PENGARUH KONSENTRASI PENGIKAT SILANG ASAM SITRAT TERHADAP *SWELLING RATIO* HIDROGEL BERBASIS α-SELULOSA DARI PELEPAH NIPAH (*Nypa fruticans*)

EFFECT OF CITRIC ACID CROSSLINKING AGENT CONCENTRATION ON THE SWELLING RATIO OF α-CELLULOSE-BASED HYDROGELS DERIVED FROM NIPA PALM (*Nypa fruticans*) FRONDS

Oki Suherman[*1], Reni Tri Cahyani[1], Dena Pramita Dewi[2], Laode Muhamad Hazairin Nadia[3]

[1] Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Borneo Tarakan, Jl. Amal Lama No. 1 Tarakan, Kalimantan Utara
[2] Program Studi Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Borneo Tarakan, Jl. Amal Lama No. 1 Tarakan, Kalimantan Utara
[3] Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Halu Oleo, Jl. H.E.A Mokodompit Kampus Baru Anduonohu, Kendari, Sulawesi Tenggara
*e-mail: okisuherman20@gmail.com

ABSTRAK

Hidrogel merupakan material polimer tiga dimensi yang mampu menyerap dan mempertahankan air dalam jumlah besar di dalam struktur jaringannya. Sintesis hidrogel berbasis α-selulosa memerlukan agen pengikat silang, salah satunya adalah asam sitrat karena bersifat aman dan efektif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi asam sitrat sebagai agen pengikat silang terhadap *swelling ratio* hidrogel berbasis α-selulosa yang berasal dari pelepah nipah (*Nypa fruticans*). α-Selulosa diisolasi melalui proses delignifikasi menggunakan NaOH 10% yang dilanjutkan dengan pemutihan menggunakan H_2O_2 30%, kemudian disintesis menjadi hidrogel dengan penambahan karboksimetil selulosa (CMC) menggunakan variasi konsentrasi asam sitrat sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30% (b/v). Parameter yang dianalisis meliputi uji fitokimia, spektroskopi Fourier Transform Infrared (FTIR), dan *swelling ratio*. Data uji fitokimia dan spektrum FTIR dianalisis secara deskriptif, sedangkan data *swelling ratio* dianalisis secara statistik menggunakan uji One-Way ANOVA. Hasil uji fitokimia menunjukkan bahwa proses isolasi menurunkan kandungan senyawa fitokimia pada α-selulosa yang dihasilkan. Analisis FTIR mengonfirmasi keberhasilan isolasi α-selulosa yang ditunjukkan oleh munculnya pita serapan khas selulosa serta tidak ditemukannya pita serapan gugus karbonil dan aromatik. Hasil swelling ratio menunjukkan bahwa konsentrasi asam sitrat berpengaruh nyata terhadap kemampuan penyerapan air hidrogel ($p < 0,05$), dengan nilai *swelling ratio* tertinggi sebesar 592,66% yang diperoleh pada konsentrasi asam sitrat 20%. Oleh karena itu, konsentrasi asam sitrat 20% merupakan konsentrasi pengikat silang terbaik untuk menghasilkan hidrogel berbasis α-selulosa dari pelepah nipah pada rentang perlakuan yang diuji.

Kata kunci: CMC; Delignifikasi; FTIR; Selulosa; Sintesis Hidrogel

ABSTRACT

Hydrogels are three-dimensional polymeric materials capable of absorbing and retaining large amounts of water within their network structure. The synthesis of α-cellulose-based hydrogels requires a crosslinking agent, one of which is citric acid due to its safety and effectiveness. This study aimed to investigate the effect of citric acid concentration as a crosslinking agent on the swelling ratio of α-cellulose-based hydrogels derived from nipa palm (*Nypa fruticans*) fronds. α-Cellulose was isolated through delignification using 10% NaOH followed by bleaching with 30% H_2O_2 and subsequently synthesized into hydrogels with the addition of carboxymethyl

 © Hak Cipta oleh Jurnal Harpodon Borneo Tahun 2026

cellulose (CMC) using citric acid concentrations of 0%, 10%, 20%, and 30% (w/v). The analyzed parameters included phytochemical screening, Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy, and swelling ratio. Phytochemical screening and FTIR spectra were analyzed descriptively, whereas the swelling ratio was statistically analyzed using one-way ANOVA. Phytochemical screening indicated that the isolation process reduced the phytochemical constituents in the isolated α-cellulose. FTIR analysis confirmed the successful isolation of α-cellulose by showing characteristic cellulose absorption bands and the absence of carbonyl and aromatic absorption bands. The swelling ratio results demonstrated that citric acid concentration significantly affected the water absorption capacity of the hydrogels ($p < 0.05$), with the highest swelling ratio of 592.66% obtained at a citric acid concentration of 20%. Therefore, a citric acid concentration of 20% was identified as the best crosslinking concentration for producing α-cellulose-based hydrogels from nipa palm fronds within the range of treatments tested.

