

Extraction of Chitosan from Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus*) along with Its Physicochemical Characterization and Antibacterial Activity

Ekstraksi Kitosan dari Jamur Tiram (*Pleurotus ostreatus*) serta Karakterisasi Fisikokimia dan Uji Aktivitas Antibakterinya

Dahlia Hasibuan ^a, Ridwanto ^{a*}, Anny Sartika Daulay ^a, Ainil Fithri Pulungan ^a

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

*Corresponding Authors: ridwanto@umnaw.co.id

Abstract

Background: Chitosan is a biopolymer derived from the deacetylation of chitin, which is generally obtained from crustacean waste. However, the utilization of more environmentally friendly alternative sources such as oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) has recently been developed. Chitosan exhibits biocompatible, biodegradable properties and antibacterial activity, making it potentially applicable in the food and pharmaceutical industries. **Objective:** This study aims to extract and characterize chitosan from oyster mushrooms and to evaluate its antibacterial activity against *Escherichia coli*. **Methods:** The study was conducted through extraction stages including deproteinization, depigmentation, demineralization, and deacetylation. Chitosan characterization included functional group analysis using FTIR, as well as physicochemical parameter testing such as yield, moisture content, ash content, and solubility. Antibacterial activity was tested using the disc diffusion method at various chitosan concentrations (0.3%, 0.5%, 0.7%, and 0.9%). **Results:** The obtained chitosan had a degree of deacetylation of 80.64%, indicating successful conversion of chitin into chitosan. The physicochemical characteristics met quality standards, with a yield of 52.84%, moisture content of 0.666%, and ash content of 0.416%. Chitosan was soluble in 2% acetic acid. Antibacterial testing demonstrated inhibitory activity against *Escherichia coli*, with inhibition zones ranging from 10.1 to 14.2 mm, categorized as strong. **Conclusion:** Chitosan extracted from oyster mushrooms exhibits good physicochemical characteristics and promising antibacterial activity, indicating its potential as an environmentally friendly alternative material for applications in the food and pharmaceutical fields.

Keywords: Chitosan, Oyster Mushroom, Extraction, Ftir, Spectrophotometer.

Abstrak

Latar Belakang: Kitosan merupakan biopolimer hasil deasetilasi kitin yang umumnya diperoleh dari limbah krustasea. Namun, pemanfaatan sumber alternatif yang lebih ramah lingkungan seperti jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) mulai dikembangkan. Kitosan memiliki sifat biokompatibel, biodegradable, serta aktivitas antibakteri yang berpotensi diaplikasikan dalam bidang pangan dan farmasi. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan untuk mengekstraksi dan mengkarakterisasi kitosan dari jamur tiram serta mengevaluasi aktivitas antibakterinya terhadap bakteri *Escherichia coli*. **Metode:** Penelitian dilakukan melalui tahapan ekstraksi meliputi deproteinasi, depigmentasi, demineralisasi, dan deasetilasi. Karakterisasi kitosan meliputi analisis gugus fungsi menggunakan FTIR, serta pengujian parameter fisikokimia seperti rendemen, kadar air, kadar abu, dan kelarutan. Uji aktivitas antibakteri dilakukan menggunakan metode difusi cakram pada variasi konsentrasi kitosan (0,3%; 0,5%; 0,7%; dan 0,9%). **Hasil:** Kitosan yang dihasilkan memiliki derajat deasetilasi sebesar 80,64% yang menunjukkan keberhasilan konversi kitin menjadi kitosan. Karakteristik fisikokimia memenuhi standar mutu, dengan rendemen sebesar 52,84%, kadar air 0,666%, dan kadar abu 0,416%. Kitosan larut dalam asam asetat 2%. Uji antibakteri menunjukkan adanya aktivitas penghambatan terhadap *Escherichia coli* dengan zona hambat berkisar antara 10,1–14,2 mm yang termasuk kategori kuat. **Kesimpulan:** Kitosan hasil ekstraksi dari jamur tiram memiliki karakteristik fisikokimia yang baik serta aktivitas antibakteri yang potensial, sehingga dapat dikembangkan sebagai bahan alternatif ramah lingkungan untuk aplikasi di bidang pangan dan farmasi.

Kata Kunci: Kitosan, jamur tiram, ekstraksi, FTIR, Spektrofotometer.



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: 12/01/2026,
Revised: 29/03/2026,
Accepted: 29/03/2026,
Available Online: 30/03/2026,

QR access this Article



<https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v9i1.1533>

Pendahuluan

Sebagian besar masyarakat Indonesia saat ini memiliki pemahaman yang baik tentang jamur tiram. Dinamakan jamur tiram karena bentuknya yang unik, menyerupai kulit tiram atau cangkang kerang. Oleh karena itu, tidak heran jika beberapa menyebutnya sebagai jamur kerang-kerangan karena kemiripannya dengan kulit kerang [1]. Jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*) merupakan jamur yang termasuk dalam kelompok Basidiomycota dan kelas *Homobasidiomycetes*. Ciri-ciri umumnya mencakup tubuh buah berwarna putih hingga krem, dengan tudung yang terbentuk setengah lingkaran mirip cangkang tiram, dan bagian tengahnya cekung [2]. Kontribusi jamur dalam kehidupan manusia sejak dahulu sudah dikenal, karena jamur memiliki distribusi yang luas sehingga dapat ditemui pada berbagai objek yang terkait dengan kehidupan manusia, seperti makanan, pakaian, bangunan, dan perabotan. Hal ini juga berlaku untuk tumbuhan dan hewan peliharaan. Dengan Indonesia yang memiliki iklim tropis pada tingkat kelembapan berkisar antara 70-90 % dan suhu rata-rata 30 °C. Yang dimana kondisi tersebut sangat mendukung pertumbuhan dan perkembangan jamur.

Kitosan beserta turunannya adalah biopolimer yang memiliki potensi besar untuk pengembangan di Indonesia, mengingat beragam aplikasinya di bidang kedokteran, industri pangan, farmasi, kosmetik, pertanian, dan sektor lainnya [3]. Berkat struktur khasnya, kitosan menunjukkan karakteristik unik seperti larut dalam larutan asam, non-toksik, dapat terurai secara hayati, biokompatibel, dan memiliki sifat antimikroba. Dengan karakteristik yang dimiliki, kitosan dapat dijadikan sebagai bahan yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai industri, termasuk makanan, obat-obatan dan tekstil [4]. Kitosan memiliki efek antimikroba yang kuat, dan aman untuk tubuh manusia. Ada banyak laporan yang membahas aktivitas antimikroba kitosan dalam kondisi yang berbeda, dengan hasil yang bertentangan [5]. Kitosan yang memiliki sifat antibakteri, mampu menghentikan pertumbuhan berbagai jenis bakteri berbahaya, termasuk yang dikategorikan gram positif dan gram negatif, serta mikroorganisme pemusuk [6]. *Escherichia coli* adalah mikroorganisme patogen yang umumnya menyerang manusia. Bakteri ini dapat menyebabkan berbagai infeksi, seperti infeksi saluran kemih, meningitis, pneumonia, diarre, dan infeksi lainnya. Penyebarannya dapat terjadi melalui tangan ke mulut atau secara pasif melalui makanan dan minuman [7].

