

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF PVA/NA-CMC HYDROGEL FROM OPEFB CROSS-LINKED BY MALEIC ANHYDRIDE

Triana Kusumaningsih^{1*}, Abu Masykur², Aulia Syifa Aninditha³

^{1,2,3}Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret
Jl. IR Sutami 36a Surakarta, Jawa Tengah, 57126, Indonesia

E-mail : * triana_kusumaningsih@staff.uns.ac.id

Received: 07 November 2021. Accepted: 19 November 2022. Published: 31 Desember 2022

DOI: 10.30870/educhemia.v7i1.12637

Abstract: PVA/Na-CMC hydrogels were prepared from polyvinyl alcohol (PVA) and Na-CMC isolated from OPEFB. Maleic anhydrous (MA) was introduced as a crosslinking agent during the formation of the hydrogel process. The characterization of the PVA/Na-CMC hydrogels was carried out using Fourier Transform Infrared (FTIR), Scanning Electron Microscope (SEM), and physical characterization methods, including swelling ratio and gel fraction analysis. The addition of MA was observed to increase the number of crosslinks. The optimum PVA/Na-CMC hydrogel composition was achieved at a PVA: Na-CMC ratio of 5:3 (P5C3M), with a pore size of approximately $3.643 \pm 0,913 \mu\text{m}$, a swelling ratio of 3104%, and a gel fraction value of 72.72%.

Keywords: cellulose, hydrogel, maleic anhydrous, OPEFB, polyvinyl alcohol

Abstrak: Telah dilakukan preparasi hidrogel PVA/Na-CMC dari polyvinyl alcohol (PVA) dan Na-CMC yang berasal dari TKKS. Maleat anhidrat (MA) digunakan sebagai agen pengikat silang proses pembentukan hidrogel. Karakterisasi hidrogel PVA/Na-CMC dilakukan dengan Fourier Transform Infrared (FTIR), Scanning Electron Microscope (SEM), dan karakterisasi fisik meliputi analisis *swelling ratio* dan fraksi gel. Penambahan MA diamati dapat meningkatkan jumlah ikatan silang. Komposisi hidrogel PVA/Na-CMC optimum dicapai pada rasio PVA: Na-CMC 5:3 (P5C3M), memiliki ukuran pori sekitar $3,643 \pm 0,913 \mu\text{m}$, swelling ratio 3104%, dan nilai fraksi gel sebesar 72,72%.

Kata kunci: hidrogel, maleat anhidrat, polivinil alkohol, selulosa, TKKS

PENDAHULUAN

Limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dihasilkan dari produksi Pabrik Minyak Kelapa Sawit (PMKS) sebesar 22%-24% (Harsono *et al.*, 2015). Selama

ini pemanfaatan limbah TKKS hanya digunakan sebagai bahan baku kompos dan pakan ternak, bahan bakar, boiler, pengeras jalan di perkebunan sawit atau malah terbuang percuma (Kresnawaty

et al., 2018). TKKS merupakan limbah lignoselulosa yang memiliki potensi untuk dapat dimanfaatkan menjadi material yang bernilai tinggi.

Selulosa dianggap sebagai bahan baku memiliki keunggulan sifat non-toksik, *biocompatible*, *biodegradable*, dan memiliki kemampuan *swelling* yang tinggi (Coniwanti *et al.*, 2017). Selulosa dapat diubah menjadi fragmen yang lebih kecil, yakni dalam ukuran mikro menjadi *microcrystalline cellulose* (MCC) (Xiang *et al.*, 2016, Septi *et al.*, 2018). Selulosa dalam ukuran mikro dapat dimanfaatkan dalam berbagai industri seperti industri makanan, kosmetik, obat (Hussin *et al.*, 2016) maupun adsorpsi zat warna (Saputra *et al.*, 2021) . Struktur selulosa yang berbentuk rantai linier dan terhubung oleh ikatan β -1,4 glikosidik membuat selulosa bersifat kristalin dan tidak mudah larut.