Keywords: CMC; Cellulose; Delignification; FTIR; Hydrogel synthesis

PENDAHULUAN

Selulosa merupakan sumber daya alam terbarukan yang melimpah di Indonesia dan berperan sebagai komponen utama penyusun dinding sel tumbuhan, bersama hemiselulosa, lignin, pektin, serta lilin (Mulyadi, 2019). Lignin memiliki sifat tidak larut di air dan berfungsi sebagai perekat yang mengikat selulosa dengan hemiselulosa. Untuk menghilangkan lignin maupun minyak yang menempel pada permukaan serat, salah satu metode yang sering digunakan adalah proses delignifikasi menggunakan larutan NaOH (Pradana et al., 2017). Sebagai polimer alami, selulosa memiliki peran penting dalam pengembangan biomaterial ramah lingkungan karena ketersediaannya yang melimpah, ramah dengan sistem biologi, mudah terdegradasi secara alami, serta memiliki sifat daya serap dan permeabilitas yang baik (Kwon et al., 2015). Berdasarkan karakteristik tersebut, selulosa berpotensi besar dijadikan bahan dasar dalam sintesis hidrogel.

Hidrogel merupakan material polimer berbentuk gel yang mampu menyerap dan menahan air dalam jumlah besar di dalam strukturnya (Wivanius & Budianto, 2015). Dalam proses pembuatannya, salah satu komponen penting adalah bahan pengikat silang, karena konsentrasi pengikat silang dapat mempengaruhi kerapatan jaringan polimer serta sifat fisik dan kemampuan hidrogel dalam menyerap air (Setyaningsih et al., 2020). Jenis pengikat silang yang digunakan sangat bergantung pada turunan selulosa yang diaplikasikan. Umumnya, epiklorohidrin (ECH) digunakan sebagai pengikat silang pada selulosa, namun senyawa ini bersifat toksik. Oleh karena itu, asam sitrat dipandang sebagai alternatif yang lebih aman dan efektif, sehingga menjadi pilihan menarik untuk diaplikasikan dalam pembuatan hidrogel berbasis α-selulosa (Nasution et al., 2022).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa konsntrasi asam sitrat sebagai agen pengikat silang dapat menghasilkan karakteristik pembengkakan yang berbeda pada hidrogel berbasis selulosa dan turunannya. Das et al. (2021), menemukan bahwa penambahan 2% asam sitrat pada hidrogel berbasis CNC mampu memberikan kemampuan pembengkakan hingga 600%. Sementara itu, penelitian Pitaloka et al. (2021) menunjukkan bahwa penggunaan 10% asam sitrat pada hydrogel berbasis NaCMC menghasilkan kualitas terbaik, dengan rasio pembengkakan mencapai 3.779,16%. Temuan-temuan ini menunjukkan bahwa asam sitrat berpotensi menjadi agen pengikat silang dalam pembentukan hidrogel dan bahwa perbedaan konsentrasi serta jenis polimer penyusunnya dapat menghasilkan karakteristik pembengkakan hidrogel yang berbeda (Durpekova et al., 2020). Namun demikian, penelitian terdahulu lebih banyak mengevaluasi penggunaan asam sitrat pada sistem hidrogel berbasis CMC, maupun turunan selulosa lainnya. Kajian

mengenai pengaruh variasi konsentrasi asam sitrat terhadap *swelling ratio* hidrogel yang menggunakan α-selulosa dari pelepah nipah sebagai salah satu komponen penyusunnya masih terbatas.

Pelepah nipah berpotensi dikembangkan sebagai sumber selulosa alternatif karena merupakan biomassa lignoselulosa yang pemanfaatannya masih terbatas. Pemanfaatan pelepah nipah sebagai sumber α-selulosa tidak hanya meningkatkan nilai tambah, tetapi juga mendukung pengembangan material berbasis sumber daya terbarukan. Oleh karena itu, eksplorasi pelepah nipah sebagai sumber α-selulosa untuk hidrogel menjadi relevan terutama untuk mengetahui kemampuannya membentuk jaringan hidrogel dengan karakteristik penyerapan air yang baik.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perbedaan konsentrasi pengikat silang asam sitrat terhadap *swelling ratio* hidrogel berbasis α-selulosa dari pelepah nipah (*Nypa fruticans*).

METODOLOGI

Waktu dan tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari – Agustus 2025 di Laboratorium Lingkungan, Laboratorium Nutrisi dan Pakan Ikan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Laboratorium Sentral Ilmu Hayati (LSIH) Universitas Borneo Tarakan, serta UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro Semarang.

Alat dan bahan

Alat-alat yang akan digunakan pada penelitian ini antara lain FTIR (Perkin-elmer UATR spectrum two), neraca analitik, hot plate, magnetic stirrer, termometer, sentrifus, oven, blender, pengayak, dehidrator, miller, penyaring valum dan alat-alat gelas. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah pelepah nipah (*Nypa fruticans*), akuades, kertas saring, NaOH 10%, H_2O_2 30%, urea, dan asam sitrat.

