Sintesis Dan Karakterisasi Hidrogel Berbasis Selulosa untuk Aplikasi Kesehatan

Al Insyirah Intah[1], ZahraMaharani S.N[1], Muh. Mufli Ajuddin[1], Muhammad Syahrir[2]*

[1]Program Studi Sarjana Kimia, Departemen Kimia, Universitas Negeri Makassar, Makassar, Indonesia
[2]Depatemen Kimia, Universitas Negeri Makassar, Makassar, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: 27 Januari 2025
Accepted: 17 Februari 2025
Online Publised: 27 Februari 2025

KEYWORD

Keywords: *Hidrogel, Isolasi, Selulosa, Kesehatan*

CORRESPONDING AUTHOR

E-mail: m.syahrir@unm.ac.id

A B S T R A C T

Hidrogel selulosa telah menarik perhatian luas dalam bidang kesehatan karena sifatnya yang biokompatibel, biodegradable, dan memiliki kapasitas penyerapan air yang tinggi. Studi ini membahas sintesis hidrogel selulosa melalui berbagai metode, termasuk fermentasi bakteri, modifikasi kimia, dan kombinasi dengan polimer lain untuk meningkatkan sifat mekanik serta bioaktivitasnya. Aplikasi utama hidrogel selulosa meliputi pembalut luka, sistem penghantaran obat, dan rekayasa jaringan, di mana material ini berperan dalam mempercepat regenerasi sel dan meningkatkan efisiensi terapi. Meskipun memiliki keunggulan signifikan, tantangan seperti stabilitas jangka panjang dan kemampuan pelepasan obat yang terkontrol masih perlu disempurnakan. Dengan kemajuan teknologi material, hidrogel selulosa terus menunjukkan potensi besar dalam inovasi medis, menawarkan solusi yang lebih efektif dan ramah lingkungan dalam terapi kesehatan.

PENDAHULUAN

Hidrogel adalah jaringan polimer yang mampu menyerap air dalam jumlah besar tanpa terlarut atau merusak struktur polimernya (Thambi, 2017). Hidrogel umumnya dimanfaatkan dalam berbagai industri, termasuk medis, farmasi, hortikultura, dan pertanian. Hidrogel dapat diklasifikasikan dengan berbagai cara berdasarkan bahan, teknik, dan penggunaannya. Metode standar yang digunakan untuk membentuk ikatan silang pada hidrogel meliputi polimerisasi secara kimia atau fisik (Yom-Tov, Seliktar and Bianco-Peled, 2016). Hidrogel secara bertahap semakin menarik perhatian para peneliti karena sifat alaminya yang cocok untuk berbagai aplikasi medis. Hidrogel dapat berperan sebagai memberikan stabilitas struktural pada rekayasa jaringan, mengatur pengiriman obat dan protein ke jaringan, berfungsi sebagai perekat atau penghalang antara jaringan dan permukaan material. Hidrogel yang berbasis polimer alami menawarkan berbagai keuntungan sebagai bahan utama dalam pembuatan hidrogel, termasuk biokompatibilitas, biodegradabilitas, kemampuan penyesuaian, kapasitas pengikatan molekuler, serta sifat bioaktifnya (Sayed, 2023).

Polisakarida meliputi berbagai macam bahan polimer berbasis gula yang menjadi dasar struktural bagi tumbuhan, miselium, dan beberapa animalia. Selulosa adalah polimer terbarukan dan biodegradable paling melimpah, serta dianggap sebagai komponen utama tanaman dan serat alami. Selain itu, selulosa merupakan alternatif yang ramah lingkungan terhadap bahan-bahan konvensional dan memiliki sifat-sifat yang menjadikannya sangat menarik untuk berbagai aplikasi (Klemm et al., 2005). Hidrogel berbasis polimer alami lebih unggul karena biayanya yang rendah, biokompatibilitas yang baik, dan sifat biodegradabilitasnya. Di sisi lain, hidrogel polimer berbasis sintetis lebih sulit diproduksi dibandingkan berbasis alami baik dari segi sumber, teknik, maupun penerapannya (Yin, Ahmad and Mohd Amin, 2015).

Dengan mempertimbangkan potensi luas penggunaan material baru, artikel ini menyajikan informasi mengenai hidrogel cerdas berbasis selulosa yang mampu menyesuaikan karakteristiknya sebagai respons terhadap perubahan lingkungan, serta menjelaskan berbagai kemungkinan penerapannya di berbagai bidang. Berdasarkan hal tersebut, artikel ini membahas metode sintesis dan aplikasi hidrogel berbasis selulosa. Berdasarkan alasan di atas, maka tujuan dari review ini untuk mempelajari dan mendeskripsikan lebih jauh tentang eksplorasi senyawa fukosantin dari alga yang meliputi, bagaimana teknik ekstraksi dan isolasi dari senyawa

fukosantin dari alga, serta uraian tentang aplikasi-aplikasi senyawa fukosantin dalam bidang kesehatan.