Selulosa mempunyai keterbatasan tidak dapat larut dalam air dan sebagian pelarut organik. Hal ini mengharuskan adanya konversi agar selulosa dapat digunakan dengan optimal. *Sodium-carboxymethyl cellulose* (Na-CMC) merupakan turunan selulosa yang dihasilkan oleh reaksi selulosa dengan alkali (natrium monokloroasetat) dalam pelarut organik. Banyaknya gugus hidroksil dan karboksilat membuat Na-

CMC memiliki kemampuan penyerapan air dan sifat kelembaban yang baik sehingga memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan dasar hidrogel. Na-CMC dapat mempertahankan bentuk dan keelastisan, serta dapat meningkatkan sifat hidrofilik pada hidrogel (El Samawi, 2007).

Hidrogel merupakan jejaring polimer tiga dimensi yang dapat menyerap air maupun cairan biologis dan memiliki kemampuan mengembang tanpa larut di dalam air. Hidrogel memiliki kemampuan penyerapan sejumlah air tanpa adanya proses pelarutan serta dapat membengkak dan menyerap 10% hingga ribuan kali lipat dari berat air (Chang *et al.*, 2010; Hoffman, 2012). Berdasarkan sifatnya yang dapat menyerap air dalam jumlah yang besar dan biokompatibilitasnya yang baik, hidrogel menjadi material yang menarik dan memiliki aplikasi yang beragam, diantaranya sebagai kontak lensa, penutup luka, sistem pelepasan obat, kosmetik, maupun rekayasa jaringan.

Penelitian hidrogel saat ini banyak mengkombinasikan dua atau lebih polimer sehingga dapat menghasilkan hidrogel yang memiliki sifat dan karakteristik lebih unggul (Wang & Wang, 2016; Rahim *et al.*, 2016; Ediningsih *et al.*, 2018). Penggabungan

polimer alam dengan polimer sintetik dapat menghasilkan hidrogel dengan peningkatan sifat penyerapan, *biodegradability*, serta berbagai sifat mekanis dan termal yang lebih baik. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa Na-CMC dapat dikombinasikan dengan *polyvinyl alcohol* (PVA) dan menghasilkan peningkatan kapasitas penyerapan hidrogel (El-Samawi, 2007). PVA merupakan salah satu polimer sintesis yang sering digunakan dalam pembuatan hidrogel. Bahan ini bersifat hidrofilik serta memiliki toksisitas yang rendah (Zhang *et al.*, 2013). Selain itu, PVA dapat menghasilkan hidrogel dengan permukaan yang halus dan tidak rapuh (Atta & El-Ghazawy, 2003).

Na-CMC dan PVA memiliki banyak gugus hidroksil sepanjang rantai molekulnya. Namun, penggabungan

Berdasarkan uraian di atas, maka pada penelitian ini dilakukan preparasi hidrogel PVA/Na-CMC dengan penambahan maleat anhidrat sebagai agen pengikat silang. Na-CMC dibuat dari CMC yang diperoleh dari limbah tandan kosong kelapa sawit. Identifikasi dan karakterisasi hidrogel dilakukan dengan pengujian fraksi gel, *swelling ratio*, serta penggunaan instrumen spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

kedua polimer secara langsung tidak dapat menghasilkan komposit dengan sifat fisik dan mekanik yang baik. Hal ini dikarenakan sebagian gugus hidroksil dalam molekul Na-CMC dan PVA telah membentuk ikatan hidrogen intra maupun intermolekul. Oleh karena itu, diperlukan adanya pengikat silang.