Preparasi Sampel

Sampel pelepah dibersihkan terlebih dahulu kemudian pelepah dipotong kecil-kecil untuk mempercepat dan mempermudah proses pengeringan, kemudian dicuci. Proses selanjutnya adalah pengeringan menggunakan alat dehidrator pada suhu 50°C selama 9 jam. Sampel yang sudah kering dihaluskan menggunakan miller kemudian diayak. Sampel disimpan pada wadah yang bersih dan kedap udara untuk mencegah kontaminasi dan kerusakan selama penyimpanan.

Isolasi α-selulosa Pelepah Nipah

Isolasi α-selulosa dilakukan dengan menggunakan larutan NaOH dengan konsentrasi 10%. Hal ini berdasarkan bahwa dalam proses penghilangan lignin, penggunaan NaOH tidak boleh lebih dari 17% karena pada konsentrasi NaOH antara 15-20%, selulosa dapat mengalami perubahan struktur yang signifikan. Selanjutnya, dilakukan proses pemutihan yang bertujuan untuk menghilangkan warna dan sisa lignin menggunakan larutan H_2O_2 30%, sehingga selulosa yang dihasilkan memiliki tingkat kecerahan yang tinggi. Setelah itu, proses delignifikasi dilakukan pada suhu 90°C selama 2 jam, kemudian dilanjutkan dengan mencuci menggunakan akuades sampai pH menjadi netral, kemudian diendapkan dan disaring. Proses pemutihan selanjutnya dilakukan pada suhu 90°C selama 2 jam, lalu dicuci hingga pH netral, diendapkan, disaring, dan dikeringkan menggunakan dehidrator pada suhu 50°C selama 6 jam (Faizal et al*.,* 2022).

Sintesis Hidrogel berbasis α-selulosa Pelepah Nipah

Serat selulosa yang sudah diekstraksi dilarutkan dalam campuran larutan air NaOH/urea/akuades (NU) dengan rasio berat 7:12:81, lalu didinginkan pada suhu -12,5°C sebelum digunakan. Sebanyak 6 gram campuran α-selulosa/CMC (2:1, b/b) dilarutkan dalam larutan NU dan diaduk selama 5 menit. Penambahan asam sitrat

 © Hak Cipta oleh Jurnal Harpodon Borneo Tahun 2026

sebagai berikut (K= 0%, P1= 10%, P2 = 20%, P3 = 30% b/v) kemudian ditambahkan perlahan ke dalam campuran untuk mengikat α-selulosa, diaduk selama 20 menit pada suhu ruangan, dan disentrifus dengan kecepatan 6000 rpm selama 5 menit. Campuran tersebut dipanaskan pada suhu 60°C selama 30 menit untuk membentuk hidrogel. Setelah itu, hidrogel dicuci dengan akuades untuk menghilangkan sisa-sisa bahan kimia, selanjutnya hidrogel dikeringkan pada suhu 50°C (Zhang et al., 2017).

Skrining Fitokimia

Skrining fitokimia dilakukan secara kualitatif terhadap serbuk pelepah nipah dan α-selulosa hasil isolasi untuk mengidentifikasi golongan senyawa metabolit sekunder meliputi alkaloid, fenol, flavonoid, saponin, steroid, dan tanin. Uji alkaloid dilakukan menggunakan pereaksi Mayer dan Dragendorff, ditandai dengan terbentuknya endapan putih atau jingga kecokelatan. Uji fenol dan tanin dilakukan dengan penambahan larutan $FeCl_3$ 1%, hasil positif ditunjukkan dengan perubahan warna menjadi hijau kehitaman hingga biru kehitaman. Uji flavonoid dilakukan dengan metode Wilstater menggunakan serbuk Mg dan HCl pekat, hasil positif ditandai dengan terbentuknya warna merah, jingga, atau kuning. Uji saponin dilakukan dengan uji buih (*forth test*), yaitu sampel dikocok dengan akuades hingga terbentuk buih yang stabil selama tidak kurang dari 10 menit. Uji steroid dilakukan menggunakan pereaksi Liebermann-Burchard berupa asam asetat anhidrat dan H_2SO_4 pekat, dengan hasil positif ditunjukkan oleh terbentuknya warna hijau kebiruan. Intensitas hasil uji dinyatakan secara semikuantitatif berdasarkan kepekatan warna atau endapan yang terbentuk, yaitu (-) tidak terdeteksi, (+) intensitas rendah, (++) intensitas sedang, dan (+++) intensitas kuat (Yanuarto et al., 2026).

Uji Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Gugus fungsi α-selulosa ditentukan dengan sinar Infra Merah dengan FTIR pada panjang gelombang 400-4000 cm^{-1}. Identifikasi gugus fungsi target seperti gugus hidroksil (-OH), gugus karbonil (C=O), dan gugus etilen (C=C) yang ada dalam struktur selulosa.