METODE

Metode penelitian yang dilakukan adalah literature review mengenai kandungan fukosantin dari alga dan manfaatnya dibidang kesehatan. Artikel yang digunakan berasal dari berbagai database yaitu Google Scholar, MDPI, SciencDirect dan PubMed yang diterbitkan pada tahun 2014 hingga 2024. Metode pengolahan data dilakukan dengan mengumpulkan hasil penelitian mengenai topik yang dibahas. Berbagai hal yang menyangkut kandungan kimia dan manfaatnya akan dijelaskan secara sederhana dengan analisis deskriptif. Tujuan artikel ini adalah untuk polimer dan karakterisasi hidrogel berbasis selulosa. Salah satu metode untuk menemukan artikel adalah dengan menggunakan publikasi ilmiah dari jurnal nasional dan internasional sebagai kriteria pencarian. Reviewer kemudian memilih artikel berdasarkan kesesuaian judul dan abstrak, dengan tujuan agar tinjauan sistematis ini dapat merangkum inti dari sintesis dan karakterisasi hidrogel berbasis selulosa.

HASIL & PEMBAHASAN

Selulosa

Selulosa adalah polimer alami yang paling melimpah di bumi, berfungsi sebagai komponen utama dinding sel tumbuhan. Secara kimia, selulosa terdiri dari rantai panjang unit glukosa yang terhubung melalui ikatan β-1,4-glikosidik, membentuk struktur linear yang memungkinkan pembentukan ikatan hidrogen antar rantai, menghasilkan serat yang kuat dan stabil. Setiap unit glukosa memiliki tiga gugus hidroksil (−OH) yang berperan penting dalam reaktivitas kimia selulosa. Gugus hidroksil pada atom karbon C6 bersifat primer, sedangkan pada C2 dan C3 bersifat sekunder, dengan perbedaan reaktivitas dan keasaman yang mempengaruhi sifat kimia selulosa. Reaktivitas selulosa dapat ditingkatkan melalui proses penggembungan, di mana penyerapan air atau pelarut tertentu menyebabkan pembengkakan struktur selulosa, memudahkan pereaksi kimia mencapai area kristalin. Sebagai contoh, dalam proses asetilasi, penggembungan selulosa meningkatkan kecepatan reaksi, menghasilkan derivat seperti selulosa asetat yang memiliki aplikasi luas dalam industri.

Sifat fisik dan kimia selulosa sangat dipengaruhi oleh derajat kristalinitasnya. Struktur kristal selulosa I adalah bentuk alami yang ditemukan pada tumbuhan, dengan susunan rantai yang teratur dan ikatan hidrogen yang kuat, memberikan kekuatan mekanik tinggi. Melalui modifikasi kimia, seperti asetilasi, struktur kristal selulosa dapat diubah menjadi bentuk yang lebih amorf, meningkatkan sifat seperti kelarutan dan fleksibilitas. Karakterisasi selulosa dan derivatnya dilakukan menggunakan berbagai teknik analisis. Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (FTIR) digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan memastikan keberhasilan modifikasi kimia, seperti pendeteksian gugus karbonil (C=O) pada selulosa asetat. Analisis Difraksi Sinar-X (XRD) digunakan untuk menentukan struktur kristal dan derajat kristalinitas, membantu memahami perubahan struktur akibat modifikasi kimia.

Penelitian terbaru telah mengeksplorasi isolasi dan karakterisasi selulosa dari berbagai sumber biomassa, seperti tandan kosong kelapa sawit dan jerami padi. Metode isolasi melibatkan proses delignifikasi dan hidrolisis untuk memisahkan selulosa dari komponen lain seperti lignin dan hemiselulosa. Karakterisasi produk akhir memastikan kemurnian dan sifat fisik selulosa yang dihasilkan, yang penting untuk aplikasi lebih lanjut dalam pembuatan bioplastik dan material komposit.