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa kitosan memiliki kemampuan antibakteri yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri patogen, termasuk bakteri Gram-positif dan Gram-Negatif. Menurut hasil penelitian Nadia *et al* [8] pada media yang mengandung biakan *E. coli* dengan kitosan 0,8%, hasil menunjukkan uji aktivitas antibakteri yang efektif menunjukkan zona hambat terbesar sebesar 12,8 mm. Dengan mempertimbangkan beragam manfaat dari kitosan, maka penelitian ini bertujuan untuk mengekstraksi kitosan dan memahami karakteristik dari jamur tiram dan selanjutnya diuji aktivitas antibakterinya terhadap bakteri *Escherichia coli*.

Metode Penelitian

Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) yang diperoleh dari hasil budidaya di Tebing Tinggi, natrium klorida (NaCl), asam klorida pekat (HCl), natrium hidroksida (NaOH), asam asetat glasial, serta aquadest sebagai pelarut. Seluruh bahan kimia yang digunakan memiliki derajat pro analisis (p.a).

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi blender untuk proses penghancuran sampel, oven untuk pengeringan, alat refluks untuk proses ekstraksi, timbangan analitik untuk penimbangan bahan secara presisi, seperangkat alat gelas berbahan Pyrex, peralatan uji aktivitas antibakteri, serta instrumen Fourier Transform Infrared (FTIR) untuk analisis gugus fungsi senyawa.

Pengumpulan dan Pengolahan Sampel

Sampel berupa jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) diperoleh dari lokasi budidaya di Tebing Tinggi. Pengambilan sampel dilakukan secara langsung dari perkebunan dengan memperhatikan kondisi sampel yang masih segar dan layak untuk digunakan dalam penelitian. Sebanyak 5 kg sampel segar kemudian dicuci dengan air mengalir untuk menghilangkan kotoran yang menempel, selanjutnya ditiriskan dan dikeringkan menggunakan sinar matahari hingga diperoleh sampel kering. Sampel kering kemudian dihaluskan menggunakan blender hingga menjadi serbuk, lalu diayak menggunakan ayakan ukuran 40 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam [9,10].

Pembuatan Larutan Pereaksi dan Media

Larutan pereaksi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi larutan natrium hidroksida (NaOH) 2%, larutan natrium hidroksida (NaOH) 60%, serta larutan asam klorida (HCl) 1 N. Pembuatan larutan NaOH 2% dilakukan dengan menimbang sebanyak 2 gram natrium hidroksida murni, kemudian dilarutkan dalam aquadest hingga volume 100 mL. Larutan NaOH 60% dibuat dengan menimbang 60 gram natrium hidroksida murni, kemudian dilarutkan dalam aquadest hingga volume 100 mL. Sementara itu, larutan HCl 1 N dibuat dengan memipet 25 mL asam klorida pekat ke dalam gelas beker, kemudian diencerkan dengan aquadest hingga mencapai volume 100 mL. Seluruh prosedur pembuatan larutan mengacu pada metode yang ditetapkan oleh Depkes RI (2014) [11,12].

Media yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mueller Hinton Agar (MHA) untuk uji aktivitas antibakteri. Pembuatan media dilakukan dengan menimbang 2,8 gram serbuk MHA, kemudian dilarutkan dalam 100 mL aquadest di dalam labu Erlenmeyer. Larutan dipanaskan di atas hotplate sambil diaduk hingga mendidih, kemudian ditutup menggunakan kapas dan aluminium foil. Selanjutnya, media disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit.

Larutan NaCl 0,9% dibuat dengan menimbang 0,9 gram natrium klorida, kemudian dilarutkan dalam aquadest hingga volume 100 mL dan dihomogenkan. Larutan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam lima tabung reaksi, masing-masing sebanyak 9 mL.

Suspensi bakteri uji dibuat dengan mengambil koloni bakteri yang telah diinokulasi menggunakan kawat ose steril, kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi larutan NaCl 0,9%. Suspensi kemudian dihomogenkan menggunakan vortex hingga diperoleh tingkat kekeruhan yang setara dengan standar McFarland.

Pembuatan Kitosan

Pembuatan kitosan dari jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu deproteinasi, depigmentasi, demineralisasi, dan deasetilasi. Tahap awal adalah deproteinasi, yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan protein pada sampel. Sampel jamur tiram dicuci, dikeringkan, kemudian ditimbang dan dihaluskan menggunakan blender hingga diperoleh serbuk. Serbuk sampel selanjutnya dipanaskan dalam larutan natrium hidroksida (NaOH) 2% selama 3 jam pada suhu 90°C dengan perbandingan 1:10 (b/v) menggunakan homogenizer. Hasil reaksi kemudian disaring menggunakan kertas saring dan residu dicuci dengan aquadest hingga mencapai pH netral [13].

Tahap berikutnya adalah depigmentasi, yang bertujuan untuk menghilangkan pigmen sehingga diperoleh warna kitosan yang lebih cerah. Residu hasil deproteinasi direndam dalam aseton selama 1 jam, kemudian dibilas dengan aquadest. Selanjutnya, dilakukan perendaman dalam larutan natrium hipoklorit (NaOCl) 0,315% selama 1 jam, kemudian dicuci kembali hingga mencapai pH netral dan dikeringkan [14].

Tahap demineralisasi dilakukan untuk menghilangkan kandungan mineral pada sampel. Residu hasil depigmentasi direndam dalam larutan asam klorida (HCl) 1 N dengan perbandingan 1:10 (b/v) selama ±12 jam (overnight). Campuran kemudian disaring dan residu dicuci menggunakan aquadest hingga mencapai pH netral [14]. Tahap terakhir adalah deasetilasi, yaitu proses konversi kitin menjadi kitosan. Residu hasil demineralisasi ditambahkan larutan NaOH 60% dengan perbandingan 1:20 (b/v), kemudian dipanaskan pada suhu 80°C selama 6 jam sambil diaduk menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan 50 rpm. Campuran selanjutnya disentrifugasi selama 15 menit pada kecepatan 2000 rpm, kemudian dipisahkan antara supernatan

dan residu. Residu disaring dan dicuci menggunakan aquadest hingga mencapai pH netral. Selanjutnya, residu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C selama 24 jam hingga diperoleh kitosan [14].

Analisis FTIR

Karakterisasi gugus fungsi kitosan dilakukan menggunakan spektrofotometer Fourier Transform Infrared (FTIR) pada rentang bilangan gelombang 4000–400 cm^{-1} . Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi utama yang terdapat dalam kitosan serta untuk menentukan derajat deasetilasi (DD) [15]. Penentuan derajat deasetilasi dilakukan berdasarkan data spektrum FTIR menggunakan metode *baseline* yang dikembangkan oleh Domszy dan Roberts (1984), yaitu dengan membandingkan intensitas serapan pada pita amida dan pita amina. Pita serapan pada daerah 1650–1500 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan gugus amida ($-\text{NHCO}$), sedangkan pita serapan pada daerah 3750–3000 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus amina primer ($-\text{NH}_2$ dan $-\text{OH}$) [15].

