JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya (2025) Vol. 12 (2): 252 - 265
DOI: 10.24252/jft.v12i2.63635

JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya
p-ISSN: 2302-1497, e-ISSN: 2715-2774
http://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/jft

Adsorben Logam Berat Tembaga (Cu) Ramah Lingkungan Berbasis Kitosan Cangkang Rajungan (*Portunus Pelagicus*) dan Karbon Aktif Limbah Tongkol Jagung (*Zea Mays*)

Nurafina Sari[1], Sitti Nurrahmi[1], dan Sefrilita Risqi Adikaning Rani[1]

[1]*Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar*

Email: sefrilita.rani@uin-alauddin.ac.id
**Corresponding Author*

Abstrak

Pencemaran logam berat seperti tembaga (Cu) di perairan memiliki dampak serius terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan adsorben ramah lingkungan berbasis kitosan yang diekstrak dari cangkang rajungan dan karbon aktif dari limbah tongkol jagung. Proses pembuatan kitosan meliputi tahap deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi, yang menghasilkan kitosan dengan derajat deasetilasi tinggi sebesar 76%. Gugus fungsi yang muncul yaitu gugus hidroksil (–OH) dan amina ($–NH_2$) yang efektif untuk adsorpsi ion logam berdasarkan analisis data FTIR. Karbon aktif dari tongkol jagung dihasilkan melalui karbonisasi dan aktivasi dapat meningkatkan luas permukaan dan porositas material. Pengujian AAS menunjukkan kapasitas adsorpsi sebesar 60,26% terhadap ion Cu dari air sungai Tallo, Sulawesi Selatan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komposit kitosan-karbon aktif ini efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk mengurangi polusi logam berat di perairan. Dengan demikian, komposit ini memiliki potensi aplikasi besar dalam pengelolaan limbah air industri dan lingkungan perairan yang tercemar.
Kata kunci: Adsorben, Cangkang Rajungan, Kitosan, Limbah, Logam Berat Tembaga.

Abstract

Heavy metal contamination, such as copper (Cu) pollution in aquatic environments, poses serious threats to the environment and human health. This study aims to develop an environmentally friendly adsorbent based on chitosan extracted from crab shells and activated carbon derived from corncob waste. The chitosan preparation process involved deproteinization, demineralization, and deacetylation steps, resulting in chitosan with a high degree of deacetylation of 76%. FTIR analysis revealed the presence of hydroxyl (–OH) and amine ($–NH_2$) functional groups, which are effective for metal ion adsorption. Activated carbon from corncobs was produced through carbonization followed by activation, leading to increased surface area and material porosity. Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) tests demonstrated an adsorption efficiency of 60.26% for Cu ions from Tallo River water, South Sulawesi. These results indicate that the chitosan–activated carbon composite is effective, cost-efficient, and environmentally sustainable for mitigating heavy metal pollution in aquatic environments. Therefore, this composite shows strong potential for application in industrial wastewater treatment and the remediation of contaminated water bodies.
Keywords: *Adsorbent, Chitosan, Crab Shell, Copper (Cu), Waste Biomass.*

1. PENDAHULUAN

Logam berat, seperti Pb, Cd, Cu, dan Zn, merupakan polutan berbahaya dalam limbah industri yang mencemari ekosistem perairan dan berpotensi membahayakan kesehatan manusia [1] Untuk mengatasi ini, diperlukan metode efektif yang mampu mengurangi logam berat dari limbah air secara efisien. Kitosan merupakan biopolimer yang berasal dari deasetilasi kitin sering kali dipilih sebagai bahan dasar adsorben logam berat. Kitosan cocok dijadikan bahan absorben karena memiliki gugus amina dan hidroksil yang efektif dalam mengikat ion logam berat melalui interaksi ionik dan pembentukan kompleks[2] [3][4].

Kitosan murni memiliki keterbatasan dalam kestabilan termal, kekuatan mekanik, dan sensitivitas terhadap pH[5]. Sehingga kitosan murni perlu dimodifikasi untuk meningkatkan efektivitas adsorpsinya. Beberapa studi telah mengkaji penggunaan kitosan sebagai adsorben logam berat dengan berbagai pendekatan modifikasi, seperti kombinasi dengan nanopartikel atau material lain untuk meningkatkan kapasitas adsorpsinya[6]. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya fokus pada kitosan dari sumber umum seperti udang atau kepiting[7] [2] , dan masih terbatas yang mengeksplorasi kitosan dari cangkang rajungan. Eksplorasi kitosan dari cangkang rajungan masih terbatas sehingga perlu untuk dikaji dan diteliti mengingat di Indonesia sumber cangkang rajungan tersebut melimpah.

Pada penelitian Begum et al. (2021) membahas potensi kitosan sebagai adsorben logam berat dari limbah air. Kajian ini menguraikan bagaimana langkah memodifikasi kitosan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsinya terhadap ion logam berat, namun fokus pada sumber kitosan dari limbah umum seperti udang, bukan dari cangkang rajungan. Mereka menekankan pentingnya modifikasi kimia untuk meningkatkan adsorpsi logam berat. Penelitan oleh Li et al. (2016) mengembangkan kitosan sebagai adsorben multifungsi melalui pembuatan aerogel kitosan. Aerogel ini menunjukkan peningkatan kapasitas adsorpsi untuk polutan organik dan ion logam, meskipun tidak menggunakan kombinasi dengan karbon aktif. Mereka menekankan pada kelebihan aerogel kitosan yang ringan dan sangat berpori namun tidak menguji material berbasis kitosan dengan karbon aktif dari limbah organik [1]. Penelitian oleh Muhaidin et al. (2024) mengkaji berbagai metode dalam menggunakan kitosan dan komposit lain untuk adsorpsi ion logam berat. Seperti metode bioremediasi, elektrokagulasi, dan adsorpsi. Fokus utama Muhaidin dkk adalah mengetahui efektivitas kitosan sebagai adsorben logam berat pada pH dan kondisi lingkungan berbeda[8].