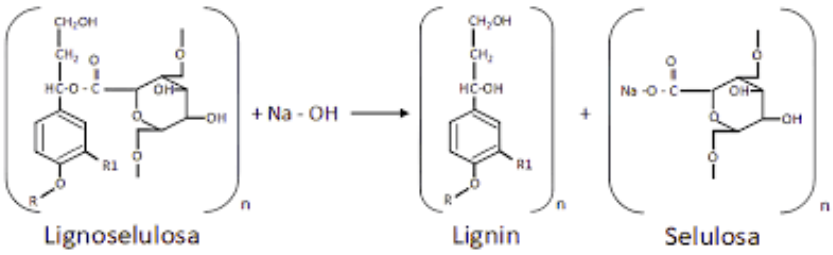
Isolasi Selulosa dari Bahan Alam

Isolasi selulosa dari bahan alam merupakan salah satu pendekatan utama dalam pemanfaatan sumber daya hayati untuk aplikasi industri yang berkelanjutan. Selulosa ditemukan sebagai komponen utama dalam dinding sel tumbuhan bersama dengan lignin dan hemiselulosa. Untuk memperoleh selulosa dengan kemurnian tinggi, diperlukan proses isolasi yang melibatkan perlakuan kimia maupun fisik. Metode yang umum digunakan mencakup perlakuan alkali, pemutihan (bleaching), dan penggunaan teknologi enzimatis (Sun et al., 2004).

Metode perlakuan alkali sering digunakan untuk menghilangkan hemiselulosa dan lignin dari biomassa lignoselulosa. Proses ini biasanya dilakukan dengan menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH) dalam berbagai konsentrasi. Misalnya, penelitian oleh Poletto et al. (2012) menunjukkan bahwa perlakuan alkali pada serat kayu dengan NaOH 5% dapat meningkatkan kandungan selulosa hingga 70%. Selain itu, kombinasi perlakuan alkali dengan metode pemutihan menggunakan hidrogen peroksida (H_2O_2) telah terbukti efektif dalam meningkatkan kemurnian selulosa hingga 85% (Li et al., 2010).

Setelah proses alkalisasi, tahap pemutihan dilakukan untuk menghilangkan sisa lignin yang masih menempel pada serat selulosa. Proses pemutihan sering menggunakan agen oksidatif seperti H_2O_2 atau natrium hipoklorit (NaClO). Sebuah penelitian yang dilakukan oleh Liu et al. (2018) menemukan bahwa pemutihan dengan H_2O_2 pada suhu 80°C selama 2 jam dapat meningkatkan kemurnian selulosa dari 75% menjadi 90%, tergantung pada jenis biomassa yang digunakan. Selain metode kimia, metode fisika seperti steam explosion dan ball milling juga mulai banyak diterapkan untuk meningkatkan efisiensi isolasi selulosa. Menurut penelitian oleh Chen et al. (2016), perlakuan dengan steam explosion mampu meningkatkan aksesibilitas enzim pada struktur lignoselulosa, sehingga mempercepat proses hidrolisis. Metode ini juga menghasilkan selulosa dengan derajat polimerisasi yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan kimia konvensional. Selain itu, pendekatan berbasis bioteknologi telah dikembangkan untuk mengurangi dampak lingkungan dari proses isolasi selulosa. Penggunaan enzim selulase untuk mendegradasi komponen lignoselulosa telah menunjukkan hasil yang menjanjikan. Studi yang dilakukan oleh Kumar et al. (2013) menunjukkan bahwa kombinasi enzim selulase dan xilanase dapat meningkatkan efisiensi isolasi selulosa hingga 92%, dengan residu lignin yang sangat rendah. Metode ini menawarkan pendekatan yang lebih ramah lingkungan dibandingkan metode kimia konvensional.

Secara keseluruhan, pemilihan metode isolasi selulosa bergantung pada jenis biomassa yang digunakan, efisiensi proses, serta dampak lingkungan yang ditimbulkan. Pengembangan metode yang lebih ramah lingkungan, seperti penggunaan pelarut eutektik dalam (Deep Eutectic Solvents, DES), semakin mendapat perhatian sebagai alternatif inovatif untuk ekstraksi selulosa dari sumber daya hayati (Tang et al., 2020). Dengan demikian, optimalisasi teknik isolasi selulosa akan terus berkembang seiring dengan meningkatnya permintaan terhadap material berbasis selulosa dalam berbagai aplikasi industri.



Gambar 1. Reaksi isolasi selulosa dengan NaOH

Penelitian oleh Nursid et al. (2015) berfokus pada isolasi fukosantin dari Padina australis. Proses isolasi dimulai dengan maserasi menggunakan campuran aseton dan metanol (7:3 v/v) selama 24 jam, diikuti dengan pemisahan fraksi menggunakan partisi metanol-air dan n-heksana. Fraksi metanol-air kemudian dimurnikan melalui kromatografi kolom silika gel dengan eluen n-heksana dan aseton (6:4 v/v). Identifikasi fukosantin dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan LC-IT-ToF-MS, menunjukkan panjang gelombang maksimum pada 447 nm dan ion molekul dengan m/z 659,3612 [M+H]. Uji sitotoksisitas menunjukkan bahwa fukosantin memiliki efek sitotoksik terhadap sel kanker payudara MCF7 dengan nilai IC50 sebesar 34,7 µg/ml, namun relatif tidak toksik terhadap sel normal Vero dengan IC50 sebesar 1071,6 µg/ml.

