula 3 (6% kitosan), mengindikasikan potensi penggunaan kitosan kerang bambu sebagai bahan aktif antijamur dalam sediaan topikal.

Conflict of Interest

Penelitian ini dilakukan secara mandiri dan objektif tanpa konflik kepentingan atau pengaruh eksternal.

Acknowledgment

Keberhasilan penelitian ini didukung oleh berbagai pihak. Kami mengucapkan terima kasih khusus kepada Universitas Muslim Nusantara atas bantuan dan fasilitas yang diberikan.

Supplementary Materials

Referensi

- [1] Tang C, Kong X, Ahmed SA, Thakur R, Chowdhary A, Nenoff P, et al. Taxonomy of the *Trichophyton mentagrophytes*/T. interdigitale species complex harboring the highly virulent, multiresistant genotype T. indotineae. *Mycopathologia* 2021;186:315–26.
- [2] Hoffer L, Shvarts S, Segal-Engelchin D. Hair loss due to scalp ringworm irradiation in childhood: health and psychosocial risks for women. *Isr J Health Policy Res* 2020;9. <https://doi.org/10.1186/s13584-020-00393-2>.
- [3] Ameen M. Epidemiology of superficial fungal infections. *Clin Dermatol* 2010;28:197–201. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2009.12.005>.
- [4] Lekjinda K, Sunintaboon P, Watthanaphanit A, Tangboriboonrat P, Ubol S. Ag/Au-incorporated trimethyl chitosan-shell hybrid particles as reinforcing and antioxidant fillers for trimethyl chitosan hydrogel. *Carbohydr Polym* 2024;337. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122132>.
- [5] Maulani D, Nofianti KA, Sugijanto NE, Kartosentono S. An eco-friendly absorption method of Cu²⁺, Cd²⁺, and Pb²⁺ using the shells and chitosan derived from *Solen vagina*. *Journal of Ecological Engineering* 2021;22.