Nilai derajat deasetilasi yang diperoleh digunakan untuk mengevaluasi tingkat konversi kitin menjadi kitosan, di mana semakin tinggi nilai derajat deasetilasi menunjukkan semakin banyak gugus asetil yang telah terlepas dan semakin tinggi kemurnian kitosan yang dihasilkan [15].

Karakterisasi Kitosan

Karakterisasi kitosan hasil isolasi dari jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) meliputi pemeriksaan organoleptis, rendemen, kadar abu, kadar air, serta kelarutan kitosan. Parameter-parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi kualitas kitosan yang dihasilkan [10,16].

Pemeriksaan organoleptis dilakukan dengan mengamati sifat fisik kitosan yang meliputi bentuk, warna, bau, dan rasa. Pengamatan ini bertujuan untuk memberikan gambaran awal mengenai karakteristik kitosan yang dihasilkan [10,16].

Rendemen kitosan ditentukan berdasarkan perbandingan antara berat kitosan yang diperoleh dengan berat awal bahan, kemudian dinyatakan dalam persentase. Nilai rendemen digunakan untuk mengetahui efisiensi proses transformasi kitin menjadi kitosan.

Penetapan kadar abu dilakukan dengan menimbang sekitar 2 gram sampel kitosan, kemudian dimasukkan ke dalam krus porselin yang telah dipijarkan dan ditara. Sampel dipijarkan pada suhu 600°C hingga seluruh bahan organik terdekomposisi dan tersisa abu. Setelah itu, sampel didinginkan dalam desikator dan ditimbang hingga diperoleh bobot konstan. Kadar abu dinyatakan sebagai persentase terhadap berat sampel kering udara [10,16].

Penetapan kadar air dilakukan menggunakan metode pemanasan (AOAC). Sampel sebanyak 0,5 gram dimasukkan ke dalam cawan porselin yang telah diketahui bobotnya, kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 100–105°C selama 1–2 jam. Sampel selanjutnya didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Proses pemanasan dan penimbangan diulangi hingga diperoleh bobot konstan. Nilai kadar air dinyatakan sebagai persentase kehilangan bobot terhadap berat awal sampel. Kadar air merupakan parameter penting dalam menentukan kualitas kitosan, dengan standar mutu umumnya kurang dari 12% [17]. Kelarutan kitosan diuji dengan melarutkan kitosan dalam larutan asam asetat glasial 2% dengan perbandingan 1:100 (b/v). Kelarutan kitosan merupakan salah satu indikator kualitas, di mana semakin tinggi tingkat kelarutan menunjukkan kualitas kitosan yang semakin baik [18,19].

Uji aktivitas antibakteri terhadap bakteri *Escherichia coli*

Aktivitas antibakteri kitosan diuji menggunakan metode difusi cakram (*disc diffusion*). Media Mueller Hinton Agar (MHA) sebanyak 15 mL dituangkan secara aseptis ke dalam cawan petri steril, kemudian ditambahkan 0,5 mL suspensi bakteri uji dan dihomogenkan, lalu dibiarkan memadat. Setelah media memadat, kertas cakram steril yang telah direndam dalam larutan kitosan jamur tiram putih dengan konsentrasi 0,3%; 0,5%; 0,7%; dan 0,9% (b/v) diletakkan di atas permukaan media [20].

Kontrol negatif yang digunakan adalah larutan asam asetat 1% (b/v), sedangkan kontrol positif menggunakan antibiotik amoksisilin. Untuk meminimalkan pengaruh keasaman terhadap aktivitas antibakteri, pH larutan kitosan dan kontrol negatif disetarakan pada kisaran pH 4–5 menggunakan larutan NaOH atau HCl jika diperlukan [20]. Penyetaraan pH ini bertujuan untuk memastikan bahwa aktivitas antibakteri yang diamati berasal dari kitosan, bukan akibat perbedaan tingkat keasaman. Kertas cakram diletakkan dengan jarak minimal 20 mm dari tepi cawan, kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Diameter zona hambat yang terbentuk diukur menggunakan jangka sorong (caliper). Setiap perlakuan dilakukan dalam tiga kali pengulangan dan hasil dinyatakan sebagai rata-rata \pm standar deviasi (SD). [20].

Hasil Dan Pembahasan

Hasil Isolasi Kitin Jamur Tiram Putih

Jamur tiram putih yang diperoleh dari Pusat Budidaya Jamur yang berada di Kota Tebing tinggi dibersihkan kemudian dikeringkan yang selanjutnya dihaluskan dengan menggunakan blender, selanjutnya diayak dengan ayakan 100 mesh sehingga diperoleh tepung jamur tiram yang berwarna putih kekuningan. Hasil dari pengayakan ini digunakan untuk memperoleh kitin.

Hasil Proses Deproteinasi

Proses deproteinasi merupakan proses penghilangan protein dari jamur tiram putih. Prinsip proses deproteinasi adalah melepaskan ikatan-ikatan antara protein dan kitin. Proses deproteinasi dilakukan dengan perlakuan menggunakan larutan NaOH panas dalam waktu relatif lama dimana dengan perlakuan tersebut protein akan terlepas dan membentuk natrium proteinat yang larut. Kandungan protein dalam jamur tiram akan berikatan secara kovalen dengan kitin tetapi terdapat juga protein yang berikatan secara fisik yaitu protein dari sisa-sisa daging yang menempel pada matriks jamur tiram yang jumlahnya bervariasi. Pada saat deproteinasi, filtrat yang dihasilkan memiliki warna yang berbeda dalam setiap tahap pengulangannya dan memiliki massa 47,211 gram (dari 118,519 gram tepung jamur tiram putih). Warna yang dihasilkan dalam pengulangan pertama memiliki warna yang lebih pekat sedangkan pada pengulangan kedua dan ketiga semakin berkurang warnanya.

Hal ini menunjukkan kadar protein setelah pengurangan tahap deproteinasi terus berkurang dan ditandai dengan perubahan warna. Hilangnya kandungan protein ditandai dengan berkurangnya intensitas warna larutan menjadi lebih bening (tidak berwarna) pada filtrat diakhir perlakuan. Larutan NaOH dalam air akan terionisasi menjadi kation Na^+ dan anion OH^- . Kation Na^+ bereaksi dengan protein. Kation Na^+ dari larutan NaOH akan mengikat ujung rantai protein yang bermuatan negative sehingga mengendap. Protein yang telah terekstrak oleh NaOH adalah bentuk Na-proteinat [21].

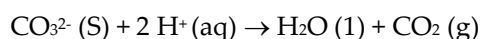
Hasil Proses Depigmentasi

Depigmentasi kitosan adalah proses penghilangan pigmen dari kitosan. Proses ini dilakukan untuk mengubah warna kitosan dari warna merah oranye menjadi warna putih. Depigmentasi dilakukan dengan perendaman sampel kitosan jamur tiram dengan menggunakan aseton selama 1 jam, setelah itu dilakukan pembilasan. Setelah pembilasan sampel kitosan jamur tiram dilakukan perendaman menggunakan NaOCl 0,315 % selama 1 jam selanjutnya dilakukan pembilasan sampai memperoleh pH netral dan dikeringkan. Ardianto dan Amlia [22] menyatakan proses depigmentasi melibatkan pemutusan ikatan konjugasi molekul zat warna, yang menyebabkan perubahan warna menjadi putih. Pada proses ini, pigmen seperti astaxanthin yang berwarna merah oranye akan larut ke dalam larutan, sehingga kitosan yang dihasilkan menjadi putih kekuningan dan mendapatkan hasil pada depigmentasi sebesar 28,043 gram.