Sodik et al. (2020) meneliti ekstraksi dan purifikasi fukosantin dari Sargassum sp.. Ekstraksi dilakukan dengan metode maserasi menggunakan etanol 96% selama 24 jam. Setelah

filtrasi, ekstrak diuapkan hingga menjadi pasta, kemudian dimurnikan menggunakan kromatografi kolom dengan fase diam silika gel dan eluen n-heksana:aseton dengan perbandingan tertentu. Uji aktivitas antioksidan dilakukan menggunakan metode DPPH, menunjukkan bahwa fukosantin hasil isolasi memiliki aktivitas antioksidan yang signifikan. Penelitian lain oleh Husni et al. (2014) berhasil mengisolasi fukosantin dari Sargassum duplicatum dan Turbinaria decurrens. Ekstraksi dilakukan menggunakan pelarut metanol, diikuti dengan pemurnian melalui kromatografi kolom. Spektra UV-Vis dari ekstrak murni menunjukkan kehadiran fukosantin. Uji aktivitas antioksidan menunjukkan bahwa fukosantin memiliki potensi sebagai senyawa antioksidan yang efektif.

Tabel 1. Metode ekstraksi/isolasi senyawa selulosa dari bahan alam

Metode Isolasi	Deskripsi	Referensi
Perlakuan Alkali	Menggunakan NaOH untuk menghilangkan hemiselulosa dan lignin, meningkatkan kandungan selulosa hingga 70%.	Poletto et al., 2012
Bleaching	Menggunakan agen seperti H_2O_2 atau NaClO untuk meningkatkan kemurnian selulosa hingga 90%.	Liu et al., 2018
Metode Fisik	Steam explosion dan ball milling meningkatkan aksesibilitas enzim pada struktur lignoselulosa.	Chen et al., 2016
Metode Bioteknologi	Penggunaan enzim selulase dan xilanase dapat meningkatkan efisiensi isolasi selulosa hingga 92%.	Kumar et al., 2013
Pendekatan Inovatif	Penggunaan pelarut eutektik dalam (DES) sebagai metode hijau untuk isolasi selulosa.	Tang et al., 2020

Sintesis Hidrogel Berbasis Selulosa

Crosslinking (Agen Pengikat Silang)

Beberapa turunan selulosa yang telah dikembangkan untuk mensintesis hidrogel meliputi metilselulosa (MC), hidroksi etil selulosa (HEC), hidroksipropil selulosa (HPC), hidroksipropil metilselulosa (HPMC), dan karboksimetil selulosa natrium (CMCNa). Turunan-turunan ini diketahui sebagai turunan selulosa yang larut dalam air. Agen pengikat silang digunakan dalam sintesis hidrogel untuk membentuk jaringan tiga dimensi hidrogel melalui proses ikatan silang kimia, ikatan fisik, ikatan ionik, dan ikatan hidrogen. Ikatan silang kimia adalah pembentukan ikatan kimia antara rantai molekul untuk membentuk jaringan tiga dimensi yang menghubungkan molekul. Tergantung pada turunan selulosa yang digunakan, beberapa agen pengikat silang dapat digunakan untuk membentuk hidrogel, termasuk ECH, reagen berbasis aldehida, turunan urea, dan asam karboksilat multifungsi . Namun, beberapa reagen, seperti aldehida, bersifat toksik dalam keadaan tidak bereaksi. Meskipun bahan kimia yang tidak bereaksi biasanya dihilangkan setelah pengikatan silang dengan pencucian ekstensif menggunakan air suling, sebagai aturan, pengikatan silang yang toksik harus dihindari untuk menjaga biokompatibilitas hidrogel akhir untuk memastikan produksi yang ramah lingkungan (Nasution, et. al, (2022).

Adapun contoh penelitian sintesis hydrogel berbasis selulosa menggunakan crosslinking, menurut Zhang dan Qiao (2021) berhasil mensintesis hidrogel dengan CMCNa sebagai polimer dan ECH sebagai agen pengikat silang. Di dalam tanah, penambahan polimer penyerap super (SAP) dapat menurunkan penguapan dan perkolasi air. Namun, daya serap air berulang (RWA) dan toleransi garam dari SAP yang disiapkan tidak memenuhi persyaratan penggunaannya. Penelitian ini menguji efek kation valensi (Na+, Ca2+, dan Al3+) pada variasi struktural hidrogel berbasis CMCNa yang diikat silang dengan ECH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, karena keberadaan lebih banyak gugus karboksil, penambahan NaOH yang lebih tinggi menghasilkan daya serap air (WA) yang lebih tinggi. Ditemukan bahwa sampel dengan 5% CMCNa dan 3% NaOH merupakan hidrogel yang memenuhi syarat dengan WA 969,0 g/g dalam air deionisasi. Dalam larutan, sifat hidrofilisitas dan ketahanan garam sampel menurun dengan meningkatnya