Agen pengikat silang yang digunakan pada selulosa dan turunannya antara lain formaldehid (Zhang *et al.*, 2009), epichlorohydrin (Chang *et al.*, 2008), dan glutaraldehid (El-Tahlawy *et al.*, 2007). Namun, agen pengikat silang tersebut berbahaya dan beracun sehingga aplikasi dari hidrogel menjadi terbatas karena timbulnya sifat *bio-incompatible*. Pada penelitian ini, digunakan maleat anhidrat (MA) sebagai agen pengikat silang yang bersifat nontoksik dan *biodegradable* di alam (Pang *et al.*, 2011).

METODE

Bahan dan Piranti

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dari LIPI Kimia Serpong, asam monokloroasetat ($\text{Cl}_3\text{CH}_2\text{COOH}$) (E.Merck), maleat anhidrida ($\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_3$) (E.Merck), natrium hipoklorit (NaOCl) (Bratachem), asam asetat (CH_3COOH) (Bratachem), *polyvinyl alcohol*/PVA ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$)_n (E.Merck), isopropanol

(C₃H₈O) (Bratachem), natrium hidroksida (NaOH), asam sulfat (H₂SO₄) (E. Merck), asam oksalat (C₂H₂O₄) (E. Merck), etanol (C₂H₆O) (E. Merck), asam nitrat (HNO₃) 2 M (E. Merck), indikator phenolphthalein (PP), asam klorida (HCl) 0,3 N (E. Merck).

Piranti yang digunakan pada penelitian ini adalah peralatan gelas (Pyrex), seperangkat alat refluks, *magnetic stirrer*, neraca analitik ANDGF-300, *hot Plate* IKA C-MAG HS 7, *centrifuge* Gemmy Industrial Corp Model PLC-05 12 Hole, oven Barnstead International Model NO:3513-132, oven Sharp EO-18L Libre SE, *vacuum drying oven* B-One VOV-50, lemari pendingin Sharp SJ 166F Kirrei II, desikator dan pompa, spektrofotometer *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) Prestige 21 model 8201 PC, spektrofotometer *X-Ray Diffraction* (XRD) Rigaku Miniflex 600, *scanning Electron Microscope* (SEM).

Preparasi selulosa dari limbah TKKS

Metode preparasi selulosa pada penelitian ini mengacu pada penelitian Pujiasih *et al.*, (2018), melalui 2 tahapan yaitu tahap *bleaching* (TKKSb), dan tahap alkalisasi (TKKSa).

Preparasi MCC

Preparasi MCC dilakukan dengan

menghidrolisis serat α -selulosa (TKKSa) dalam larutan H₂SO₄ 45% (v/v) pada temperatur 45°C selama 45 menit dengan pengadukan konstan. Perbandingan serat terhadap larutan H₂SO₄ sebesar 1:20 (g/mL). Penghentian reaksi dilakukan penambahan sejumlah besar akuades dingin pada hidrolisat. Selanjutnya suspensi dicuci menggunakan *centrifuge* sampai dengan mendekati pH 7.

Preparasi Na-CMC

Metode pembuatan Na-CMC mengacu pada penelitian Parid *et al.*, (2018) dengan modifikasi pada tahap penetralan dan pencucian yakni variasi penggunaan larutan etanol 70% (v/v) dan larutan CH₃COOH. Na-CMC yang terbentuk diidentifikasi dan karakterisasi dengan Penentuan derajat substitusi (DS), *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), *X-ray Diffraction* (XRD).

Preparasi dan Karakterisasi hidrogel PVA/Na-CMC

Pembuatan hidrogel mengacu pada penelitian Maji *et al.*, (2013) dengan modifikasi penambahan maleat anhidrat dari proses hidrasi maleat anhidrida serta variasi komposisi dari PVA dan Na-CMC. Larutan PVA yang telah dilarutkan dalam air panas (90 °C) dan CMC yang telah dilarutkan dalam air dingin

dicampurkan dengan variasi perbandingan PVA : Na-CMC (4:4 ; 5:3, dan 6:2) disertai penambahan MA 1,5% (b/v) ke dalam campuran tersebut tetes pertetes. Campuran kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu ruang selama 2 jam, diletakkan di atas lapisan kaca dan dilanjutkan dengan proses pendinginan sebanyak 3 siklus. Proses pendinginan dilakukan pada suhu -15°C selama 10 jam diikuti dengan pendinginan pada suhu ruang selama 1 jam. Hidrogel yang telah terbentuk diletakkan di lemari pendingin sampai akan digunakan.