Hasil Proses Demineralisasi

Proses demineralisasi berfungsi untuk menghilangkan kandungan mineral yang terdapat didalam jamur tiram putih. Sebagian besar kandungan mineral yang terdapat pada jamur tiram putih berupa kalsium karbonat, dan Sebagian kecil kalsium fosfat. Keberadaan kedua jenis mineral tersebut sangat dipengaruhi oleh habitat tempat hidupnya. Kalsium karbonat lebih mudah dipisahkan dibandingkan protein dikarenakan ngaram-garam anorganik hanya terikat secara fisik [21]

Demineralisasi pada umumnya dilakukan dengan larutan HCl atau asam lain seperti H_2SO_4 pada kondisi tertentu, akan tetapi larutan HCl lebih efektif sebesar 10% dibandingkan larutan H_2SO_4 . Proses pengulangan dibutuhkan karena proses pengulangan (successive steps) dinilai jauh lebih efektif dalam melarutkan mineral dibandingkan continuous process. Selama proses demineralisasi, senyawa kalsium akan bereaksi dengan asam klorida yang larut dalam air. Protein, lemak, fosfor, magnesium, dan besi turut terbuang dalam proses ini. Reaksi yang terjadi dari proses demineralisasi dengan terbentuknya buih sebagai berikut [21].



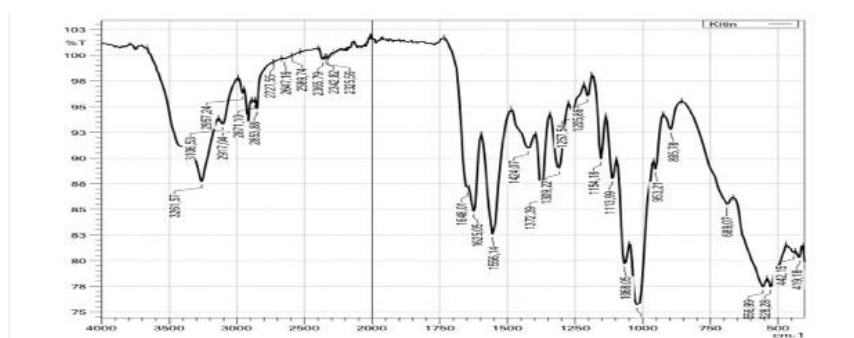
Filtrat sisa proses deproteinasi sebanyak 47,211 gram diproses demineralisasi menghasilkan 36, 383 gram.

Hasil Proses Deasetilasi

Pembentukan kitosan dilakukan dengan proses deasetilasi pada kitin mengikuti metode No dan Meyers (1989) yaitu kitin yang dihasilkan pada tahap demineralisasi ditambahkan NaOH 60% dengan perbandingan 1:10 (w/v) pada suhu 70-80 °C selama 6 jam, kemudian didinginkan dan disaring dengan kain penyaring. Residu yang dihasilkan dicuci dengan aquadest sampai pH netral kemudian dikeringkan didalam oven pada suhu 60°C selama 4 jam. Hasil yang didapatkan berupa kitosan 4,6296 gram. Lalu kitosan yang diperoleh kemudian dianalisis gugus fungsinya dengan menggunakan spektrofotometer FT-IR.

Hasil Analisa Gugus Fungsi dengan Menggunakan FTIR

Kitosan adalah biopolimer yang terbuat dari glukosamin dan N-acetylglukosamin yang terikat melalui ikatan peptida. FTIR digunakan untuk menganalisis gugus fungsi kitosan dan menentukan derajat deasetilasi serta berat molekul kitosan. Derajat deasetilasi kitosan dapat ditentukan melalui FTIR dengan menghitung rasio intensitas pita serapan.



Gambar 1. FTIR Kitin Jamur Tiram

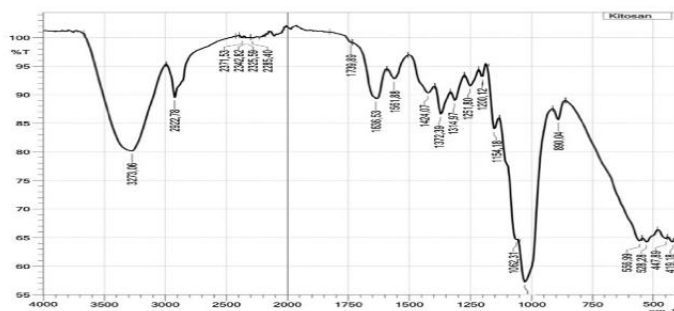
Berdasarkan isolasi kitin, kemudian diuji gugus fungsinya dengan menggunakan FTIR dengan pola serapan seperti gambar 4.1. Analisa gugus fungsi kitin (gambar 1) memperlihatkan adanya beberapa daerah serapan pada beberapa bilangan gelombang seperti pada tabel 1

Tabel 1. Gugus Fungsi Hasil Isolasi Kitin

Gugus Fungsi	Kitin Hasil Isolasi
O-H stretch	3261,57 cm ⁻¹
C-H stretch	285,38 – 291,04 cm ⁻¹
C=O stretch (amida I)	1648,01 cm ⁻¹
N – H bend, C – N stretch	1556,14 cm ⁻¹
CH ₃ pada NHCOCH ₃	1372,39 cm ⁻¹
CH ₂ wagging (amida III)	1424,07 cm ⁻¹
C–O–C stretch	1068,05 – 1157,18 cm ⁻¹

Kitin yang diperoleh setelah dianalisis gugus fungsinya dengan menggunakan spektrofotometer FTIR memperlihatkan beberapa pola serapan dari gugus hidroksil muncul pada 3261,57 cm⁻¹ adalah vibrasi stretching karbonil (amida I) dan 1556,14 cm⁻¹ merupakan vibrasi bending N-H (amida II). Serapan lainnya terjadi pada 2853,88 – 291,04 cm⁻¹ dari vibrasi stretching C-H alifatik yang menyatu dengan pita ulur OH. Adanya pita serapan pada 1068,05 – 1157,18 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi -C-O- dari cincin kitin. Serapan ini memiliki banyak puncak karena alcohol dari kitin yang mengandung ikatan C-O juga menunjukkan serapan disini. Serapan pada 1424,07 cm⁻¹ merupakan serapan karakteristik dari CH₂ pada ekor kitin. Serapan pada 1372,39 cm⁻¹ menunjukkan gugus CH₃. Serapan gugus amina kitin pada 3000-3700 cm⁻¹ berada pada posisi saling berhimpit dengan serapan -OH dan puncak serapan menjadi tertutup. Serapan-serapan yang muncul mengindikasikan bahwa hasil isolasi merupakan kitin.

Hasil Analisa Gugus Fungsi Kitosan menggunakan FTIR



Gambar 2. FTIR Kitosan Jamur Tiram

Hasil dari spektrum FTIR kitosan memberikan beberapa daerah serapan gugus fungsi kitosan yang memperlihatkan beberapa pola serapan yang muncul diantaranya seperti didalam tabel 2.