valensi kation. Dalam sampel, penambahan Na + mengakibatkan penggantian H + dari gugus karboksil. Koordinasi Ca2 + dan gugus karboksil adalah penjembatan tridentat dan khelasi bidentat untuk Al3 + dan gugus karboksil. Penambahan kation polivalen menguntungkan stabilisasi gugus karboksil, tetapi menghasilkan WA yang lebih rendah karena kemampuan pembengkakan sampel CMCNa yang terhambat. Ikatan silang oleh suatu bahan kimia pada hidrogel biasanya terfokus pada ikatan antara polimer dan zat pengikat silang. Gugus fungsi tertentu dari bahan pengikat silang menentukan sifat hidrogel terutama kekuatan mekaniknya. Polimer dengan gugus hidroksil dapat berikatan silang dengan glutaraldehid dalam kondisi ekstrim: pH rendah, suhu tinggi, dan metanol ditambahkan sebagai pemadam. Dalam pembuatan hidrogel, pengikatan silang fisik merupakan teknik yang menarik karena jenis bahan pengikat silang yang digunakan. Selain itu, ikatan silang fisik tidak mengganggu organisme hidup (jika digunakan dalam pemberian obat) dan memperbaiki struktur hidrogel. Ada beberapa metode berbeda yang digunakan dalam pengikatan silang fisik (Zainal, et. al, (2021).

Ikatan silang radiasi melibatkan pemaparan hidrogel berbasis selulosa terhadap radiasi pengion seperti sinar gamma, sinar-X, atau berkas elektron, yang menciptakan radikal bebas yang bereaksi dan membentuk ikatan silang antara rantai polimer. Keuntungan dari ikatan silang radiasi adalah tidak memerlukan agen ikatan silang kimia apa pun, dan dapat digunakan untuk mengikat silang hidrogel dengan cara yang terkendali dan homogen. Sementara ikatan silang radiasi merupakan teknik yang berguna untuk mensintesis CBH, teknik ini memiliki keterbatasan seperti memerlukan peralatan dan fasilitas khusus, potensi kerusakan pada rantai polimer, merupakan proses yang memakan waktu, dan biaya tinggi. Di sisi lain, polimerisasi radikal melibatkan penggunaan inisiator kimia yang menghasilkan radikal bebas, yang kemudian bereaksi dengan monomer untuk membentuk rantai polimer yang berikatan silang dengan jaringan hidrogel berbasis selulosa. Keuntungan dari polimerisasi radikal adalah memungkinkan kontrol tingkat tinggi atas proses ikatan silang, yang memungkinkan penyetelan yang tepat dari sifat-sifat hidrogel yang dihasilkan (Singh, et. al, 2023).

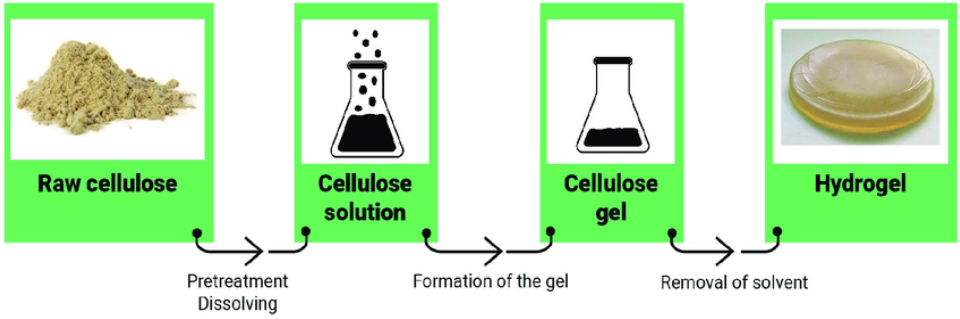
Grafting (Cangkok)