Hidrogel yang diperoleh kemudian diidentifikasi menggunakan FTIR mengacu pada Seki *et al.*, (2014). Karakterisasi hidrogel PVA/Na-CMC dilakukan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Swelling Ratio* (%SR) dan Fraksi Gel (%GF).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi Selulosa Dari Limbah TKKS

Selulosa hampir tidak pernah ditemui dalam keadaan murni di alam, melainkan selalu berikatan dengan hemiselulosa dan lignin. Oleh karena itu, diperlukan tahapan isolasi selulosa dari TKKS melalui *bleaching*, alkalisasi, dan hidrolisis. Tahapan *bleaching* menggunakan NaOCl menghasilkan perubahan fisik yang

signifikan pada TKKS, yaitu adanya perubahan warna dari coklat menjadi putih. Perubahan warna ini terjadi karena adanya reaksi oksidasi, dimana NaOCl sebagai oksidator kuat dapat memodifikasi struktur lignin yang rumit dan siap untuk perlakuan alkalisasi. Alkalisasi dilakukan untuk memisahkan kandungan lignin dan hemiselulosa dari selulosa sehingga diperoleh selulosa yang lebih murni (Xiang *et al.*, 2016). NaOH merupakan larutan alkali yang dapat menyerang dan merusak struktur lignin pada fase kristalin dan amorf serta memisahkan sebagian hemiselulosa. Hidrolisis yang dilakukan menggunakan asam sulfat 45% dapat menghilangkan fase amorf dari selulosa sehingga terbentuk kristal selulosa dan terjadi pemendekan rantai.

Hasil MCC yang diperoleh berupa serbuk putih kecoklatan, menunjukkan lignin pada permukaan lignoselulosa TKKS telah terlarut dalam larutan NaOCl seperti pada penelitian Pujasih *et al.*, 2018. Penampakan TKKS dan MCC menggunakan kamera dengan resolusi 12 *Megapixel* ditunjukkan pada Gambar 1.

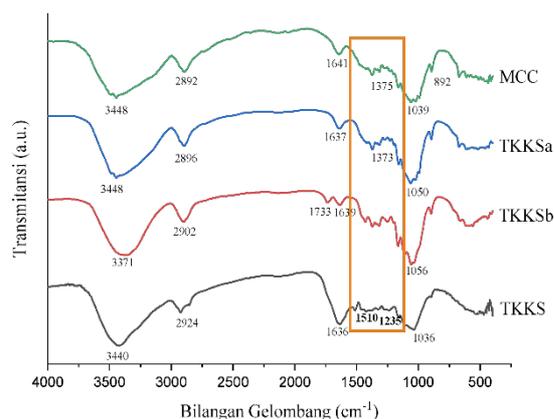
Keberhasilan preparasi selulosa dapat diketahui dari identifikasi gugus fungsi pada spektra FTIR, difraktogram XRD, serta mikrograf SEM. Spektra FTIR dilakukan untuk mengevaluasi tiap

tahapan preparasi selulosa dari TKKS, dapat dilihat pada Gambar 2. TKKS, TKKS hasil *bleaching* (TKKS_b), TKKS hasil alkalisasi (TKKS_a), dan MCC dibandingkan untuk menunjukkan berkurangnya kandungan lignin dan hemiselulosa pada TKKS.