Uji *Swelling Ratio*

Hidrogel dipotong dalam bentuk persegi dengan ketebalan 4 mm hingga mencapai berat 1 gram. Kemudian hidrogel direndam dalam 100 ml air pada suhu ruangan selama 30 menit dan didiamkan. Setelah 30 menit, hidrogel yang telah mengalami *swelling* kemudian dipisahkan dari air, dan dibiarkan kering selama 10 menit. Selanjutnya, hidrogel ditimbang untuk mengetahui berat air yang menyebabkan *swelling* dari hidrogel. *Swelling ratio* pada hidrogel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$R(\%) = \frac{Ws - Wo}{Wo} \times 100$$

Ws adalah berat hidrogel basah pada waktu t, dan Wo adalah berat awal hidrogel sebelum direndam (Jampi et al., 2021).

Analisis Data

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga kali pengulangan. Data *swelling ratio* dianalisis dengan One-Way ANOVA menggunakan aplikasi SPSS Versi 25. Uji lanjut dilakukan menggunakan uji Duncan. Data FTIR dan Fitokimia dianalisis secara deskriptif. Penyajian data menggunakan tabel dan gambar.

© Hak Cipta oleh Jurnal Harpodon Borneo Tahun 2026

HASIL DAN PEMBAHASAN

Skrining Fitokimia Serbuk Pelepah Nipah dan α-selulosa

Skrining fitokimia serbuk pelepah nipah menunjukkan keberadaan senyawa alkaloid, fenol, flavonoid, saponin, dan tanin, sedangkan senyawa-senyawa tersebut tidak terdeteksi atau terdeteksi dengan intensitas rendah pada α-selulosa pelepah nipah (Tabel 1). Hasil ini menunjukkan bahwa proses delignifikasi tidak hanya menghilangkan komponen struktural non-selulosa, tetapi juga mampu mereduksi senyawa metabolit sekunder yang terkandung dalam pelepah nipah. Keberadaan senyawa fenolik diketahui dapat menurunkan efisiensi proses pemutihan, sehingga penghilangan senyawa tersebut merupakan salah satu aspek penting dalam memperoleh selulosa berkemurnian tinggi (Hsieh et al., 2021). Dengan demikian, tidak terdeteksinya sebagian besar metabolit sekunder pada α-selulosa menunjukkan bahwa proses isolasi telah berlangsung secara efektif sehingga potensi pengaruh senyawa bioaktif terhadap karakteristik material dapat diminimalkan.

Tabel 1. Fitokimia serbuk pelepah nipah dan α-selulosa

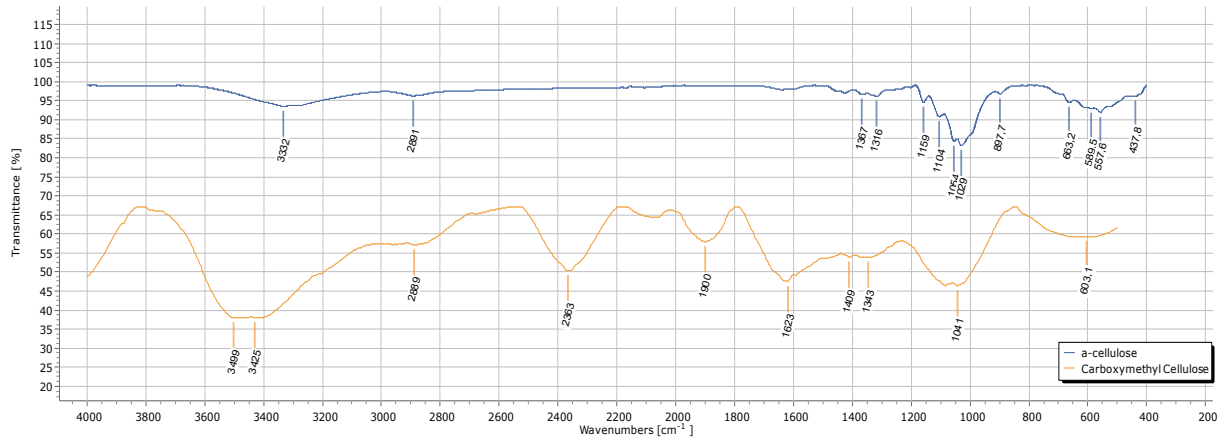
Senyawa	Serbuk Pelepah Nipah	α-selulosa
Alkaloid	+++	-
Fenol	+++	-
Flavonoid	++	-
Saponin	+	-
Steroid	-	-
Tanin	+++	+

Keterangan:
- tidak terdeteksi
+ terdeteksi dengan intensitas rendah
++ terdeteksi dengan intensitas sedang
+++ terdeteksi dengan intensitas kuat

FTIR α-selulosa Pelepah Nipah

Analisis Fourier Transform Infrared (FT-IR) dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada α-selulosa pelepah nipah dibandingkan dengan gugus fungsi pada CMC. Spektrum dan karakteristik pita serapan FTIR α-selulosa dari pelepah nipah dan CMC tersaji pada Gambar 1 dan Tabel 2.