Kopolimerisasi adalah proses reaksi polimerisasi yang melibatkan lebih dari satu jenis polimer, di mana setidaknya dua monomer berkontribusi dalam pembentukan rantai polimer. Hasil dari proses ini adalah rantai polimer yang terdiri dari dua monomer tersebut. Salah satu metode dalam kopolimerisasi adalah kopolimerisasi cangkok (grafting), yang melibatkan polimerisasi dua atau lebih polimer, dengan struktur yang terdiri dari rantai utama (backbone) dan rantai cabang (monomer). Proses dimulai dengan aktivasi rantai utama, yang kemudian digunakan untuk polimerisasi monomer lain, sehingga menghasilkan grafting pada polimer tersebut. Pembentukan pusat aktif pada rantai utama bisa dilakukan melalui berbagai teknik, seperti radiasi, penggunaan sinar ultraviolet, atau secara kimia dengan bantuan zat inisiator. Dalam pencangkokan secara kimia, digunakan bahan kimia inisiator untuk memulai reaksi polimerisasi serta bahan pembentuk ikatan silang (crosslinker). Peran bahan pembentuk ikatan silang sangat penting karena mereka membantu membentuk hidrogel, yang berfungsi untuk mencegah pembubaran rantai polimer hidrofilik ketika berada dalam lingkungan berair. Dengan demikian, proses ini memungkinkan penciptaan material yang lebih stabil dan fungsional dalam aplikasi tertentu. Pada prinsipnya, metode pencangkokan untuk CBH memerlukan penempelan kovalen rantai polimer seperti polietilen glikol (PEG) atau poli (asam akrilik) (PAA) ke permukaan jaringan hydrogel. Penempelan kovalen ini dicapai melalui berbagai teknik seperti pencangkokan kimia, pencangkokan yang diinduksi radiasi, atau pencangkokan enzimatik. pencangkokan digunakan untuk memperkenalkan gugus fungsi ke dalam hidrogel, yang memungkinkan pengembangan hidrogel pintar yang merespons rangsangan eksternal seperti pH atau suhu (Singh, et. al, 2023).

Reaksi Esterifikasi

Reaksi Esterifikasi Gugus hidroksil pada selulosa dan gugus hidroksil serta gugus karboksil yang terkandung dalam turunannya memungkinkan pembuatan hidrogel berbasis selulosa melalui esterifikasi. Hidrogel selulosa superabsorben disiapkan melalui esterifikasi dan ikatan silang 1, 2, 3, dan 4-butana asam trikarboksilat dianhidrida dalam sistem pelarut litium klorida/n-metil-2-pirolidon. Hidrogel karboksimetil selulosa/hidroksi etil selulosa disiapkan

melalui esterifikasi menggunakan karboksimetil selulosa (CMC) dan hidroksi etil selulosa (HEC) sebagai bahan baku dan natrium sitrat (CA) sebagai agen ikatan silang. Karena bahan baku yang digunakan dapat diperbarui dan mudah terurai, hidrogel dapat digunakan dalam bidang pertanian dan biomedis. Senna et al., menggunakan selulosa asetat (DS) sebagai bahan baku dan dikatalisis oleh trietilamina, diikat silang dengan etilendiamin tetraasetat anhidrida (EDTAD), menyiapkan hidrogel yang dapat digunakan sebagai agen penahan air tanah (Sun, et. al, 2024).



Gambar 2. Skema proses pembentukan hydrogel selulosa

Aplikasi Hidrogel Berbasis Selulosa dalam bidang kesehatan

Hidrogel selulosa merupakan material berbasis polimer yang memiliki kemampuan menyerap air dalam jumlah besar sambil mempertahankan struktur tiga dimensinya. Karakteristik ini menjadikannya sangat berguna dalam berbagai aplikasi kesehatan, terutama dalam pengobatan luka, sistem penghantaran obat, dan rekayasa jaringan (Zhao et al., 2022). Hidrogel selulosa dapat diperoleh dari berbagai sumber, baik secara alami maupun melalui modifikasi kimiawi, seperti selulosa bakteri dan selulosa yang dimodifikasi dengan gugus hidrofilik untuk meningkatkan kapasitas penyerapan air serta kompatibilitas biologisnya (Wang et al., 2021).

Salah satu aplikasi utama hidrogel selulosa dalam bidang kesehatan adalah sebagai pembalut luka. Hidrogel ini dapat mempertahankan kelembapan yang optimal pada area luka, yang sangat penting untuk mempercepat proses penyembuhan dan mengurangi risiko infeksi (Ahmad et al., 2020). Selain itu, hidrogel selulosa dapat difungsikan sebagai matriks yang mengandung agen antimikroba atau faktor pertumbuhan, yang mampu meningkatkan regenerasi jaringan (Liu et al., 2021). Keunggulan lainnya adalah sifatnya yang transparan, memungkinkan pemantauan kondisi luka tanpa harus melepas pembalut, sehingga meminimalkan gangguan pada jaringan yang sedang dalam proses penyembuhan. Di samping itu, hidrogel selulosa juga digunakan dalam sistem penghantaran obat yang dikendalikan. Struktur pori yang dapat dimodifikasi memungkinkan pelepasan obat secara bertahap, sehingga meningkatkan efektivitas terapeutik serta mengurangi efek samping akibat lonjakan dosis (Guo et al., 2019). Penggunaan hidrogel berbasis selulosa dalam penghantaran obat telah diterapkan dalam formulasi transdermal, oftalmik, dan oral, di mana sifatnya yang biokompatibel dan biodegradable menjadikannya pilihan yang aman dalam sistem farmasi modern (Chen et al., 2021).