(a) TKKS

(b) MCC

Gambar 1. Penampakan fisik**Gambar 2.** Spektra FTIR

Gambar 2 menunjukkan adanya serapan melebar pada bilangan gelombang 3500- 3200 cm⁻¹ pada semua sampel mengindikasikan adanya vibrasi dari O-H *stretching* serta ikatan hidrogen intermolekular dan intramolekular pada selulosa. Selain itu, pada bilangan gelombang 2900-2800 cm⁻¹ terdapat

puncak serapan dari gugus alifatik C-H *stretching* dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Parid *et al.*, 2018). Puncak serapan pada 1641-1636 cm⁻¹ pada seluruh spektra FTIR merupakan serapan gugus -OH pada selulosa. Haafiz *et al.*, (2016) menyatakan bahwa serapan tersebut muncul karena adanya *bending* molekul air, dimana interaksi antara air dan selulosa merupakan interaksi yang sangat kuat.

Pada bilangan gelombang 1800-1000 cm⁻¹ terdapat beberapa perubahan selama proses preparasi selulosa. Serapan 1733 cm⁻¹ yang muncul pada spektra TKKS_b mengindikasikan adanya vibrasi dari gugus C=O *stretching*. Hal ini dimungkinkan terjadinya asetilasi parsial dari selulosa oleh asam asetat yang ditambahkan selama proses *bleaching* (Pujiasih *et al.*, 2018; Rosa *et al.*, 2012).

Dua puncak serapan karakteristik dari lignin terdapat pada bilangan gelombang 1609-1509 cm⁻¹ (C=C *stretching* dari cincin aromatik lignin) (Yunos *et al.*, 2012) dan 1300-1200 cm⁻¹ (C-O *stretching* dari gugus aril dari lignin) yang hanyaditemukan pada spektra FTIR dari TKKS awal. NaOH pada tahap alkalisasi dapat menyerang struktur lignin. Oleh karena itu, keberhasilan tahap preparasi selulosa adalah hilangnya serapan lignin (1510 cm⁻¹ dan 1300-1200 cm⁻¹) dan

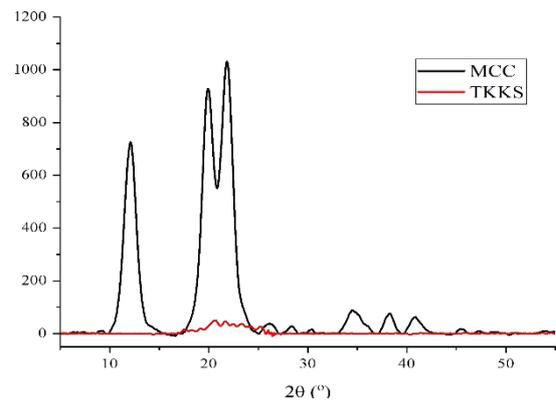
hemiselulosa ($1740\text{--}1700\text{ cm}^{-1}$) pada spektra sampel TKKS_a. Ketiga puncak serapan ini penting karena tidak adanya serapan tersebut dalam MCC menunjukkan bahwa sebagian besar lignin dan hemiselulosa telah hilang dalam proses preparasi selulosa (Singh & Singh, 2013).

Bilangan gelombang $890\text{--}901\text{ cm}^{-1}$ merupakan ciri khas dari vibrasi C—H pada ikatan β -glikosidik selulosa (Azubuike & Okhamafe, 2012). Sedangkan, puncak serapan pada bilangan gelombang $1164\text{--}1157\text{ cm}^{-1}$ dan sekitar $1060\text{--}1030\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya gugus —C—O—C— *stretching* (Trache *et al.*, 2016). Spektra FTIR yang dihasilkan oleh TKKS_a dan MCC menunjukkan kemiripan. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi hidrolisis asam pada selulosa tidak merusak struktur kimia selulosa dan tidak mempengaruhi komponen kimia selulosa (Pujiasih *et al.*, 2018).