- [6] Afifah H, Nurwaini S. Uji Aktivitas Antijamur Gel Serbuk Lidah Buaya (Aloe vera L.) Berbasis Carbopol 934 Terhadap *Candida albicans* dan *Trichophyton mentagrophytes*. *Pharmacon: Jurnal Farmasi Indonesia* 2019;15:42–51.
- [7] Chasanah U, Apriliyanto AB, Anggara D, Kusumawardani A, Ermawati D. Characterization and Antibacterial Activity of Dayak Onion (*Eleutherine palmifolia*) Hydrogel in Vitro 2020.
- [8] Rizki D, Rani Z. Isolasi Dan Identifikasi Kitosan Dari Cangkang Kerang Bulu (*Anadara antiquata*). *Media Farmasi* 2023;19:74–80.
- [9] Windari NNR, Fauziah SI, Juniar AE, Purnomo T. Biobakterisida Kitosan Cangkang Kerang Darah sebagai Anti Bakteri *Ralstonia solanacearum*. *Proceeding Biology Education Conference: Biology, Science, Enviromental, and Learning*, vol. 16, 2019, p. 280–4.
- [10] Nur N, Windari R, Fauziah SI, Juniar AE, Purnomo T. Biobakterisida Kitosan Cangkang Kerang Darah sebagai Anti Bakteri *Ralstonia solanacearum* Biobactericide Chitosan Blood Shell as an Anti Bacterial *Ralstonia solanacearum*. vol. 16. n.d.
- [11] Khan TA, Peh KK, Ch'ng HS. Reporting degree of deacetylation values of chitosan: the influence of analytical methods. *J Pharm Pharm Sci* 2002;5:205–12.
- [12] Lidia Putama Mursal I, Selistiwati A, Sheyka Meli D, Chaerani N, Muyasyar N, Latipah T, et al. Uji Kualitas Kitosan Dari Limbah Tulang Sotong Dengan Variasi Suhu Deasetilasi. vol. 2. 2022.
- [13] Natalia DA, Dharmayanti N, Dewi FR. Produksi kitosan dari cangkang rajungan (*Portunus sp.*) pada suhu ruang. *J Pengolah Has Perikan Indones* 2021;24:301–9.
- [14] Kadarul NN, Isrul M, Halid NHA. Formulasi dan Uji Stabilitas Fisik Sediaan Hydrogel Eye Mask Ekstrak Etanol Kayu Secang (*Caesalpinia sappan* L.). *Jurnal Pharmacia Mandala Waluya* 2023;2:334–48.
- [15] Tiara Zaila Marta Ayu. Formulasi Dan Evaluasi Sediaan Gel N-Hexane Dan Ekstrak Etanol Daun Matoa (*Pometia pinnata* JR & G. Forst) Terhadap Pertumbuhan Jamur *Trichophyton mentagrophytes* ATCC 9533. *Warta Bhakti Husada Mulia : Jurnal Kesehatan* 2023;10.
- [16] Anjani QK, Detamornrat U, Larrañeta E, Donnelly RF. Hydrogel-forming microarray patches combined with powder-based reservoir for labetalol hydrochloride transdermal delivery. *Int J Pharm* 2025;669:125061.
- [17] Anjani QK, Moreno-Castellanos N, Adhami M, Ramadan D, Jangga J, Donnelly RF. Quercetin loaded polymeric dissolving microarray patches: fabrication, characterisation and evaluation. *Drug Deliv Transl Res* 2025;15:355–71.
- [18] Ristiari NPN, Julyasih KSM, Suryanti IAP. Isolasi dan identifikasi jamur mikroskopis pada rizosfer tanaman jeruk siam (*Citrus nobilis* Lour.) di Kecamatan Kintamani, Bali. *Jurnal Pendidikan Biologi Undiksha* 2019;6:10–9.
- [19] Jamilatun M, Azzahra N, Aminah A. Perbandingan pertumbuhan *Aspergillus fumigatus* pada media instan modifikasi carrot sucrose agar dan potato dextrose agar. *J Mikol Indones* 2020;4.
- [20] Prayoga A, Bastian B, Aristoteles A. Perbedaan jumlah koloni jamur *Candida albicans* pada media sabouraud dextrose agar (SDA) dan media modifikasi biji nangka (*Artocarpus heterophyllus* lamk). *Journal of Indonesian Medical Laboratory and Science (JoIMedLabS)* 2023;4:78–86.
- [21] Pelu AD, Lihi M, Wokas MNI. Uji aktivitas antifungi ekstrak anggur laut (*Caulerpa sp.*) asal Pulau Geser Kabupaten Seram Bagian Timur terhadap fungi *Candida albicans*. *Jurnal Ilmu Kedokteran Dan Kesehatan Indonesia* 2022;2:153–63.
- [22] Rodríguez-Tudela JL, Cuenca-Estrella M, Díaz-Guerra TM, Mellado E. Standardization of antifungal susceptibility variables for a semiautomated methodology. *J Clin Microbiol* 2001;39:2513–7.
- [23] Sapiun Z, Sophian A, Abinawanto M, Kamba V, Damiti SA, Luawo H. Optimization of Mcfarland Turbidity standards value in determining template DNA as reference in *Salmonella Typhimurium* ATCC 14028 test using Real-Time PCR (QPCR). *PalArch's Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology* 2020;17:10916–22.
- [24] Sudjarwo GW, Rosalia MS. Uji Aktivitas Anti Jamur Nanopartikel Kitosan Terhadap Jamur *Candida albicans* secara In Vitro. *Prosiding Seminakel* 2019:50–7.
- [25] Kinasih TH, Sumarni W, Susatyo EB. Pemanfaatan cangkang kepiting bakau dan plasticizer gliserol sebagai edible coating buah jambu biji merah. *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences* 2019;42:7–15.
- [26] Bai L, Liu L, Esquivel M, Tardy BL, Huan S, Niu X, et al. Nanochitin: chemistry, structure, assembly, and applications. *Chem Rev* 2022;122:11604–74.