 © Hak Cipta oleh Jurnal Harpodon Borneo Tahun 2026



Gambar 1. Spektrum FTIR α-selulosa dari pelepah nipah dan CMC

Tabel 2. Karakteristik Pita Serapan FTIR α-selulosa Pelepah Nipah dan CMC

Bilangan Gelombang α-selulosa (cm^{-1})	Bilangan Gelombang CMC (cm^{-1})	Gugus Fungsi	Interpretasi
3332	3499-3425	O-H	Regangan O–H
2891	2889	C-H	Regangan C–H alifatik
-	1623	COO-	Regangan asimetris karboksilat CMC
-	1409	COO-	Regangan simetris karboksilat CMC
1159	-	C-O-C	Ikatan glikosidik selulosa
1104-1029	1041	C-O	Kerangka polisakarida
897	-	β-(1→4)-glikosidik	Karakteristik struktur selulosa

Hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa α-selulosa pelepah nipah dan CMC memiliki pita serapan utama yang mencirikan material berbasis selulosa. Pada spektrum α-selulosa, pita melebar sekitar 3332 cm^{-1} berkaitan dengan vibrasi regangan O–H dan pembentukan ikatan hidrogen intra- serta intermolekuler, sedangkan pita sekitar 2891 cm^{-1} berasal dari regangan C–H alifatik. Pita pada daerah sekitar 1159 cm^{-1} menunjukkan regangan C–O–C dari ikatan glikosidik, sedangkan pita kuat pada 1104–1029 cm^{-1} berkaitan dengan regangan C–O pada kerangka polisakarida. Pita sekitar 897 cm^{-1} menunjukkan keberadaan ikatan β-(1→4)-glikosidik yang merupakan karakteristik struktur selulosa.

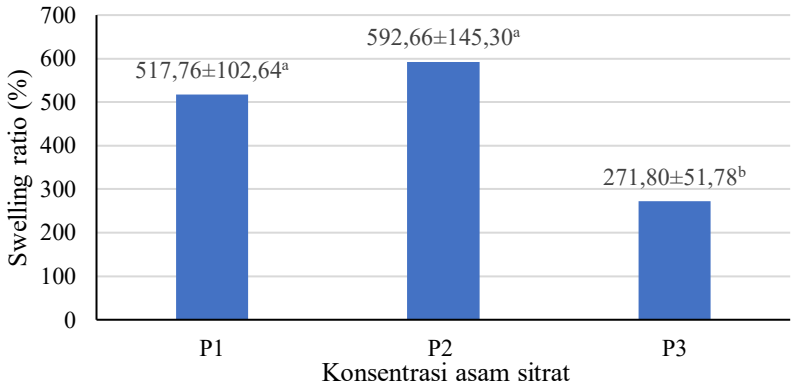
Sementara itu, spektrum CMC menunjukkan pita regangan O–H pada 3499–3425 cm^{-1} dan regangan C–H alifatik pada 2889 cm^{-1}. Pita khas kerangka polisakarida terlihat pada daerah 1041 cm^{-1}, sedangkan pita yang lebih kuat teramati pada sekitar 1623 cm^{-1} dan 1409 cm^{-1}. Kedua pita tersebut masing-masing dikaitkan dengan regangan asimetris dan simetris gugus karboksilat (COO^{-}). Hal tersebut sejalan dengan penelitian Mohammed & Elrayah (2025) yang melaporkan munculnya pita serapan pada 1613-1602 cm^{-1} dan 1420-1419 cm^{-1} dari spektrum FTIR CMC sebagai petunjuk

keberadaan gugus karboksilat (-COO^-). Dengan demikian, perbedaan spektrum α-selulosa dan CMC terutama disebabkan oleh keberadaan gugus karboksilat pada CMC. Penambahan CMC pada pembuatan hidrogel berbasis α-selulosa pelepah nipah bertujuan untuk meningkatkan hidrofilisitas pada hidrogel karena mengandung gugus karboksimetil (-CH_2COO^-) yang mampu berinteraksi kuat dengan molekul air, sedangkan α-selulosa berperan sebagai kerangka utama hidrogel dalam memberikan stabilitas struktur. Menurut Phan et al. (2021), kehadiran CMC dalam struktur material secara signifikan dapat meningkatkan penyerapan air karena mengandung banyak gugus hidrofilik seperti –OH dan $–COO^-$ di sepanjang rantai panjangnya.

Tidak ditemukannya pita karbonil sekitar 1730 cm^{-1} maupun pita aromatik pada sekitar 1510 cm^{-1} pada spektrum FTIR α-selulosa menandakan berkurangnya komponen non-selulosa selama proses isolasi. Hal ini konsisten dengan Enawgaw et al. (2021) yang menyatakan bahwa tidak adanya pita karbonil dan aromatik pada spektrum FTIR α-selulosa menjadi bukti berkurangnya komponen lignin dan hemiselulosa. Dengan demikian, spektrum FTIR pada penelitian ini memperkuat bahwa proses isolasi α-selulosa telah berlangsung efektif.