Penelitian oleh Omer et al. (2021) mereview adsorben berbasis kitosan yang dimodifikasi untuk meningkatkan efisiensi dalam menghilangkan logam berat dari limbah air. Studi ini menyoroti kekuatan mekanik dan keterbatasan termal dari kitosan serta teknik untuk memperkuat sifat mekanisnya, seperti penggunaan nanopartikel magnetik, namun tidak mencakup limbah biomassa sebagai bahan baku karbon aktif [2]. Pada penelitian Salman et al. (2023) dalam studi mereka menguji komposit kitosan/graphene untuk mengadsorpsi ion logam berat. Mereka menemukan bahwa penambahan graphene meningkatkan kapasitas adsorpsi kitosan, namun fokusnya lebih kepada penggunaan nanomaterial dibandingkan bahan alami yang lebih murah seperti limbah tongkol jagung.

Penelitian Lain yang berkaitan dengan kitosan yaitu penelitian oleh Ahmad et al. (2015) yang mempelajari kitosan sebagai adsorben logam berat yang efektif, terutama dalam pembuangan logam dari limbah air. Studi ini mengidentifikasi modifikasi kimia yang dilakukan pada kitosan untuk meningkatkan efisiensi adsorpsinya. Dalam meningkatkan efisiensinya, kitosan di kombinasikan dengan berbagai bahan lain. Namun, mereka tidak meneliti penggunaan kombinasi kitosan dengan karbon aktif, khususnya yang bersumber dari limbah [9]. Fan et al. (2018) dalam penelitiannya mengembangkan kitosan magnetik yang memiliki keunggulan dalam pemisahan cepat dan efisiensi adsorpsi logam berat. Meskipun begitu, penelitian ini berfokus pada penambahan partikel magnetik sebagai penguatan mekanik [10]. Li et al. (2011) dalam penelitiannya juga mengembangkan adsorben berbasis polivinil alkohol (PVA) dan kitosan untuk logam berat. Dalam penelitiannya menunjukkan bahwa struktur makropori pada material ini memberikan kekuatan mekanik yang baik. Namun dalam risetnya tidak menggunakan bahan alami dalam kombinasi dengan kitosan [11].

Ngah et al. (2011) mereview berbagai komposit kitosan dengan material lain untuk meningkatkan kapasitas adsorpsinya terhadap logam berat. Penelitian ini mengkaji pentingnya modifikasi kitosan. Dalam reviewnya belum dibahas kombinasi dengan karbon aktif dari limbah organik belum dieksplorasi secara mendalam [12]. Vakili et al. (2019) dalam penelitiannya membahas regenerasi dan penggunaan ulang adsorben berbasis kitosan. Vakili 2019 membahas proses regenerasi adsorben setelah saturasi logam berat[13]. Dalam review Wang et al. (2023) dibahas tentang modifikasi kitosan magnetik. Hal-hal yang dibahas dalam reviewnya membahas peningkatan kapasitas adsorpsi melalui modifikasi fisik dan kimia. Penelitian ini tidak mencakup penggunaan karbon aktif dari limbah alami, sehingga terbatas pada jenis modifikasi yang mahal dan lebih kompleks [14]. Penelitian Wu et al. (2010) memberikan tinjauan tentang modifikasi kitosan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsinya terhadap logam berat. Hal yang dikaji termasuk beberapa metode kimia dan fisik. Namun, studi ini lebih fokus pada teknik kimia tanpa menggabungkan bahan lain seperti karbon aktif dari limbah biomassa lainnya[15].

Tinjauan dari kombinasi nanopartikel material lain dengan kitosan yang berfungsi untuk meningkatkan kapasitas absorbsi dari kitosan itu sendiri masih perlu dieksplorasi. Karbon aktif bisa menjadi salah satu kandidat material tambahan yang dapat meningkatkan kapasitas adsorbsi. Karbon aktif bisa terbuat dari berbagai sumber material dialam seperti karbon aktif yang bersumber dari limbah tongkol jagung. Penggunaan karbon aktif dari limbah tongkol jagung sebagai bahan tambahan telah menunjukkan peningkatan kapasitas adsorpsi karena area permukaan yang luas dan porositasnya yang tinggi. Dengan adanya permukaan luas dan porositas dari kabon aktif maka material ini mampu meningkatkan efisiensi dan daya tahan adsorben [8] [16]. Kombinasi kitosan berbasis cangkang rajungan dan karbon aktif limbah tongkol jagung berpotensi menciptakan material adsorben yang berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk mengatasi masalah polusi logam berat. Selain itu, penelitian tentang kombinasi karbon aktif dari limbah tongkol jagung dengan kitosan sebagai komposit adsorben masih jarang, terutama dalam pengaruh kualitas kitosan dan karbon aktif terhadap sifat-sifat adsorben yang dihasilkan. Sifat Adsorben yang dikaji meliputi kadar air,

kadar abu, derajat deasetilasi, serta efektivitas adsorpsi terhadap ion logam berat yang diuji menggunakan FTIR dan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*). FTIR digunakan untuk menganalisis gugus fungsional yang terbentuk pada komposit. Instrumen pengujian FTIR digunakan untuk dapat memahami mekanisme interaksi gugus aktif pada kitosan dan karbon aktif dalam mengadsorpsi ion logam berat. Instrumen FTIR digunakan untuk menghitung keberhasilan proses sintesis kitosan dengan menggunakan metode base line dengan persamaan berikut:

$$DD(\%) = \left[1 - \frac{A_{1655}}{A_{3450}} \times \frac{1}{1{,}33}\right] \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:
A_{1655} = absorbansi pada bilangan gelombang sekitar 1655 cm^{-1}
A_{3450}= absorbansi pada bilangan gelombang sekitar 3450 cm^{-1}
1,33 = konstanta empiris yang diperoleh dari kitosan dengan derajat deasetilasi 100%