Menurut Elanthikkal *et al.*, (2010), selama proses hidrolisis H_2SO_4 menembus fase amorf selulosa dan membelah ikatan β -1,4-glikosidik penyusun unit-unit selulosa, sehingga rantai selulosa terpisah menjadi mikrokristalin selulosa yang lebih pendek. Artinya, hidrolisis asam hanya menghilangkan fase amorf pada rantai selulosa, sehingga hanya tersisa bagian

kristal dan diperoleh MCC.

Kristalinitas MCC dianalisis lebih lanjut menggunakan XRD dilakukan untuk mengidentifikasi geseran pada pola difraktogram serta mengetahui nilai *Crystallinity Index* dari kedua sampel, ditunjukkan pada Gambar 3.

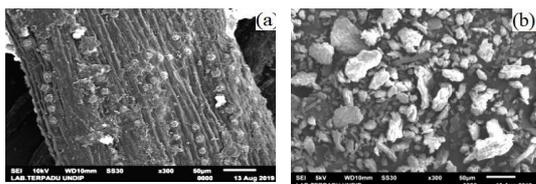


Gambar 3. Difraktogram TKKS dan MCC

Preparasi selulosa dari TKKS pada penelitian ini dilakukan untuk mengurangi kandungan lignin/hemiselulosa yang bersifat amorf pada selulosa. Transformasi pola difraktogram pada Gambar 3 dari puncak mendatar menjadi tajam merupakan indikasi berkurangnya fase amorf pada selulosa. Selain itu, puncak yang dihasilkan MCC pun lebih tinggi dibandingkan dengan TKKS awal. H_2SO_4 yang digunakan pada tahapan hidrolisis dapat menurunkan dan melarutkan sebagian fase amorf sehingga meninggalkan daerah kristal (Pujiasih *et al.*, 2018). Kedua pola difraksi

menunjukkan adanya puncak dengan intensitas tinggi pada $2\theta = 19^\circ - 21^\circ$ yang merupakan puncak karakteristik dari kisi kristalin selulosa (Parid *et al.*, 2018).

Penentuan *Crystallinity Index* dilakukan dengan menggunakan metode intensitas puncak (Park *et al.*, 2010). Jika *Crystallinity Index* MCC dibandingkan dengan TKKS, nilai *Crystallinity Index* mengalami peningkatan dari 32,93% menjadi 75,84%. Hal ini dikarenakan hilangnya lignin dan hemiselulosa yang bersifat amorf mengakibatkan peningkatan pada *Crystallinity Index* pada selulosa yang telah melewati tahap preparasi (Soom *et al.*, 2009). Keberhasilan preparasi MCC didukung oleh mikrograf SEM dari TKKS *raw material* dan MCC yang ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Mikrograf SEM dari (a) TKKS dan (b) MCC (scale bar: 50 μm)

Morfologi dari TKKS (Gambar 4a) menunjukkan bahwa TKKS terdiri dari campuran fibril yang masih utuh (Law *et al.*, 2007). Xiang *et al.*, (2016) menyatakan serat TKKS mengandung lignin yang terlihat pada permukaannya

yang kasar. Bundel serat yang lebih pendek dapat diamati pada Gambar 4b setelah melewati tahapan *bleaching*, alkalisasi, dan hidrolisis. Rangkaian preparasi selulosa membantu proses defibrilasi fibril (Nasution *et al.*, 2017) sehingga diperoleh MCC dengan komponen lignin dan hemiselulosa yang menurun (Parid *et al.*, 2018).

Permukaan luar MCC yang ditunjukkan pada Gambar 4b menunjukkan serat yang bengkok dan pecah disebabkan oleh penggunaan bahan kimia yang kuat dan suhu tinggi pada proses preparasi selulosa. Penurunan kandungan lignin dan hemiselulosa pada MCC juga didukung oleh penurunan ukuran partikel dari TKKS dan MCC dari $348,26 \pm 31,64 \mu\text{m}$ menjadi $24,44 \pm 2,08 \mu\text{m}$. Hal ini mendukung hasil analisis spektra FTIR pada Gambar 2.