Tabel 2. Gugus Fungsi Hasil Isolasi Kitosan

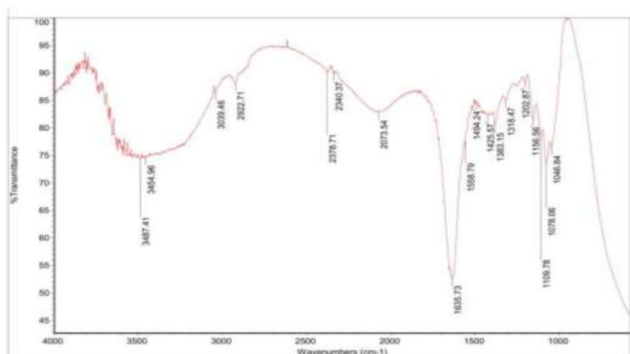
Gugus Fungsi	Kitosan Hasil Isolasi
O-H stretch	3273,06 cm ⁻¹
C-H stretch	2922,78 cm ⁻¹
C=O stretch (amida I)	1636,53 cm ⁻¹
N - H bend, C - N stretch	1561,88 cm ⁻¹
CH ₃ pada NHCOCH ₃	1372,39 cm ⁻¹
CH ₂ wagging (amida III)	1314,97 cm ⁻¹
C-O-C stretch	1062,31 - 1154,18 cm ⁻¹

Hasil dari spektrum FTIR kitosan memberikan beberapa daerah serapan gugus fungsi kitosan yang memperlihatkan beberapa pola serapan yang muncul diantaranya pita serapan pada 3273,06 cm⁻¹ yang memberikan oleh vibrasi ulur gugus -OH yang berikatan dengan hydrogen. Serapan pada 2922,78 cm⁻¹ merupakan vibrasi stretching -C-H alifatik dan adanya gugus -C-O ditunjukkan oleh serapan pada 1062,31 - 1154,18 cm⁻¹. Pita serapan 1424,07 cm⁻¹ diberikan oleh gugus CH₂ dari keton. Serapan-serapan tersebut sama dengan yang dimiliki oleh kitin. Perbedaan yang terjadi setelah proses deasetilasi adalah terjadi pemutusan ikatan pada pita serapan C=O (amida I) pada 1636,53 cm⁻¹ dan pita serapan N-H dalam bidang CONH pada 1561,88 cm⁻¹ yang turun pada kitosan dan muncul sebagai pita serapan baru pada 1636,53 cm⁻¹. Dengan melihat perubahan spectra FTIR maka dapat diperkirakan bahwa kitin yang terdeasetilasi telah mengalami perubahan menjadi kitosan.

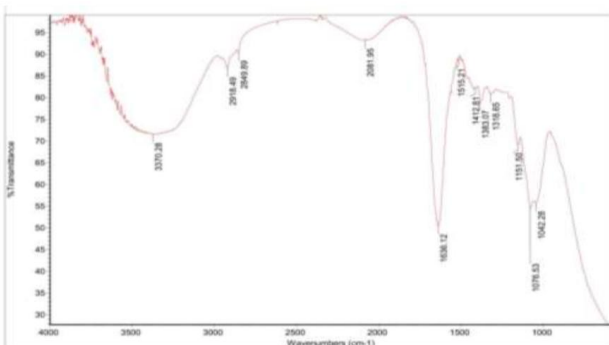
Dengan menggunakan metode base line, derajat deasetilasi dapat dihitung. Hasil perhitungan derajat deasetilasi dapat digunakan untuk melihat seberapa besar perubahan kitin menjadi kitosan. Dari hasil perhitungan yang menggunakan base line yang dikemukakan oleh Domszy dan Roberts (1985) diperoleh Derajat Deasetilasi sebesar 80,64 %. Menurut kusumaningsih dkk (2004) perbedaan kitin dan kitosan adalah pada besar derajat deasetilasi. Kitosan memiliki derajat deasetilasi berkisar antara 70-100 %. Maka berdasarkan hal tersebut rendemen yang diperoleh dari hasil deasetilasi sudah merupakan kitosan [23].

Perbandingan Kitosan Jamur Tiram Hasil Sintesis dengan Kitosan dari Literatur

Menurut penelitian Dhini Annisa Rahmasari Kanto pada tahun 2021, kitin dan kitosan telah berhasil diekstraksi dari jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*). Rendemen yang diperoleh untuk kitin adalah 1,696% berat basah, sedangkan untuk kitosan sebesar 0,174% dari total berat sampel kering. Selain itu, derajat deasetilasi kitosan yang dihasilkan mencapai 80,70%.



Gambar 3. FTIR Kitin Jamur Tiram Literatur



Gambar 4. FTIR Kitosan Jamur Tiram Literatur

Tabel 3. Gugus Fungsi Hasil Isolasi Kitin dan Kitosan

Gugus Fungsi	Kitin Hasil Isolasi	Kitosan Hasil Isolasi
O–H stretch	3261,57 cm ⁻¹	3273,06 cm ⁻¹
C–H stretch	2853,88 – 291,04 cm ⁻¹	2922,78 cm ⁻¹
C=O stretch (amida I)	1648,01 cm ⁻¹	1636,53 cm ⁻¹
N – H bend, C – N stretch	1556,14 cm ⁻¹	1561,88 cm ⁻¹
CH ₃ pada NHCOCH ₃	1372,39 cm ⁻¹	1372,39 cm ⁻¹
CH ₂ wagging (amida III)	1424,07 cm ⁻¹	1314,97 cm ⁻¹
C–O–C stretch	1068,05 – 1157,18 cm ⁻¹	1062,31 - 1154,18 cm ⁻¹

Tabel 4. gugus Fungsi Hasil Isolasi Kitin dan Kitosan Literatur

Gugus Fungsi	Kitin Hasil Isolasi	Kitosan Hasil Isolasi
O–H stretch	3487 cm ⁻¹	3370 cm ⁻¹
C–H stretch	2933 cm ⁻¹	2918 cm ⁻¹
C=O stretch (amida I)	1636 cm ⁻¹	1636 cm ⁻¹
N – H bend, C – N stretch	1559 cm ⁻¹	1515 cm ⁻¹
CH ₃ pada NHCOCH ₃	1383 cm ⁻¹	1383 cm ⁻¹
CH ₂ wagging (amida III)	1318 cm ⁻¹	1319 cm ⁻¹
C–O–C stretch	1078 cm ⁻¹	1077 cm ⁻¹

Analisis spektrum FTIR pada kedua sampel kitosan jamur tiram yang memiliki derajat deasetilasi sangat mirip, yaitu 80,64% dan 80,70%, menunjukkan adanya kemiripan karakteristik spektrum pada masing-masing gugus fungsi utama penanda kitosan. Nilai serapan untuk gugus O–H stretch berada pada bilangan gelombang yang hampir sama, yakni di kisaran 3273 cm⁻¹ dan 3370 cm⁻¹. Gugus amida I (C=O stretch) juga terlihat pada posisi yang hampir identik, yaitu sekitar 1636 cm⁻¹ untuk kedua sampel.