Sedangkan instrumen AAS digunakan untuk mengukur kapasitas adsorpsi terhadap ion logam berat spesifik seperti Cu. Dengan instrumen ini peneliti bisa menilai efektivitas komposit sebagai material adsorpsi dalam kondisi lingkungan nyata. Meskipun kitosan telah banyak dilaporkan sebagai adsorben logam berat, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada kitosan murni atau komposit kitosan yang dimodifikasi menggunakan material sintetis atau biomassa. Selain itu, pemanfaatan kitosan dari sumber lokal seperti cangkang rajungan serta kombinasinya dengan karbon aktif dari limbah tongkol jagung masih sangat terbatas dilaporkan, khususnya dalam konteks aplikasi langsung pada air sungai tercemar. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan dua sumber limbah alami yang melimpah dan bernilai ekonomi rendah, yaitu cangkang rajungan (*Portunus pelagicus*) sebagai sumber kitosan dan tongkol jagung sebagai prekursor karbon aktif, yang dikombinasikan menjadi komposit adsorben ramah lingkungan. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan formula optimum dari material alami dan limbah pertanian sebagai solusi berkelanjutan untuk masalah pencemaran logam.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan bahan utama berupa cangkang rajungan (Portunus pelagicus) sebagai sumber kitosan dan limbah tongkol jagung (Zea mays) sebagai prekursor karbon aktif. Bahan kimia yang digunakan meliputi natrium hidroksida (NaOH), asam klorida (HCl), dan akuades, yang seluruhnya berkualitas pro analysis. Sampel air sungai yang mengandung ion Cu digunakan sebagai media uji adsorpsi. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi timbangan analitik, blender dan ayakan 100 mesh, magnetic stirrer, oven pengering, furnace, pH meter, serta peralatan gelas laboratorium standar.

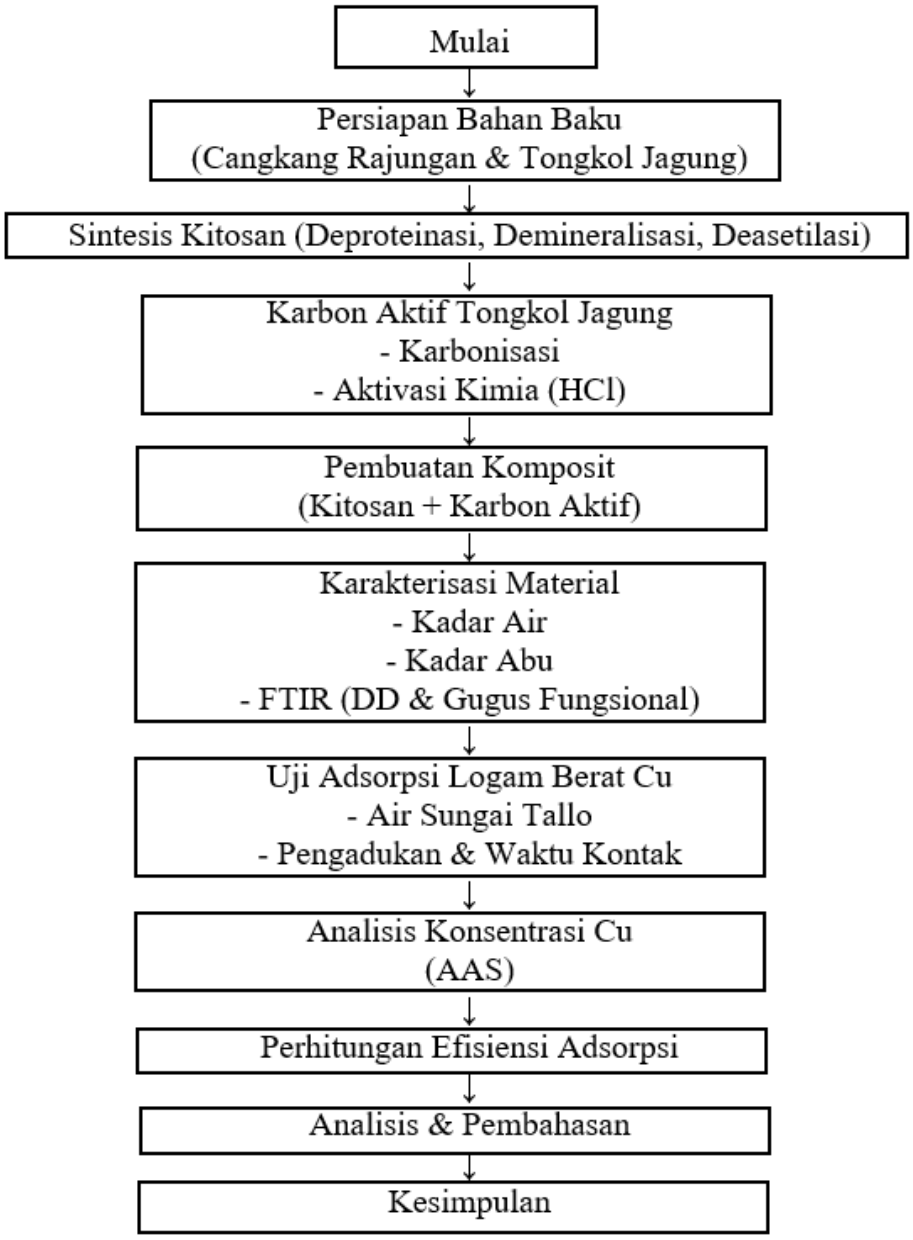
Pada penelitian ini, proses pembuatan kitosan dimulai dari cangkang rajungan yang bersih dan dipotong kecil-kecil agar lebih mudah diolah. Kemudian diblender dan di ayak 100 mesh. Tahap pertama adalah deproteinasi, di mana sampel ditambahkan larutan NaOH 1M dengan perbandingan 1:10 (b/v). Kemudian diaduk selama 2 jam dengan menggunakan *magnetic stirrer* kecepatan 500 rpm pada temperatur 70-80℃ untuk menghilangkan kandungan protein yang ada. Setelah itu, sampel dicuci dengan air suling hingga pH