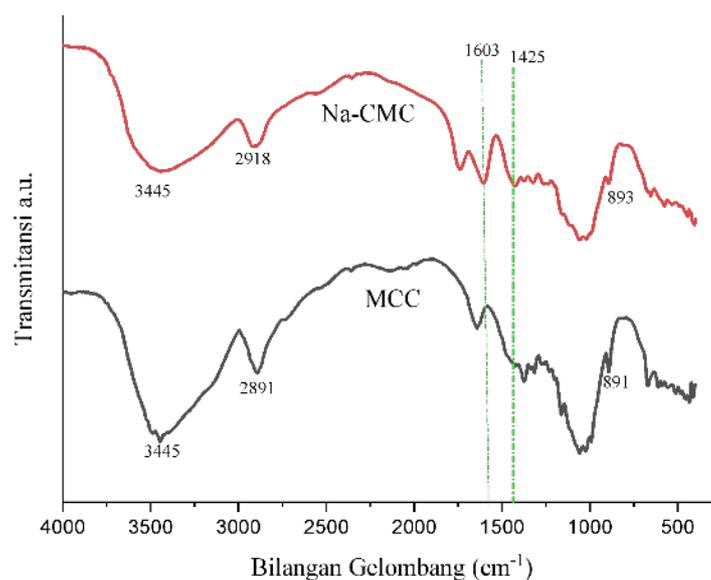
Selanjutnya MCC hasil preparasi dari selulosa limbah TKKS digunakan sebagai bahan baku utama pembuatan Na-CMC.

Pembuatan Na-CMC

Pembuatan Na-CMC melibatkan dua langkah reaksi, yaitu proses alkalisasi dan eterifikasi. Pada proses alkalisasi, selulosa berada di dalam medium NaOH. Alkali selulosa yang terbentuk pada reaksi antara selulosa dan natrium hidroksida dapat bersifat reaktif terhadap natrium

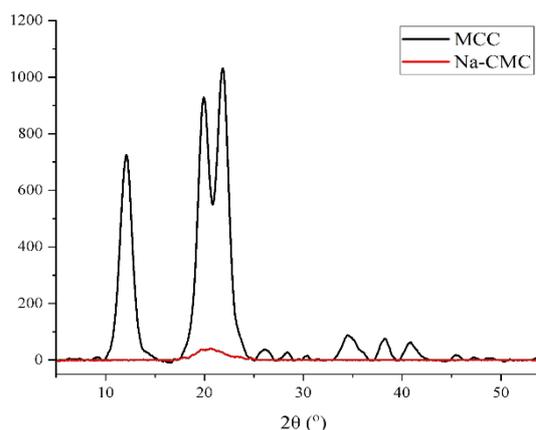
monokloroasetat yang ditambahkan pada proses eterifikasi. Singh & Singh (2013) menyatakan bahwa perlakuan ini memperluas jarak antar molekul polimer selulosa sehingga substitusi natrium monokloroasetat pada reaksi selanjutnya akan relatif lebih mudah daripada substitusi pada selulosa tanpa perlakuan alkalisasi. Selain itu, peran isopropanol sebagai pelarut inert dapat menjadi pengencer yang memfasilitasi proses penetrasi terhadap selulosa. Proses ini melarutkan gugus hidroksil dan membantu selulosa agar siap untuk reaksi eterifikasi. Alkali selulosa kemudian direaksikan dengan natrium monokloroasetat untuk membentuk Na-CMC. Reaksi substitusi antara selulosa dan asam monokloroasetat termasuk ke dalam reaksi nukleofilik (Mondal & Haque, 2019).