Swelling Ratio Hidrogel Berbasis α-Selulosa Pelepah Nipah

Swelling ratio merupakan salah satu parameter penting dalam karakterisasi hidrogel yang menunjukkan kemampuan jaringan polimer untuk menyerap dan mempertahankan air dibandingkan dengan berat keringnya. Pada perlakuan kontrol (0% asam sitrat), tidak terjadi pembentukan hidrogel karena tidak adanya asam sitrat sebagai agen pengikat silang. Oleh karena itu, nilai *swelling ratio* pada perlakuan kontrol tidak dapat ditentukan dan data kontrol tidak dimasukkan dalam analisis statistik. Analisis statistik hanya dilakukan terhadap perlakuan yang berhasil membentuk hidrogel, yaitu P1 (asam sitrat 10%), P2 (asam sitrat 20%), dan P3 (asam sitrat 30%). Hasil One-Way ANOVA menunjukkan adanya perbedaan nyata antar perlakuan ($p<0,05$), sehingga analisis dilanjutkan menggunakan uji Duncan. Hasil uji Duncan menunjukkan bahwa P1 tidak berbeda nyata dengan P2, sedangkan P3 berbeda nyata dengan P1 dan P2. Nilai *swelling ratio* hidrogel berbasis α-selulosa disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Swelling Ratio* Hidrogel Berbasis α-Selulosa. P1= asam sitrat 10%, P2= asam sitrat 20%, P3= asam sitrat 30%. Data disajikan sebagai rerata±SD, superskrip yang berbeda menunjukan perbedaan yang signifikan ($p<0,05$).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hidrogel dengan penambahan asam sitrat 20% (P2) menghasilkan *swelling ratio* tertinggi yaitu 592,66 ± 145,30%, diikuti

 © Hak Cipta oleh Jurnal Harpodon Borneo Tahun 2026

oleh asam sitrat 10% (P1) sebesar 517,76 ± 102,64%, sedangkan asam sitrat 30% (P3) memberikan nilai terendah yaitu 271,80 ± 51,78%. Nilai standar deviasi yang relatif besar, menunjukkan adanya variasi kemampuan pembengkakan antar ulangan. Variasi tersebut diduga berkaitan dengan heterogenitas struktur hidrogel yang dihasilkan selama proses sintesis. Distribusi α-selulosa/CMC dan asam sitrat yang tidak sepenuhnya seragam dapat menyebabkan perbedaan lokal dalam jumlah titik ikatan silang dan kerapatan jaringan pada masing-masing sampel. Selain itu, perbedaan ketebalan, ukuran atau distribusi pori, tingkat pengeringan, dan homogenitas sampel dapat mempengaruhi kecepatan penetrasi serta jumlah air yang dapat ditahan oleh jaringan hidrogel.

Perbedaan nilai *swelling ratio* pada penelitian ini dapat dipengaruhi oleh variasi konsentrasi asam sitrat sebagai *crosslinking agent.* Asam sitrat memiliki tiga gugus karboksil (-COOH) yang dapat membentuk ikatan silang dengan gugus hidroksil (-OH) pada α-selulosa dan CMC melalui reaksi esterifikasi, sehingga terbentuk ikatan ester yang menghubungkan rantai-rantai polimer dalam jaringan tiga dimensi hidrogel. Peningkatan konsentrasi asam sitrat hingga tingkat tertentu dapat meningkatkan peluang terbentuknya titik-titik ikatan silang yang selanjutnya mempengaruhi *crosslink density* hidrogel (Susi et al*.,* 2026).

Pada konsentrasi rendah, jumlah ikatan silang yang terbentuk belum mencukupi untuk menghasilkan jaringan hidrogel yang homogen dan stabil sehingga kemampuan pengembangannya masih terbatas. Pada konsentrasi menengah, jaringan hidrogel yang terbentuk lebih seimbang dan elastis sehingga mampu menyerap air dalam jumlah yang lebih besar. Sebaliknya, pada konsentrasi tinggi, pembentukan ikatan silang berlebihan sehingga menyebabkan struktur jaringan menjadi lebih rapat dan pori-pori menyempit. Peningkatan *crosslink density* juga membatasi mobilitas dan ekspansi rantai polimer serta mengurangi ruang bebas di antara rantai polimer yang dapat ditempati oleh molekul air. Hal ini menghambat difusi air ke dalam matriks hidrogel serta mengurangi fleksibilitas rantai polimer, sehingga kapasitas pengembangan hidrogel menurun secara signifikan (Wong et al*.,* 2025).