mencapai kondisi netral, lalu dikeringkan. Selanjutnya adalah tahap demineralisasi. Cangkang yang telah dideproteinasi ditambahkan larutan HCl 1 M dicampur dengan perbandingan 1:7 (b/v). Diaduk selama 2 jam menggunakan *magnetic stirrer* kecepatan 500 rpm dengan temperatur 70-80℃ untuk menghilangkan mineral. Setelah pengadukan, sampel kembali dicuci dengan air suling hingga pH-nya netral dan dikeringkan. Tahap terakhir adalah deasetilasi, yaitu proses yang mengubah kitin menjadi kitosan. Pada tahap ini, sampel ditambahkan larutan NaOH 1 M dicampur dengan perbandingan 1:15 (b/v). Diaduk selama 2 jam menggunakan *magnetic stirrer* kecepatan 500 rpm dengan temperatur 70-80℃. Kemudian, sampel dicuci kembali hingga pH netral dan dikeringkan. Tujuan dari proses ini yaitu untuk menghilangkan gugus asetil yang terdapat dalam kitin dalam medium basa pekat. Hasil akhirnya adalah kitosan murni yang siap digunakan sebagai bahan dasar adsorben logam berat.

Proses pembuatan karbon aktif dari tongkol jagung dimulai dengan membersihkan dan mengeringkan tongkol jagung untuk memastikan tidak ada sisa kelembaban atau kotoran yang dapat mengganggu proses karbonisasi. Setelah itu, tongkol jagung yang kering dikarbonisasi. Proses karbonisasi dilakukan dengan memanaskan tongkol dalam tanur pada suhu 600℃ selama 2 jam dalam kondisi inert (tanpa oksigen). Kondisi ini penting untuk mencegah pembakaran sempurna dan hanya menghasilkan karbon. Karbon yang terbentuk kemudian diaktifkan melalui proses perendaman dalam larutan asam Klorida (HCl) 1 M selama 24 jam. Proses aktivasi ini berfungsi membuka pori-pori pada karbon, sehingga meningkatkan luas permukaan yang penting dalam kemampuan adsorpsi. Karbon aktif yang dihasilkan kemudian dicuci dengan air suling hingga pH netral untuk menghilangkan sisa-sisa larutan asam. Proses pencucian ini diikuti dengan pengeringan karbon aktif sebelum siap dicampurkan dengan kitosan sebagai bahan adsorben dalam aplikasi adsorpsi logam berat.

Karakterisasi Kitosan dan Karbon Aktif meliputi kadar air dan kadar abu. Melalui karakterisasi menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared*), Derajat Deasetilasi (DD) dari kitosan dapat dihitung. Selain itu data spektrum FTIR diambil pada untuk melihat karakteristik gugus fungsional pada kedua bahan adsorben. Pengukuran kadar air dilakukan untuk mengetahui tingkat kelembaban dalam komposit. Metode yang digunakan yaitu dengan menimbang sebanyak 1gram sampel. Kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 105℃ hingga beratnya stabil. Kadar air dihitung berdasarkan perbedaan antara massa awal dengan massa setelah pemanasan. Semakin rendah kadar air, semakin baik stabilitas sampel. Pengukuran Kadar Abu Kadar abu diukur untuk menilai residu anorganik dalam sampel, yang mencerminkan kemurnian material setelah proses aktivasi. Sebanyak 1 gram sampel dipanaskan pada suhu 600°C selama 2 jam dalam furnace. Sehingga dapat membakar seluruh komponen organik. Sisa abu kemudian ditimbang. Nilai kadar abu dihitung dengan mempersentasekan selisih massa awal dan massa abu dari massa awal sampel. Kadar abu yang rendah menunjukkan proses aktivasi dan karbonisasi yang efektif. Selanjutnya untuk mengevaluasi efektivitas adsorbsi dilakukan karakterisasi menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*). Sampel komposit kitosan-karbon aktif ditambahkan ke dalam limbah air sungai yang terdapat logam berat Cu-nya, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 500 rpm pada suhu 40℃. Larutan diaduk dan dibiarkan

berinteraksi selama waktu kontak tertentu. Setelah proses adsorpsi, sampel disaring dan konsentrasi logam berat yang tersisa dalam larutan diuji menggunakan AAS. Efisiensi adsorpsi dihitung dengan membandingkan konsentrasi awal dan akhir logam berat dalam larutan. Berikut diagram alir penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada proses pembuatan kitosan dari cangkang rajungan, tahap deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi menunjukkan hasil yang signifikan dalam peningkatan kemurnian dan struktur material. Hasil deproteinasi dan demineralisasi ditandai dengan hilangnya kandungan protein dan mineral. Hasil ini dikonfirmasi oleh kadar abu yang rendah. Nilai kadar abu menunjukkan kemurnian material yang optimal. Proses deasetilasi yang efektif menghasilkan derajat deasetilasi tinggi. Derajat Deasetilasi (DD) ini yang mencerminkan keberhasilan konversi kitin menjadi kitosan dengan gugus amina bebas yang aktif. Temuan ini sejalan dengan studi Wu et al. (2010), di mana deasetilasi optimal menghasilkan kitosan dengan kandungan gugus amina yang tinggi. Gugus amina ini yang dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi logam berat [15]. Hasil penelitian untuk kitosan dari cangkang rajungan dan karbon aktif dari limbah tongkol jagung dapat dilihat pada tabel 1 untuk nilai kualitas kadar abu. Sedangkan, nilai kadar air dapat di lihat pada tabel 2. Apabila dilihat dari hasil kualitas kadar abu dan kadar air yang dihasilkan dari kedua sampel sudah memenuhi standar SNI. Analisis kadar abu dan kadar air pada kitosan cangkang rajungan dan karbon aktif dari limbah tongkol jagung menunjukkan kemurnian dan kualitas material yang penting untuk aplikasi adsorpsi logam berat.

Tabel 1. Hasil pengukuran nilai kualitas kadar abu sampel.