Demikian juga, puncak serapan gugus N–H bend dan C–N stretch muncul pada wilayah 1561–1559 cm⁻¹. Variasi yang sangat kecil pada bilangan gelombang masing-masing gugus fungsi mencerminkan bahwa kedua sampel memiliki struktur kimia yang hampir sama. Hal ini juga didukung oleh nilai derajat deasetilasi

yang hampir identik, sehingga tidak memberikan perbedaan signifikan pada profil FTIR keduanya. Konsistensi puncak-puncak serapan tersebut memperkuat bahwa proses deasetilasi yang dilakukan pada kedua sampel menghasilkan kitosan dengan kemurnian serta karakteristik gugus fungsional yang konsisten. Perbedaan nilai derajat deasetilasi yang sangat kecil (0,06%) tidak menyebabkan perubahan signifikan pada spektrum FTIR, sehingga kedua sampel dapat dikategorikan memiliki kualitas kitosan yang serupa berdasarkan hasil spektrum FTIR.

Karakterisasi Kitosan

Pada penelitian ini, serbuk kitosan dari Jamur Tiram Putih yang diperoleh kemudian dilakukan karakterisasi, meliputi pemeriksaan organoleptic, analisis rendemen kitosan, analisis kadar air, analisis kadar abu, analisis pH, dan kelarutan dengan pelarut asam asetat glasial 2%.

Pemeriksaan Organoleptik

Pada penelitian ini dilakukan pemeriksaan organoleptic serbuk kitosan yang dihasilkan dari jamur tiram putih. Hasil dapat dilihat padat tabel 5 dibawah ini.

Tabel 5. Organoleptis Kitosan Jamur Tiram

No	Organoleptik	Hasil Pemeriksaan	Kitosan Standarisasi Nasional	Keterangan
1	Bentuk	Serbuk	Serbuk	Memenuhi Syarat
2	Warna	Coklat Muda	Putih/coklat muda	
3	Bau	Tidak berbau	Tidak berbau	

Pemeriksaan organoleptic merupakan uji kualitatif yang dilakukan dengan mengamati bentuk, warna, dan bau kitosan yang dihasilkan lalu dibandingkan dengan spesifikasinya. Berdasarkan hasil pemeriksaan organoleptic pada tabel menunjukkan kitosan serbuk, bewarna coklat muda, dan tidak berbau. Kitosan yang berbentuk memiliki coklat muda yang menandakan proses penghilangan bahan organik dan zat warna berupa coklat tua yang dimana sudah memenuhi syarat yaitu coklat muda sampai putih. Pada hasil analisis organoleptis kitosan jamur tiram putih memiliki bentuk serbuk dengan bewarna coklat muda dan tidak memiliki bau apapun, menandakan bahwa kitosan jamur tiram putih memenuhi syarat standarisasi nasional No.7949, Tahun 2013.

Analisis Rendemen Kitosan

Tabel 6. Rendemen Kitosan Jamur Tiram

No	Analisis	Hasil Rendemen
1	Berat serbuk Jamur Tiram Putih	118,519 gram
2	Berat Sampel setelah Deproteinasi (gram)	47,211 gram
3	Berat sampel setelah demineralisasi / kitin (gram)	36,383 gram
4	Berat sampel Depigmentasi (gram)	28,043 gram
5	Berat sampel setelah Deasetilasi / kitosan (gram)	19,227 gram
6	Rendemen kitosan	52,84 %

Rendemen kitosan dipengaruhi oleh efisiensi proses ekstraksi, yang terdiri dari demineralisasi, deproteinasi, depigmentasi, dan deasetilasi. Tahap demineralisasi menggunakan larutan HCl untuk menghilangkan mineral, sedangkan deproteinasi menggunakan NaOH untuk menghilangkan protein. Depigmentasi menggunakan larutan aseton dan NaOCl untuk menghilangkan pigmen, dan deasetilasi menggunakan NaOH untuk menghilangkan gugus asetil. Kondisi proses seperti konsentrasi larutan, suhu, dan waktu ekstraksi juga mempengaruhi rendemen. Kitosan yang dihasilkan memiliki karakteristik seperti warna coklat muda, kadar air dan kadar abu yang sesuai dengan standar mutu SNI No.7949-2013. Rendemen kitosan yang dihasilkan dari berat kering jamur tiram putih dapat mencapai 52,84%.

Analisis Kadar Air

Kadar air kitosan adalah persentase berat air yang terdapat dalam kitosan. Kadar air kitosan sangat penting karena dapat mempengaruhi daya simpan dan kualitas kitosan. Yang dimana kadar air kitosan diukur dengan menghitung berat air yang terdapat dalam kitosan. Kadar air yang tinggi dapat menyebabkan

kitosan menjadi lebih lembab dan rentan terhadap degradasi. Hal ini dapat terjadi karena penyerapan uap air selama penyimpanan. Namun, kadar air yang rendah juga dapat menunjukkan kualitas yang baik. Standar Nasional Indonesia (No.7949, Tahun 2013) menetapkan bahwa kadar air kitosan harus kurang dari 12%. Kadar air yang lebih rendah dari ini menunjukkan bahwa kitosan telah mengalami proses pengeringan yang baik dan memiliki daya simpan yang lebih baik. Pada sampel jamur tiram mendapatkan hasil kadar air sebesar 0,666 % yang dimana telah memenuhi standart SNI.

Tabel 7. Kadar Air Kitosan Jamur Tiram

Pengulangan	Kadar Air %	Rata-rata %	Syarat SNI (%)
I	0,8		
II	0,6	0,666	≤ 12 %
III	0,6		

Analisis Kadar Abu

Tabel 8. Kadar Abu Kitosan Jamur Tiram

Pengulangan	Kadar abu %	Rata-rata %	Syarat SNI %
I	0,1		
II	0,15	0,416	≤ 5%
III	1		

Kadar abu kitosan adalah persentase berat abu yang terdapat dalam kitosan. Kadar abu kitosan diukur dengan mengoksidasi semua zat organik pada suhu tinggi, biasanya sekitar 500-600°C, dan kemudian melakukan penimbangan zat yang tertinggal setelah proses pembakaran. Kadar abu kitosan sangat penting karena dapat menunjukkan kandungan mineral dalam sampel. Kitosan dengan kadar abu yang rendah (kurang dari 5%) menunjukkan bahwa mineral telah dihilangkan dengan baik, yang penting untuk memastikan kualitas kitosan. Standar Nasional Indonesia (No.7949, Tahun 2013) menetapkan bahwa kadar abu kitosan harus kurang dari 5%. Kadar abu yang lebih rendah dari ini menunjukkan bahwa kitosan telah mengalami proses demineralisasi yang baik dan memiliki daya simpan yang lebih baik. Yang dimana kitosan jamur tiram mendapatkan hasil kadar abu sebesar 0,416 % yang dimana telah memenuhi standart SNI.

Uji Kelarutan Kitosan

Tabel 9. Kelarutan Kitosan Jamur Tiram Putih

No	Pelarut	Derajat kelarutan
1	Aquadest	Tidak larut
2	Aquadest dipanaskan	Tidak larut
3	Alcohol	Tidak larut
4	Asam asetat 2%	Larut

Pada tabel 9 diatas menyatakan bahwa kitosan yang dilarutkan dengan pelarut aquadest, aquadest yang dipanaskan dan alkohol tidak dapat larut dikarenakan sifat kimia. Kitosan tidak larut dalam pelarut organik karena tidak memiliki gugus hidrofilik yang memungkinkan interaksi dengan pelarut-pelarut tersebut.