Dalam bidang rekayasa jaringan, hidrogel selulosa berperan sebagai kerangka (scaffold) untuk pertumbuhan sel dan regenerasi jaringan. Karakteristik mekaniknya yang dapat disesuaikan serta kemampuannya dalam mendukung adhesi dan proliferasi sel menjadikannya ideal untuk rekonstruksi jaringan lunak maupun keras (Huang et al., 2020). Selain itu, hidrogel selulosa yang dikombinasikan dengan biomaterial lain, seperti kolagen atau polimer sintetis, telah digunakan untuk meningkatkan diferensiasi sel punca dalam terapi regeneratif (Zhang et al., 2022). Keunggulan hidrogel selulosa dibandingkan material hidrogel lainnya adalah sifatnya yang berasal dari sumber hayati, ramah lingkungan, serta dapat dimodifikasi secara struktural dan kimiawi untuk berbagai aplikasi biomedis. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa hidrogel selulosa dapat meningkatkan efisiensi terapi dengan mengurangi efek samping dan meningkatkan ketersediaan hayati obat atau faktor pertumbuhan (Xie et al., 2021). Dengan berkembangnya teknologi material dan biomedis, diharapkan bahwa hidrogel selulosa akan semakin banyak diterapkan dalam terapi medis modern. Dengan demikian, hidrogel selulosa

memiliki potensi besar dalam berbagai aplikasi kesehatan, mulai dari perawatan luka hingga rekayasa jaringan. Perkembangan lebih lanjut dalam teknik sintesis dan modifikasi akan semakin meningkatkan efektivitas serta efisiensi hidrogel ini dalam dunia medis. Oleh karena itu, riset lebih lanjut sangat diperlukan untuk mengeksplorasi inovasi baru dalam penerapan hidrogel selulosa, baik dalam sistem penghantaran obat yang lebih canggih maupun dalam aplikasi regeneratif yang lebih spesifik.

Tabel 2. Aplikasi beberapa jenis hydrogel selulosa dalam bidang kesehatan

Jenis Hidrogel	Metode Sintesis Hidrogel	Keunggulan	Aplikasi dalam Bidang Kesehatan
Hidrogel Selulosa Murni	Sintesis dari selulosa alami melalui hidrasi dan pengeringan	Biodegradabel, biokompatibel, dan dapat menyerap air dalam jumlah besar	Pembalut luka, sistem penghantaran obat transdermal
Hidrogel Selulosa Bakteri	Fermentasi bakteri *Gluconacetobacter xylinus*	Struktur nano-fibrosa, kekuatan mekanik tinggi, transparan	Rekayasa jaringan, pembalut luka, perancah untuk pertumbuhan sel
Hidrogel Selulosa Termodifikasi	Modifikasi kimiawi dengan gugus hidrofilik (karboksimetilasi, sulfonasi)	Kapasitas penyerapan air lebih tinggi, interaksi lebih baik dengan obat	Sistem penghantaran obat oral dan oftalmik
Hidrogel Selulosa-Komposit	Kombinasi dengan polimer lain (kolagen, kitosan, alginat)	Peningkatan sifat mekanik dan bioaktivitas	Rekayasa jaringan, scaffold untuk diferensiasi sel punca
Hidrogel Selulosa dengan Agen Antimikroba	Impregnasi dengan nanopartikel perak, ZnO, atau antibiotik	Aktivitas antimikroba tinggi, mempercepat penyembuhan luka	Pembalut luka untuk luka kronis dan terinfeksi

KESIMPULAN

Sintesis hidrogel selulosa untuk aplikasi kesehatan menawarkan material biokompatibel dengan kemampuan menyerap air tinggi, menjadikannya ideal untuk pembalut luka, sistem penghantaran obat, dan rekayasa jaringan. Metode sintesisnya mencakup fermentasi bakteri, modifikasi kimiawi, serta kombinasi dengan polimer lain untuk meningkatkan sifat mekanik dan bioaktivitasnya. Keunggulannya meliputi biodegradabilitas, fleksibilitas struktural, serta kompatibilitas dengan agen terapeutik, meskipun tantangan seperti stabilitas jangka panjang masih perlu diatasi. Dengan kemajuan teknologi material, hidrogel selulosa terus menunjukkan potensi besar dalam bidang medis, terutama dalam terapi regeneratif dan sistem penghantaran obat yang lebih efektif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Bagian berisi ucapan terima kasih kepada pihak yang berperan aktif dalam penulisan artikel review ini. Terima kasih kepada Kepala Laboratorium TLM Poltekkes Muhammadiyah makassar atas bimbingannya dalam penulisan artikel.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, E. M. (2015). Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review.