No	*Sampel*	*Nilai Kadar Abu*	*Standar SNI*
1	Kitosan cangkang rajungan	1%	≤5
2	Karbon aktif tongkol jagung	4%	≤10

Tabel 2. Hasil pengukuran nilai kualitas kadar air sampel

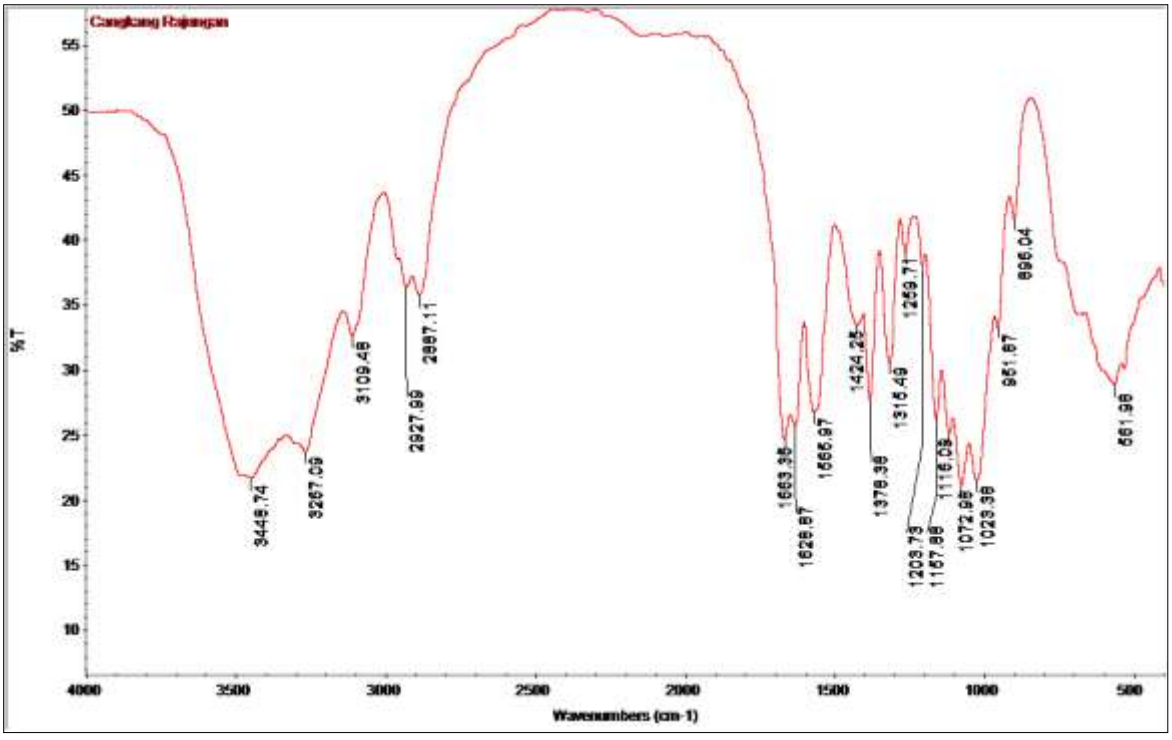
No	*Sampel*	*Nilai Kadar Air*	*Standar SNI*
1	Kitosan cangkang rajungan	3%	≤12
2	Karbon aktif tongkol jagung	9%	≤15

Kadar abu pada kitosan dari cangkang rajungan menunjukkan nilai rendah. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa proses deproteinasi dan demineralisasi telah berhasil menghilangkan kandungan anorganik seperti kalsium karbonat dan mineral lainnya. Kadar abu yang rendah ini sejalan dengan studi oleh Ahmad et al. (2015), yang menyakan bahwa kadar abu rendah pada kitosan ada korelasinya dengan kemurnian dan kapasitas adsorpsi yang lebih baik terhadap logam berat[9]. Selain kadar abu, parameter kualitas dari kitosan-karbon juga dilihat dari nilai kadar airnya. Pada penelitian, nilai kadar air yang rendah pada sampel kitosan dan karbon aktif menunjukkan stabilitas termalnya. Stabilitas termal inilah yang berfungsi untuk memperpanjang masa pakai adsorben. Hasil ini didukung oleh temuan dalam penelitian Fan et al. (2018), di mana kadar air rendah pada kitosan magnetik

meningkatkan ketahanan material dalam proses adsorpsi dan memungkinkan penggunaan berulang kali tanpa mengalami degradasi signifikan[10].

Karbon aktif dari tongkol jagung juga menunjukkan kadar abu dan kadar air yang rendah. Hal ini mengindikasikan keberhasilan proses karbonisasi dan aktivasi. Ini sejalan dengan laporan Wang et al. (2023), yang menemukan bahwa karbon aktif dengan kadar abu rendah memiliki kapasitas pori dan luas permukaan yang lebih besar. Hal ini menyebabkan kapasitas adsorpsi untuk aplikasi pengolahan limbah meningkat[14]. Aktivasi dengan HCl membuka pori-pori pada struktur karbon. Pori-pori tersebutlah yang dapat menghasilkan material dengan kapasitas adsorpsi yang optimal. Hasil ini konsisten dengan penelitian Ngah et al. (2011) yang menunjukkan bahwa karbon aktif dari bahan alami memiliki potensi tinggi sebagai adsorben diakibatkan porositas dan luas permukaannya yang besar [12]. Dengan demikian, nilai kadar abu dan kadar air yang rendah pada komposit kitosan-karbon aktif menunjukkan bahwa material ini memenuhi standar kualitas yang diperlukan untuk adsorpsi logam berat yang efektif.