Kelarutan kitosan dalam asam asetat glasial merupakan salah satu parameter yang dapat dijadikan sebasai standar penilaian mutu kitosan. Semakin tinggi kelarutan kitosan dalam asam asetat glasial 2% (2gr/100ml) mutu kitosan yang dihasilkan semakin baik. Kitosan yang dihasilkan memiliki kelarutan yang sempurna dalam asam asetat giasial 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, asam formal, asam sitrat. Kitosan juga tidak larut dalam beberapa pelarut organic seperti alkohol, aseton, dimetil formamida dan dimetil sulfoksida, tetapi kitosan larut baik dalam asam format berkonsentrasi 0,2%-100% dalam pelarut air. Hasil menunjukkan kitosan jamur tiram putih larut didalam pelarut asam asetat glasial 2%.

Derajat deasetilasi (DD) merupakan salah satu parameter kunci yang sangat memengaruhi aktivitas antibakteri kitosan. Pada penelitian ini diperoleh nilai DD sebesar 80,64%, yang termasuk dalam kategori tinggi (70–100%) dan menunjukkan tingkat konversi kitin menjadi kitosan yang optimal. Nilai DD yang tinggi berkorelasi dengan meningkatnya jumlah gugus amina bebas ($-NH_2$) yang dalam kondisi asam akan terprotonasi menjadi $-NH_3^+$, sehingga meningkatkan densitas muatan positif pada permukaan kitosan. Gugus bermuatan positif ini berperan penting dalam mekanisme antibakteri melalui interaksi elektrostatis dengan membran sel bakteri yang bermuatan negatif, khususnya pada bakteri Gram-negatif seperti *Escherichia coli*, yang memiliki lapisan lipopolisakarida. Interaksi tersebut dapat menyebabkan gangguan integritas membran sel, peningkatan permeabilitas, serta kebocoran komponen intraseluler yang berujung pada kematian sel bakteri.

Beberapa studi terkini melaporkan bahwa kitosan dengan DD di atas 75% menunjukkan aktivitas antibakteri yang lebih tinggi dibandingkan DD rendah, karena peningkatan jumlah gugus amino memperkuat interaksi polikationik dengan permukaan sel mikroba [24–27]. Hasil penelitian ini konsisten dengan temuan tersebut, di mana kitosan dengan DD 80,64% mampu menghasilkan zona hambat sebesar 10,1–15,1 mm terhadap *E. coli*. Hal ini menunjukkan bahwa tingginya nilai DD tidak hanya mencerminkan keberhasilan proses deasetilasi, tetapi juga berkontribusi langsung terhadap efektivitas aktivitas antibakteri kitosan yang dihasilkan.

Hasil Uji Aktivitas Antibakteri Kitosan Terhadap Bakteri *Escherichia coli*

Tabel 10. Uji Aktivitas Antibakteri Kitosan terhadap Bakteri *Escherichia coli*

No	Konsentrasi (%)	Replikasi I	Replikasi II	Replikasi III	Rata-rata \pm SD (mm)
1	0,3	9,7	7,8	13,0	10,17 \pm 2,62
2	0,5	11,9	10,4	10,1	10,80 \pm 0,94
3	0,7	15,7	14,7	12,3	14,23 \pm 1,73
4	0,9	16,0	16,0	13,3	15,10 \pm 1,56
5	Kontrol (+)	16,7	18,8	18,7	18,07 \pm 1,19
6	Kontrol (-)	-	-	-	-

Keterangan :

Kontrol (+) : amoxicillin

Kontrol (-) : Asam asetat 1 %

Berdasarkan Tabel 10, peningkatan konsentrasi kitosan menunjukkan kecenderungan peningkatan diameter zona hambat terhadap *Escherichia coli*. Konsentrasi 0,7% dan 0,9% menghasilkan aktivitas antibakteri yang lebih tinggi dibandingkan konsentrasi 0,3% dan 0,5%. Namun demikian, peningkatan pada konsentrasi 0,9% tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan 0,7%. Hal ini diduga disebabkan oleh keterbatasan difusi kitosan dalam media agar pada konsentrasi yang lebih tinggi, sehingga penyebaran senyawa aktif menjadi kurang optimal.

Nilai standar deviasi yang relatif kecil menunjukkan bahwa hasil pengukuran cukup konsisten antar pengulangan. Hasil analisis statistik menggunakan uji One Way ANOVA menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antar perlakuan ($p < 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi kitosan berpengaruh nyata terhadap aktivitas antibakteri.

Berdasarkan klasifikasi Davis dan Stout (1971), seluruh perlakuan kitosan berada dalam kategori daya hambat kuat (10–19 mm). Secara rinci, rata-rata zona hambat pada konsentrasi 0,3%; 0,5%; 0,7%; dan 0,9% berturut-turut adalah 10,1 mm; 10,8 mm; 14,2 mm; dan 13,9 mm. Sementara itu, kontrol positif (amoksisilin) menunjukkan daya hambat tertinggi sebesar 18 mm, yang mencerminkan efektivitas antibiotik spektrum luas dalam menghambat pertumbuhan bakteri [28].

Tidak terbentuknya zona hambat pada kontrol negatif menunjukkan bahwa asam asetat 1% tidak memberikan efek antibakteri yang signifikan pada kondisi pH yang telah disetarakan. Dengan demikian, aktivitas antibakteri yang diamati dapat dikaitkan secara spesifik dengan keberadaan kitosan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, kitosan yang diekstraksi dari jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*) berhasil diperoleh melalui tahapan deproteinasi, depigmentasi, demineralisasi, dan deasetilasi. Karakterisasi

menggunakan FTIR menunjukkan derajat deasetilasi sebesar 80,64%, yang mengindikasikan keberhasilan konversi kitin menjadi kitosan dengan kualitas yang baik. Secara fisikokimia, kitosan yang dihasilkan memenuhi standar mutu dengan rendemen sebesar 52,84%, kadar air 0,666%, dan kadar abu 0,416%, serta menunjukkan kelarutan yang baik dalam asam asetat 2%.

Uji aktivitas antibakteri menunjukkan bahwa kitosan memiliki kemampuan menghambat pertumbuhan *Escherichia coli* dengan kategori daya hambat kuat (10,17–15,10 mm). Hasil analisis statistik (ANOVA) menunjukkan bahwa variasi konsentrasi kitosan berpengaruh signifikan terhadap diameter zona hambat ($p < 0,05$). Dengan demikian, kitosan dari jamur tiram berpotensi sebagai sumber alternatif biopolimer ramah lingkungan yang dapat dikembangkan lebih lanjut untuk aplikasi di bidang pangan dan farmasi.

Konflik Kepentingan

Penelitian ini dilakukan secara independen dengan tetap menjunjung tinggi prinsip objektivitas ilmiah. Seluruh penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam bentuk apa pun, baik yang bersifat finansial maupun non-finansial, yang dapat memengaruhi pelaksanaan penelitian, hasil yang diperoleh, maupun interpretasi terhadap temuan yang dilaporkan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Muslim Nusantara atas dukungan fasilitas dan bantuan selama penelitian ini berlangsung.