Pitaloka et al. (2021) melaporkan bahwa asam sitrat 10% sebagai konsentrasi optimum dalam pengikatan silang hidrogel berbasis CMC yang menghasilkan *swelling ratio* sebesar 3,779,2%. Namun demikian, hasil penelitian tersebut memiliki pola yang sama dengan penelitian ini dimana *swelling ratio* pada hidrogel berbasis CMC dengan pengikat silang asam sitrat 5% sebesar 666,7% meningkat nilainya pada konsentrasi 10% sebesar 3.779,2% dan menurun nilainya pada konsentrasi 15% sebesar 3.313,8%. Semakin tinggi konsentrasi asam sitrat setelah kondisi optimum menyebabkan *swelling ratio* menurun akibat meningkatnya *crosslink density*. Hal serupa dilaporkan oleh Das et al. (2020), dimana hidrogel CMCNa/HEC yang disintesis dengan asam sitrat 1% menunjukkan *swelling ratio* lebih rendah akibat dari pembentukan jaringan ikatan silang yang tidak memadai selama reaksi, sedangkan sintesis dengan asam sitrat 3% juga menunjukkan *swelling ratio* yang rendah karena pembentukan densitas ikatan silang yang tinggi. *Swelling ratio* yang memadai sekitar 500-600% diamati pada hidrogel yang disintesis dengan asam sitrat 2% sebagai konsentrasi optimum dimana pembentukan jaringan ikatan silang yang cukup untuk menyerap dan menahan air. Pola tersebut mendukung hasil penelitian ini bahwa peningkatan konsentrasi asam sitrat tidak selalu meningkatkan *swelling ratio*, tetapi bergantung pada *crosslink density* yang terbentuk. Pada tingkat ikatan silang yang memadai, jaringan hidrogel memiliki kestabilan sekaligus ruang yang cukup untuk mengakomodasi air, sedangkan *crosslink density* yang terlalu tinggi membatasi pengembangan jaringan

dan menurunkan kemampuan penyerapan air.

Perbedaan nilai *swelling ratio* yang dihasilkan meskipun pada konsentrasi pengikat silang asam sitrat yang sama dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya jenis polimer, rasio bahan, metode sintesis, serta morfologi pori yang terbentuk. Asam sitrat pada konsentrasi optimal berperan membentuk ikatan ester yang cukup untuk menjaga kestabilan jaringan tanpa menghambat difusi air, sedangkan *crosslinking* yang terlalu rendah menghasilkan jaringan tidak stabil sedangkan yang terlalu tinggi menyebabkan jaringan terlalu rapat sehingga menurunkan kapasitas pengembangan hidrogel (Nasution et al., 2022). Gugus hidrofilik, terutama gugus hidroksil (-OH), pada α-selulosa/CMC yang diikat silang dengan asam sitrat memungkinkan terbentuknya ikatan hidrogen dengan molekul air sehingga air dapat terperangkap di dalam jaringan hidrogel dan meningkatkan kemampuan *swelling*. Sebaliknya, berkurangnya jumlah gugus hidrofilik serta meningkatnya derajat ikatan silang akibat waktu reaksi yang lebih lama menyebabkan struktur hidrogel menjadi lebih rapat, sehingga kapasitas penyerapan air dan nilai *swelling ratio* menurun (Afandi & Nainggolan, 2025).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh konsentrasi asam sitrat sebagai pengikat silang terhadap *swelling ratio* hidrogel berbasis α-selulosa dari pelepah nipah ($P<0,05$). Konsentrasi asam sitrat sebesar 20% merupakan konsentrasi terbaik dengan nilai *swelling ratio* sebesar 592,66%.

Saran

Perlu dilakukan penelitian selanjutnya untuk mendapatkan kondisi optimum dengan mempertimbangkan parameter sintesis lainnya seperti suhu dan waktu serta rasio α-selulosa/CMC yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

Afandi, T., & Nainggolan, F. (2025). Cross-Linking Study Of Cellulose/CMC From Oil Palm Fiber Waste With Citric Acid. *Jurnal Rekayasa, Teknologi Proses dan Sains Kimia (REPROKIMIA), 4*(2), 88-97. https://doi.org/10.68115/reprokimia.v4i2.258

Das, D., Prakash, P., Rout, P. K., & Baladhare, S. (2021). Synthesis and Characterization of Superabsorbent Cellulose-based Hydrogel for Agriculture Application. *METRICS*, *73*(1–2). https://doi.org/10.1002/star.201900284.

Durpekova, S., Filatova, K., Cisar, J., Ronzova, A., Kutalkova, E., & Sedlarik, V. (2020). A Novel Hydrogel Based on Renewable Materials for Agricultural Application. *International Journal of Polymer Science*, *2020*, 8363418. https://doi.org/10.1155/2020/8363418

Enawgaw, H., Tesfaye, T., Yilma, K. T., & Limeneh, D. Y. (2021). Synthesis of a cellulose-co-amps hidrogel for personal hygiene applications using cellulose extracted from corncobs. *Gels*, *7*(4), 1–10. https://doi.org/10.3390/gels704026

Faizal, M., Jaksen, & Fadarina. (2022). Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Asetat dari Tanda Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Bioplastik. *Kinetika*, *13*(2), 17–23.