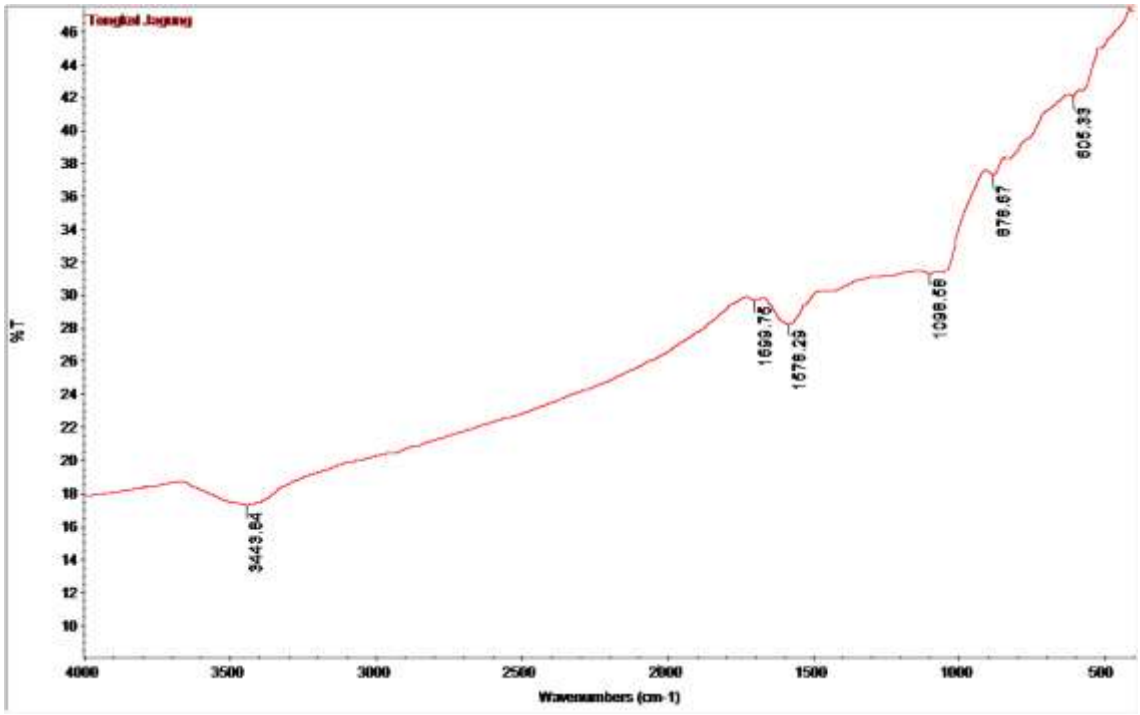
Kombinasi kitosan dan karbon aktif dari sumber alami ini menawarkan keunggulan yang lebih baik dibandingkan dengan modifikasi kimia pada kitosan, seperti yang diteliti oleh Li et al. (2015). Dimana dalam penelitian Li et.al melakukan penambahan graphene untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi. Dengan menggunakan karbon aktif dari limbah tongkol jagung, penelitian ini memberikan alternatif yang lebih murah dan berkelanjutan dalam mempetahankan efektifitas adsorbsinya yang tinggi daripada metode lain. Penelitian lain yakni menggunakan nanomaterial sintetis yang lebih mahal dilihat dari produksinnya[17].



Gambar 2. Hasil FTIR sampel kitosan cangkang rajungan.

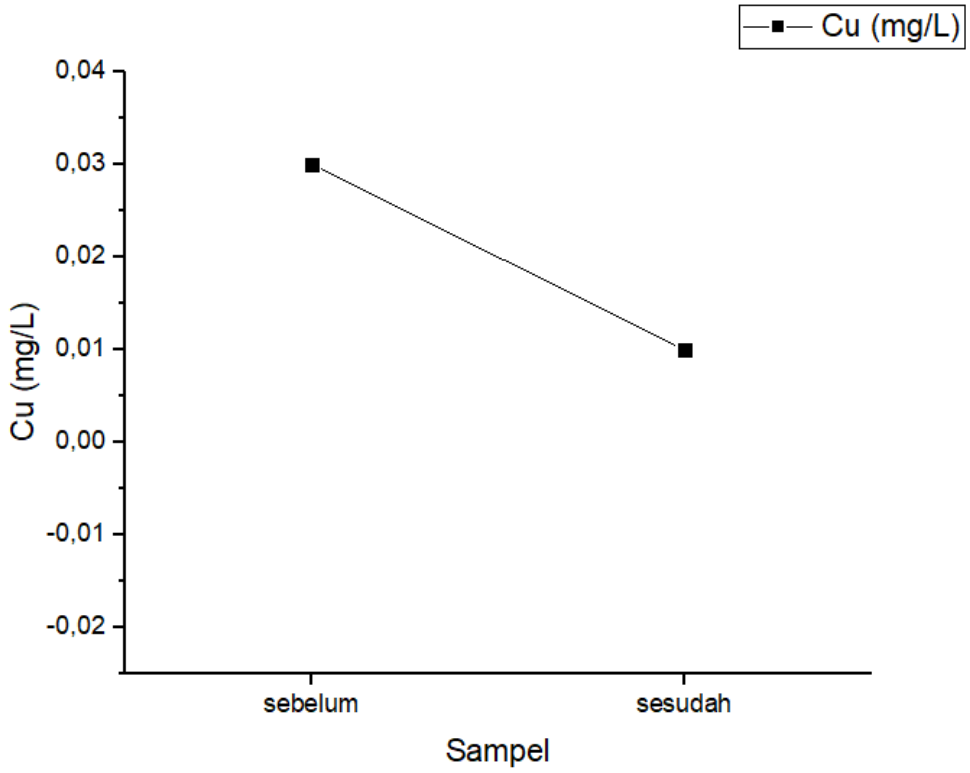
Spektrum FTIR yang dihasilkan terlihat pada gambar 2 dalam penelitian ini menunjukkan keberadaan gugus gugus hidroksil (–OH) dan amina ($–NH_2$) pada puncak yang diamati pada rentang 3200–3500 cm^{-1}. Dimana gugus tersebut merupakan situs aktif penting dalam proses adsorpsi ion logam berat. Hasil ini mendukung penelitian Ngah et al. (2011), yang mengidentifikasi gugus -NH_2 dan -OH sebagai kunci dalam adsorpsi ion logam berat melalui ikatan ionik dan kompleksasi dengan ion logam di dalam larutan[12].