Referensi

- [1] warisno, S.PKP & Kres Dahana S. Tiram Menabur Jamur, Menuai Rupiah. Gramedia Pustaka Utama; 2017.
- [2] Lianah MP. Budidaya Jamur Pangan Konsumsi Lokal. Alinea Media Dipantara; 2020.
- [3] Devi Ambarwaty Oktavia, Singgih Wibowo dan YNF. Pengaruh jumlah monokloro asetat terhadap karakteristik karboksimetil kitosan dan kitosan cangkang dan kaki rajungan 2005.
- [4] Danarto YC, Distantina S. Optimizing deacetylation process for chitosan production from green mussel (*Perna viridis*) shell. AIP conference proceedings, vol. 1710, AIP Publishing LLC; 2016, p. 30028.
- [5] Zheng LY, Zhu JF. Study on antimicrobial activity of chitosan with different molecular weights. Carbohydr Polym 2003;54:527–30. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2003.07.009>.
- [6] Magani AK, Tallei TE, Kolondam BJ. Uji Antibakteri Nanopartikel Kitosan terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. J Bios Logos 2020;10:7. <https://doi.org/10.35799/jbl.10.1.2020.27978>.
- [7] Potti L, Niwele A, Al Umar M. Uji aktivitas antibakteri ekstrak etanol daun singkong (*Manihot Esculenta* Crantz) terhadap daya hambat Bakteri *Escherichia Coli*. Jurnal Riset Rumpun Ilmu Kesehatan (JURRIKES) 2022;1:121–32.
- [8] Nadia LMH, Ode Huli L, Nilda Arifiana Effendy W, Jonas Rieuwpassa F, Imra I, Nurhikma N, et al. Aktivitas Antibakteri Kitosan dari Tulang Rawan Cumi-Cumi (*Loligo sp.*) Terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Jurnal Fishtech 2022;10:95–101. <https://doi.org/10.36706/fishtech.v10i2.14386>.
- [9] Zahro L, Agustini R. Uji efektivitas antibakteri ekstrak kasar saponin jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*) terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* antibacterial effectivity test of saponins crude extract from white oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) against. UNESA Journal of Chemistry 2013.
- [10] Kanto DAR, Apriani R, Ilhami M, Eva A. Kitosan Dari Jamur Tiram (*Pleurotus Ostreatus*) Dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Logam Krom (Cr). Lantanida Journal 2021;9:498689.
- [11] Khasibudin MRW, Zulfika DN, Kusbiantoro R. Analisis Laju Korosi Baja Karbon ST 60 Terhadap Larutan Hidrogen Klorida (HCl) dan Larutan Natrium Hidroksida (NaOH). Majamecha 2019;1:88–102.
- [12] Arifin BR, Hidayati N, Widagdo N. pengaruh temperatur larutan NaOH pada pemanfaatan CO2 flue gas boiler pada proses sintesis natrium karbonat menggunakan NaOH. Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin, 2022, p. 1093–101.

- [13] Annisa D, Kanto R, Apriani R, Ilhami M, Eva A. kitosan dari jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) dan aplikasinya sebagai adsorben logam krom (Cr). vol. 9. 2021.
- [14] Tanasale MFJDP, Bandjar A, Sewit N. Isolasi Kitosan Dari Tudung Jamur Merang (*Vollvariella volvaceae*) Dan Aplikasinya Sebagai Absorben Logam Timbal (Pb) Isolation of Chitosan from Straw Mushroom (*Vollvariella volvaceae*) Hood and Application as Lead (Pb) Metal Absorbent. vol. 6. 2018.
- [15] Dompeipen EJ. Isolasi Dan Identifikasi Kitin Dan Kitosan Dari Kulit Udang Windu (*Penaeus monodon*) dengan spektroskopi inframerah isolation and identification of chitin and chitosan from windu shrimp (*Penaeus monodon*) with infrared spectroscopy. 2017.
- [16] Adelianna TN, Martino B. Ekstraksi Kitin Dari Jamur Tiram Putih (*Pleurotus ostreatus*) Dengan Ultrasonikator Dan Microwave 2023.
- [17] Bastaman S. Studies on Degradation and Extraction of Chitin and Chitosan from Prawn Shells (*Nephrops Norvegicus*). 1898.
- [18] Azhari LP, Sipahutar YH, Masengi S. Karakteristik Kimia dan Optimalisasi Pembuatan Kitosan dari Kulit Udang Vaname (*Penaeus vannamei*). Prosiding Seminar Nasional Ikan XII, 2024.
- [19] Hasibuan NH, Ridwanto R, Nasution HM, Rani Z. Aktivitas Antijamur Kitosan Dari Cangkang Kerang Bambu (*Solen corneus*) Pada Pembuatan Hidrogel Terhadap Trichophyton mentagrophytes. Journal of Pharmaceutical and Sciences 2025:1654–73.
- [20] Suherman B, Dewi STR. Potensi Kitosan Kulit Udang Vannemei (*Litopenaeus vannamei*) Sebagai Antibakteri Terhadap *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Propionibacterium agnes*, dan *Escherichia coli* dengan Metode Difusi Cakram Kertas. Media Farmasi 2018:116–27.
- [21] Budianto E, Saepudin E, Nasir M. Chitosan Extraction Of Crab Shell On Different Time And Repetition Soaking. vol. 10. 2019.
- [22] Ardianto R, Amalia R. Optimasi Proses Deasetilasi Kitin menjadi Kitosan dari Selongsong Maggot menggunakan RSM. METANA 2023;19:1–12. <https://doi.org/10.14710/metana.v19i1.50480>.
- [23] Tanasale MFJDP, Bandjar A, Sewit N. Isolasi Kitosan Dari Tudung Jamur Merang (*Vollvariella volvaceae*) Dan Aplikasinya Sebagai Absorben Logam Timbal (Pb) Isolation of Chitosan from Straw Mushroom (*Vollvariella volvaceae*) Hood and Application as Lead (Pb) Metal Absorbent. vol. 6. 2018.
- [24] Younes I, Rinaudo M. Chitin and chitosan preparation from marine sources. Structure, properties and applications. Mar Drugs 2015;13:1133–74.
- [25] Kong M, Chen XG, Xing K, Park HJ. Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: a state of the art review. Int J Food Microbiol 2010;144:51–63.
- [26] Hosseinnejad M, Jafari SM. Evaluation of different factors affecting antimicrobial properties of chitosan. Int J Biol Macromol 2016;85:467–75.
- [27] Aranaz I, Mengibar M, Harris R, Paños I, Miralles B, Acosta N, et al. Functional characterization of chitin and chitosan. Curr Chem Biol 2009;3:203–30.
- [28] Sumilat DA. Skrining Aktivitas Antibakteri Beberapa Jenis Spons Terhadap Pertumbuhan Strain Bakteri *staphylococcus aureus*, *escherichia choli*, *staphylococcus saprophyticus*, dan *pseudeomonas aeruginosa*. Jurnal Ilmia Platax 2019;7:455–61.