Hsieh, P., Liu, C. R., Ko, C. H., Yang, B. Y., & Lin, P. H. (2021). Effects of Residual Phenolic Compounds on Xylanase-assisted ClO_2 Bleaching of Hardwood Kraft Pulp. *Bioresources, 16*(4), 8111-8124. https://doi.org/10.15376/biores.16.4.8111-8124

Jampi, A. L. W., Chin, S. F., Wasli, M. E., & Chia, C. H. (2021). Preparation of Cellulose Hydrogel from Sago Pith Waste as a Medium for Seed

 © Hak Cipta oleh Jurnal Harpodon Borneo Tahun 2026

Germination. *Journal of Physical Science,* *32*(1). https://doi.org/10.21315/JPS2021.32.1.2

Kwon, S. S., Kong, B. J., & Park, S. N. (2015). Physicochemical properties of pH-sensitive hidrogels based on hydroxyethyl cellulose-hyaluronic acid and for applications as transdermal delivery systems for skin lesions. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, *92*, 146–154. https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2015.02.025

Mohammed, A. A., & Elrayah, A. A. I. (2025). Production of high-performance drilling fluid additive converting and valorization palm frond waste into a value-added derived carboxymethyl cellulose (CMC). *Journal of Engineering and Applied Science,* *72*, 111. https://doi.org/10.1186/s44147-025-00640-w

Mulyadi, I. (2019). Isolasi Dan Karakterisasi Selulosa : Review. *Jurnal Sains Dan Matematika Unpam*, *1*(2), 177-182. https://doi.org/10.32493/jsmu.v1i2.2381

Nasution, H., Harahap, H., Dalimunthe, N. F., Ginting, M. H. S., Jaafar, M., Tan, O. O. H., Aruan, H. K., & Herfananda, A. L. (2022). Hydrogel and Effects of Crosslinking Agent on Cellulose-Based Hidrogels: A Review. *Gels,* *8*(9). https://doi.org/10.3390/gels8090568

Phan, M. T. T., Pham, L. N., Nguyen, L. H., & To, L. P. (2021). Investigation on synthesis of hydrogel starting from vietnamese pineapple leaf waste-derived carboxymethylcellulose. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, *2021*(1), 6639964.

Pitaloka, A. B., Rukmana, A. S., & Nur'afiani, T. Y. (2021). Synthesis and Characterization of Carboxy Methyl Cellulose-Based Hydrogel Cross-linked with Citric Acid. *World Chemical Engineering Journal*, *5*(1). https://doi.org/10.48181/wcej.v5i1.12082

Pradana, M. A., Ardhyananta, H., & Farid, M. (2017). Pemisahan Selulosa dari Lignin Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Proses Alkalisasi untuk Penguat Bahan Komposit Penyerap Suara. *Jurnal Teknik ITS*, *6*(2), 413–416. https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24559

Setyaningsih, L. W. N., Mutiara, T., Hapsari, C. Y., Kusumaningtyas, N., Munandar, H., & Pranata, R. J. (2020). Karakteristik dan Aplikasi Selulosa Kulit Jagung Pada Pengembangan Hidrogel. *Journal of Science and Applicative Technology* *4*(2). https://doi.org/10.35472/jsat.v4i2.252.

Susi, S., Ainuri, M., Wagiman, W., Falah, M. A. F., & Hakim, H. M. A. (2026). Selecting Hydrogel Films Composed of Carboxymethyl Cellulose and Microcrystalline Cellulose From OPEFB With Citric Acid as a Green Crosslinker for Fruit Wrapping. *International Journal of Biomaterials*, *2026*(1), 2806425. https://doi.org/10.1155/ijbm/2806425.

Wivanius, N., & Budianto, E. (2015). Sintesis dan karakterisasi hidrogel superabsorben kitosan poli (N-Vinilkaprolaktam) (PNVCL) dengan metode full IPN (Interpenetrating Polymer Network). *Pharmaceutical Sciences and Research*, *2*(3), 152–168. https://doi.org/10.7454/psr.v2i3.3483.

Wong, Y. C., Kee, S. H., & Shankar, A. (2025). Comparative investigation on the optimisation of hydrogel derived from cellulose of banana stem (Musa x paradisiaca), cellulose and carboxymethylcellulose (CMC)

crosslinked using citric acid. *Malaysian Journal of Bioengineering and Technology, 2*(2), 60–78. https://doi.org/10.70464/mjbet.v2i2.1602.

Yanuarto, T., Tabela, A. J. R., & Nabila, C. O. (2026). Uji skrining fitokimia ekstrak infundasi dan ekstrak etanol 96% secara maserasi dari biji telang (*Clitoria ternatea* L.). *Jurnal Farmasi Malahayati*, *9*(1), 91-102.

Zhang, H., Yang, M., Luan, Q., Tang, H., Huang, F., Xiang, X., Yang, C., & Bao, Y. (2017). Cellulose anionic hydrogels based on cellulose nanofibers as natural stimulants for seed germination and seedling growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *65*(19), 3785–3791. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05815.

 © Hak Cipta oleh Jurnal Harpodon Borneo Tahun 2026