- [27] Agustina S, Kurniasih Y. Pembuatan kitosan dari cangkang udang dan aplikasinya sebagai adsorben untuk menurunkan kadar logam Cu. Prosiding Seminar Nasional MIPA, 2013.
- [28] Al Shaqsi NHK, Al Hoqani HAS, Hossain MA, Al Sibani MA. Isolation, characterization and standardization of demineralization process for chitin polymer and minerals from the crabs waste of Portunidae segnis. *Adv Biomark Sci Technol* 2020;2:45–58.
- [29] Liu Y, Luo J, Dong H, Secundo F, Mao X, Huang W-C. Chitin Extraction at Room Temperature Using a Novel Temperature-Responsive Switchable Deep Eutectic System with Enhanced Recyclability. *Food Bioproc Tech* 2025;1–8.
- [30] Zhang J, Xu W-R, Zhang Y-C. Facile production of chitin from shrimp shells using a deep eutectic solvent and acetic acid. *RSC Adv* 2022;12:22631–8.
- [31] Pohling J, Hawboldt K, Dave D. Thermo-mechanical decolourization process for shrimp chitin (*Pandalus borealis*). *Sustainable Chemistry for the Environment* 2025;9:100192.
- [32] Azelee NIW, Dahiya D, Ayothiraman S, Noor NM, Abd Rasid ZI, Ramli ANM, et al. Sustainable valorization approaches on crustacean wastes for the extraction of chitin, bioactive compounds and their applications-A review. *Int J Biol Macromol* 2023;253:126492.
- [33] Ridwanto R, Rosa VD, Rani Z, Fauzi ZPA. Utilization of chitosan from fresh water lobster (*Cherax quadricarinatus*) shells in anti-acne gel preparations. *Trends in Sciences* 2024;21:7243.
- [34] Ridwanto R, Pratiwi A, Rani Z. Isolation and Toxicity Test of Chitosan from Green Mussels (*Perna viridis* L.) With Brine Shrimp Lethality Test (BSLT) Method: Study Program of Pharmacy, Faculty of Pharmacy, Universitas Muslim Nusantara Al Washliyah, Medan, Indonesia. *Jurnal Sains Dan Kesehatan* 2023;5:759–65.
- [35] Azelee NIW, Dahiya D, Ayothiraman S, Noor NM, Abd Rasid ZI, Ramli ANM, et al. Sustainable valorization approaches on crustacean wastes for the extraction of chitin, bioactive compounds and their applications-A review. *Int J Biol Macromol* 2023;253:126492.
- [36] Ridwanto R, Rosa VD, Rani Z, Fauzi ZPA. Utilization of chitosan from fresh water lobster (*Cherax quadricarinatus*) shells in anti-acne gel preparations. *Trends in Sciences* 2024;21:7243.
- [37] de Oliveira Silva MB, de Oliveira SA, dos Santos Rosa D. Comparative study on microwave-assisted and conventional chitosan production from shrimp shell: Process optimization, characterization, and environmental impacts. *J Clean Prod* 2024;440:140726.
- [38] Yadav M, Goswami P, Paritosh K, Kumar M, Pareek N, Vivekanand V. Seafood waste: a source for preparation of commercially employable chitin/chitosan materials. *Bioresour Bioprocess* 2019;6:8. <https://doi.org/10.1186/s40643-019-0243-y>.
- [39] Kiang T, Wen J, Lim HW, Leong KW. The effect of the degree of chitosan deacetylation on the efficiency of gene transfection. *Biomaterials* 2004;25:5293–301. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2003.12.036>.
- [40] Chik CENCE, Kamaruzzan AS, Rahim AIA, Lananan F, Endut A, Aslamyah S, et al. Extraction and Characterization of *Litopenaeus vannamei*'s Shell as Potential Sources of Chitosan Biopolymers. *J Renew Mater* 2023;11.
- [41] Sikorski D, Gzyra-Jagiela K, Draczyński Z. The kinetics of chitosan degradation in organic acid solutions. *Mar Drugs* 2021;19:236.
- [42] Herawati V, Hidayati EN, Sardjiman S. Formulasi Dan Uji Stabilitas Gel Tabir Surya Mengandung Kombinasi Ekstrak Etanol Daun Salam (*Syzygium Polyanthum* (Wight.) Walp.) Dan Ekstrak Etanol Daun Kelor (*Moringa Oleifera* L.). *Majalah Farmasetika* 2024;9:506–17.
- [43] Agustiani FRT, Sjahid LR, Nursal FK. Kajian literatur: peranan berbagai jenis polimer sebagai gelling agent terhadap sifat fisik sediaan gel. *Majalah Farmasetika* 2022;7:270–87.
- [44] Saputro MR, Wardhana YW, Wathoni N. Stabilitas Hidrogel dalam Penghantaran Obat. *Majalah Farmasetika* 2021;6:421–35.
- [45] Lifiani R, Tampubolon MI, Oktaviana L. Formulasi krim anti-aging ekstrak etanol daun jelatang (*Urtica dioica* L.) dengan penambahan sari lidah buaya (*Aloe vera*). *Jurnal Teknologi Kesehatan Dan Ilmu Sosial (TEKESNOS)* 2021;3:361–71.