Hasil analisis FTIR pada kitosan dari cangkang rajungan menunjukkan puncak serapan khas yakni pada serapan 1655 cm^{-1}. Pada serapan tersebut, menunjukkan keberadaan gugus amida (C=O), yang merupakan indikasi derajat deasetilasi. Dari penelitian ini diperoleh nilai Derajat Deasetilasinya (DD) sebesar 76%. DD tinggi ini menunjukkan bahwa kitosan yang dihasilkan memenuhi standar kualitas, yakni dengan DD minimal 70% seperti yang biasa diterapkan dalam standar kitosan berkualitas tinggi untuk aplikasi adsorpsi. Kitosan dengan DD di atas 70% memiliki lebih banyak situs aktif untuk mengikat ion logam berat, yang sejalan dengan temuan Ahmad et al. (2015). Dalam temuannya Ahmad menunjukkan bahwa DD tinggi berkorelasi positif dengan kapasitas adsorpsi logam berat. Hal ini dikarenakan lebih banyaknya gugus amida yang tersedia untuk berinteraksi dengan ion logam [9]. Selain itu, penelitian Wu et al. (2010) juga mendukung pentingnya DD tinggi untuk mencapai efisiensi adsorpsi yang optimal. Kitosan dengan DD tinggi lebih efektif dalam mengadsorpsi logam berat melalui ikatan ionik dan pembentukan kompleks[15]. Intensitas puncak pada FTIR ini mencerminkan keberhasilan konversi kitin menjadi kitosan dengan derajat deasetilasi tinggi. Hasil ini sejalan dengan temuan Li et al. (2011), yang menyebutkan bahwa keberadaan gugus amida dan amina yang kuat pada spektrum FTIR kitosan menunjukkan derajat deasetilasi yang optimal. Selain itu hal ini dapat meningkatkan kapasitas pengikatan logam berat melalui pembentukan ikatan ionik [11].



Gambar 3. Hasil FTIR sampel karbon aktif tongkol jagung.

Hasil penelitian untuk gugus fungsi karbon aktif dari limbah tongkol jagung dapat dilihat pada gambar 3. Pada gambar FTIR tersebut menunjukkan puncak serapan yang mengindikasikan keberadaan gugus -COOH dan -OH, dengan serapan kuat pada 3430 cm^{-1} dan 1600 cm^{-1}. Gugus ini memberikan situs aktif tambahan untuk adsorpsi logam berat dan memperkuat interaksi dengan kitosan dalam komposit. Kombinasi antara kitosan dan karbon aktif dengan gugus-gugus ini menciptakan material dengan kapasitas adsorpsi yang tinggi. Sebagaimana diuraikan oleh penelitian Ngah et al. (2011), diuraikan bahwa keberadaan gugus-gugus fungsional ini sangat penting untuk meningkatkan efektivitas adsorpsi pada komposit kitosan [12]. Secara keseluruhan, FTIR pada kitosan-karbon aktif ini memperlihatkan spektrum yang mengonfirmasi keberadaan gugus amina dan hidroksil pada kitosan, serta karboksil pada karbon aktif. Paduan gugus-gugus ini menciptakan lebih banyak situs aktif pada permukaan komposit. Keberadaan gugus ini dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi material.



Gambar 4. Grafik pengujian komposit kitosan dari cangkang rajungan dan karbon aktif yang diujikan pada air sungai Tallo Sulawesi Selatan.

Hasil uji *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) ditunjukkan pada gambar 4. Pada sampel komposit kitosan dari cangkang rajungan dan karbon aktif dari tongkol jagung memiliki kapasitas adsorpsi yang signifikan terhadap ion Cu dalam air sungai Tallo, Sulawesi Selatan. Sebelum adsorpsi, larutan mengandung konsentrasi Cu sebesar 0,0302, namun setelah proses adsorpsi dengan komposit kitosan-karbon aktif, konsentrasi Cu berkurang menjadi 0,012. Hal ini menunjukkan efektivitas material dalam menyerap ion Cu dari air tercemar sebesar 60,26%. Kemampuan adsorpsi ini berkaitan dengan kehadiran gugus amina ($-NH_2$) pada kitosan yang berperan sebagai situs pengikatan ion logam melalui interaksi ionik. Pada penelitian Li et al. (2011), dijelaskan tentang kitosan yang dimodifikasi dengan material berpori seperti karbon, memiliki kemampuan pengikatan yang tinggi terhadap logam berat seperti Cu melalui pembentukan ikatan koordinasi antara ion Cu dengan gugus $-NH_2$ dan -OH pada kitosan. Hal ini juga disebabkan oleh porositas tinggi pada karbon aktif yang meningkatkan area kontak dengan polutan[11]. Temuan ini juga sejalan dengan penelitian oleh Fan et al. (2018), yang mengungkapkan bahwa kitosan memiliki afinitas tinggi terhadap ion logam berat seperti Cu. Terutama saat kitosan dimodifikasi dengan material berpori tinggi seperti karbon aktif. Kombinasi tersebut dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi melalui peningkatan luas permukaan[10]. Selain itu, Li et al. (2015) dalam penelitiannya juga melaporkan bahwa modifikasi kitosan dengan material tambahan dapat meningkatkan

kapasitas adsorpsi hingga dua kali lipat. Terlebih untuk adsorpsi ion-ion logam dengan ukuran molekul kecil seperti Cu, yang lebih mudah terikat pada permukaan berpori[17].

Dibandingkan dengan adsorben berbasis kitosan lain yang dikombinasikan dengan material sintetis seperti graphene [17] atau kitosan magnetik [14], kitosan dari cangkang rajungan yang dikombinasikan dengan karbon aktif dari tongkol jagung menunjukkan hasil yang sebanding atau bahkan lebih tinggi dalam kapasitas adsorpsi ion Cu dengan biaya dan dampak lingkungan yang lebih rendah. Secara keseluruhan, kemampuan komposit kitosan cangkang rajungan-karbon aktif ini dalam menyerap ion Cu dari air sungai yang tercemar menunjukkan potensi besar untuk aplikasi dalam pengolahan limbah air yang berkelanjutan. Dengan memanfaatkan bahan baku alami yang tersedia secara lokal dan ekonomis, pada penelitian ini di dapatkan solusi ramah lingkungan yang efektif untuk mengatasi pencemaran logam berat di lingkungan perairan.

4. SIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa komposit kitosan yang berasal dari cangkang rajungan (*Portunus pelagicus*) dan karbon aktif yang dihasilkan dari limbah tongkol jagung memiliki efektivitas sebesar 60,26% sebagai adsorben logam berat, khususnya untuk ion Cu berdasarkan karakterisasi *Atomic Atom Spectra* (AAS). Proses deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi pada kitosan berhasil meningkatkan derajat deasetilasi sebesar 76% berdasarkan hasil FTIR. Dihasilkan material dengan gugus fungsional baik kitosan maupun karbon aktif yaitu gugus hidroksil (-OH) dan amina ($-NH_2$) dari pengujian FTIR, gugus ini dapat secara optimal mampu berinteraksi dengan ion logam. Selain itu, karbon aktif dari tongkol jagung yang melalui proses aktivasi terbukti memberikan luas permukaan dan porositas tinggi. Hal ini berfungsi untuk memperbesar kapasitas adsorpsi komposit terhadap ion Cu dari air tercemar. Oleh karena itu, kitosan-karbon aktif dari sumber ini memiliki potensi besar untuk diterapkan dalam sistem pengelolaan air limbah industri maupun lingkungan perairan terbuka yang tercemar.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Li *et al.*, “An environment-friendly and multi-functional absorbent from chitosan for organic pollutants and heavy metal ion,” *Carbohydrate Polymers*, vol. 148, pp. 272–280, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.carbpol.2016.04.070.

[2] A. M. Omer, R. Dey, A. S. Eltaweil, E. M. Abd El-Monaem, and Z. M. Ziora, “Insights into recent advances of chitosan-based adsorbents for sustainable removal of heavy metals and anions,” *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 15, no. 2, p. 103543, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.arabjc.2021.103543.

[3] U. Upadhyay, I. Sreedhar, S. A. Singh, C. M. Patel, and K. L. Anitha, “Recent advances in heavy metal removal by chitosan based adsorbents,” *Carbohydrate Polymers*, vol. 251, p. 117000, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.carbpol.2020.117000.

[4] Z. Sutirman, “CHITOSAN-BASED ADSORBENTS FOR THE REMOVAL OF METAL IONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS,” *MJAS*, vol. 22, no. 5, Oct. 2018, doi: 10.17576/mjas-2018-2205-11.

[5] A. M. Omer, R. Dey, A. S. Eltaweil, E. M. Abd El-Monaem, and Z. M. Ziora, "Insights into recent advances of chitosan-based adsorbents for sustainable removal of heavy metals and anions," *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 15, no. 2, p. 103543, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.arabjc.2021.103543.

[6] Md. H. Rahaman, Md. A. Islam, Md. M. Islam, Md. A. Rahman, and S. M. N. Alam, "Biodegradable composite adsorbent of modified cellulose and chitosan to remove heavy metal ions from aqueous solution," *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, vol. 4, p. 100119, 2021, doi: 10.1016/j.crgsc.2021.100119.

[7] M. Mende, D. Schwarz, C. Steinbach, R. Boldt, and S. Schwarz, "Simultaneous adsorption of heavy metal ions and anions from aqueous solutions on chitosan—Investigated by spectrophotometry and SEM-EDX analysis," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 510, pp. 275–282, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.colsurfa.2016.08.033.

[8] Munirah Muhaidin, Fatin Hana Naning, Juniza Md Saad, Rafeah Wahi, and Tasiu Zangina, "Heavy Metal Ion Adsorbent in Aqueous Solution: A Review on Chitosan and Chitosan Composites," *ARMNE*, vol. 18, no. 1, pp. 78–102, May 2024, doi: 10.37934/armne.18.1.78102.

[9] M. Ahmad, S. Ahmed, B. L. Swami, and S. Ikram, "Adsorption of heavy metal ions: role of chitosan and cellulose for water treatment," *Langmuir*, vol. 79, pp. 109–155, 2015.

[10] C. Fan, K. Li, Y. He, Y. Wang, X. Qian, and J. Jia, "Evaluation of magnetic chitosan beads for adsorption of heavy metal ions," *Science of The Total Environment*, vol. 627, pp. 1396–1403, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.033.

[11] X. Li, Y. Li, and Z. Ye, "Preparation of macroporous bead adsorbents based on poly(vinyl alcohol)/chitosan and their adsorption properties for heavy metals from aqueous solution," *Chemical Engineering Journal*, vol. 178, pp. 60–68, Dec. 2011, doi: 10.1016/j.cej.2011.10.012.

[12] W. S. Wan Ngah, L. C. Teong, and M. A. K. M. Hanafiah, "Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review," *Carbohydrate Polymers*, vol. 83, no. 4, pp. 1446–1456, Feb. 2011, doi: 10.1016/j.carbpol.2010.11.004.

[13] M. Vakili *et al.*, "Regeneration of chitosan-based adsorbents used in heavy metal adsorption: A review," *Separation and Purification Technology*, vol. 224, pp. 373–387, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.seppur.2019.05.040.

[14] K. Wang, F. Zhang, K. Xu, Y. Che, M. Qi, and C. Song, "Modified magnetic chitosan materials for heavy metal adsorption: a review," *RSC Adv.*, vol. 13, no. 10, pp. 6713–6736, 2023, doi: 10.1039/D2RA07112F.

[15] F.-C. Wu, R.-L. Tseng, and R.-S. Juang, "A review and experimental verification of using chitosan and its derivatives as adsorbents for selected heavy metals," *Journal of Environmental Management*, vol. 91, no. 4, pp. 798–806, Mar. 2010, doi: 10.1016/j.jenvman.2009.10.018.

[16] Q. Zia, M. Tabassum, H. Gong, and J. Li, "A Review on Chitosan for the Removal of Heavy Metals Ions," *JFBI*, vol. 12, no. 3, pp. 103–128, Sep. 2019, doi: 10.3993/jfbim00301.
[17] X. Li, H. Zhou, W. Wu, S. Wei, Y. Xu, and Y. Kuang, "Studies of heavy metal ion adsorption on Chitosan/Sulfydryl-functionalized graphene oxide composites," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 448, pp. 389–397, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.jcis.2015.02.039.