Journal of Advanced Research, 6(2), 105-121. https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006

Chang, C., & Zhang, L. (2011). Cellulose-based hydrogels: Present status and application prospects. Carbohydrate Polymers, 84(1), 40-53. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.12.023

Czaja, W., Krystynowicz, A., & Bielecki, S. (2006). Microbial cellulose—the natural power to heal wounds. Biomaterials, 27(2), 145-151. https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.07.035

Dutta, S. D., Patel, D. K., & Lim, K. T. (2019). Functional cellulose-based hydrogels as extracellular matrices for tissue engineering. Journal of Biological Engineering, 13(1), 1-20. https://doi.org/10.1186/s13036-019-0180-5

Gorgieva, S., & Trček, J. (2019). Bacterial cellulose: Production, modification and perspectives in biomedical applications. Nanomaterials, 9(10), 1352. https://doi.org/10.3390/nano9101352

Jiang, G., Zhang, Q., & Jiang, L. (2019). Recent advances in cellulose-based hydrogels for biomedical applications. Carbohydrate Polymers, 224, 115119. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115119

Jia, Y. T., Gong, J., & Gu, X. H. (2007). Fabrication and characterization of poly (vinyl alcohol)/chitosan blend nanofibers produced by electrospinning method. Carbohydrate Polymers, 67(3), 403-409. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.06.010

Keshk, S. M. (2014). Bacterial cellulose production and its industrial applications. Journal of Bioprocessing & Biotechniques, 4(2), 1-10. https://doi.org/10.4172/2155-9821.1000150

Klemm, D., Heublein, B., & Fink, H. P. (2005). Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material. Angewandte Chemie International Edition, 44(22), 3358-3393. https://doi.org/10.1002/anie.200460587

Kumar, A., Han, S. S., & Purohit, S. D. (2020). Bacterial cellulose and its versatile applications in the field of wound healing and tissue engineering. Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition, 31(6), 718-745. https://doi.org/10.1080/09205063.2020.1726763

Li, X., & Yang, X. (2021). Recent advances in cellulose-based hydrogels for biomedical applications. Progress in Polymer Science, 116, 101388. https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2020.101388

Lin, W. C., Lien, C. C., & Yeh, H. J. (2013). Bacterial cellulose and bacterial cellulose–chitosan membranes for wound dressing applications. Carbohydrate Polymers, 94(1), 603-611. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.01.076

Liu, Y., Huang, W., & Zhang, T. (2020). Bacterial cellulose-based hydrogels for biomedical applications: A review. International Journal of Biological Macromolecules, 154, 1319-1331. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.104

Pereira, R. F., & Bartolo, P. J. (2016). Bacterial cellulose polymers: An overview of their use in developing wound dressings. Biotechnology and Bioengineering, 113(7), 1527-1536. https://doi.org/10.1002/bit.25986

Sharma, C., Bhardwaj, N. K., & Sharma, D. K. (2020). Cellulose-based hydrogels for biomedical applications. International Journal of Biological Macromolecules, 135, 849-860. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.153

Sun, B., Zhang, M., & Shen, J. (2018). Recent progress in functional modification of cellulose hydrogels. Journal of Materials Chemistry B, 6(44), 7174-7191. https://doi.org/10.1039/C8TB02125A

Sulaeva, I., Henniges, U., & Rosenau, T. (2015). Bacterial cellulose as a material for wound treatment: Properties and modifications. A review. Biotechnology Advances, 33(8), 1547-1571. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.07.009

Ullah, F., Othman, M. B. H., & Javed, F. (2015). Classification, processing and application of hydrogels: A review. Materials Science and Engineering: C, 57, 414-433. https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.07.053

Wang, Z., Zhao, J., & Li, X. (2021). Modification strategies of cellulose-based hydrogels for biomedical applications. Materials Science & Engineering C, 121, 111820. https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.111820

Zhang, H., & Wang, Z. (2019). Recent development of the biocompatibility and bioapplications of cellulose and its derivatives. Carbohydrate Research, 480, 12-21. https://doi.org/10.1016/j.carres.2019.05.001

Zhao, X., Li, J., & Wang, Y. (2022). Functional cellulose hydrogels: Synthesis, properties, and applications in biomedicine. Progress in Polymer Science, 125, 101482. https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2021.101482

Zhang, Q., Wu, S., & Zhao, J. (2022). Recent advances in cellulose-based hydrogels for regenerative medicine. Advanced Healthcare Materials, 11(2), 2100984.

Zhao, X., Li, J., & Wang, Y. (2022). Functional cellulose hydrogels: Synthesis, properties, and applications in biomedicine. Progress in Polymer Science, 125, 101482