Keberhasilan pembuatan Na-CMC pada penelitian ini dapat dilihat dari Derajat Substitusi (DS) dari Na-CMC yang dihitung berdasarkan spektra FTIR. DS merupakan nilai rata-rata dari gugus karboksil yang bertukar dengan gugus hidroksil yang ada di setiap unit monomer anhidroglukosa. DS ditentukan dengan metode titrimetri untuk mengetahui jumlah senyawa karboksil yang ada dalam setiap monomer selulosa dan menggambarkan kualitas Na-CMC yang dihasilkan. Unit α -D-glucopyranose dari selulosa memiliki tiga gugus hidroksil sehingga secara teori maksimum DS yang dapat diperoleh yaitu 3 dengan rata-rata nilai diantara 0,4-1,5 (Aambjornsson *et al.*, 2013). Nilai DS yang diperoleh pada penelitian sebesar 0,716. Spektra FTIR dari Na-CMC dan MCC ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Spektra FTIR Na-CMC dan MCC

Puncak serapan yang lebar pada bilangan gelombang 3445 cm^{-1} menandakan adanya serapan dari gugus -OH *stretching*, serapan pada bilangan gelombang 2950-2800 cm^{-1} menandakan adanya vibrasi dari C-H *stretching*. Ikatan 1,4- β glukosida dari selulosa ditandakan dengan adanya puncak serapan pada bilangan gelombang 893 cm^{-1} (Yeasmin *et al.*, 2015). Adanya puncak serapan pada bilangan gelombang 1603 cm^{-1} dan 1425 cm^{-1} menandakan adanya serapan dari gugus karboksil (C=O) dan gugus karboksil sebagai garam secara berurutan (Parid *et al.*, 2018). Puncak serapan inilah yang membedakan Na-CMC dengan selulosa (Yeasmin *et al.*, 2015; Parid *et al.*, 2018). Kristalinitas dari Na-CMC dianalisis lebih lanjut menggunakan XRD yang ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Pola difraktogram Na-CMC MCC

Pola difraksi pada Gambar 6

menunjukkan hilangnya fase kristalin selama sintesis Na-CMC. Pola difraktogram yang tajam pada MCC kemudian bertransformasi menjadi lebar pada Na-CMC merupakan indikasi penurunan fase kristalin pada Na-CMC. Nilai *Crystallinity Index* dari Na-CMC juga mengalami penurunan dari 75,84% menjadi 37,79%. Penurunan ini dapat dikaitkan dengan ikatan inter dan intramolekul dari selulosa. Penurunan kristalinitas disebabkan oleh pembelahan ikatan hidrogen ketika NaOH ditambahkan dalam reaksi alkalisasi. Perlakuan ini memperluas jarak antara molekul polimer selulosa sehingga substitusi molekul natrium monokloroasetat ke dalam polimer selulosa relatif lebih mudah dibandingkan tanpa perlakuan alkalisasi dengan NaOH (Singh & Singh, 2013). Sehingga dapat disimpulkan bahwa Na-CMC yang dihasilkan memiliki kelarutan yang baik karena kristalinitas rendah merupakan indikasi dari kelarutan yang tinggi.

Preparasi dan Karakterisasi Hidrogel PVA/NA-CMC

Komposisi hidrogel yang optimum menurut U.S. *Patent Application* No. 14/349,202 dan U.S. *Patent Application* No. 12/740,629 mengandung zat pengikat silang, polimer pembentuk gel, alkohol

polihidrat, air, serta bahan aditif fungsional yang dapat ditambahkan lebih lanjut sesuai dengan penggunaan. Pada penelitian ini digunakan Maleat anhidrat (MA) sebagai zat pengikat silang dalam hidrogel PVA/Na-CMC sebanyak 1,5% (b/v). Zat pengikat silang sebanyak 0,1%-10% harus tercakup dalam komposisi hidrogel. Kandungan MA harus berada pada kisaran persen komposisi tersebut agar tidak meninggalkan residu namun tetap dapat mempertahankan bentuk dari hidrogel (Yoo *et al.*, 2014).

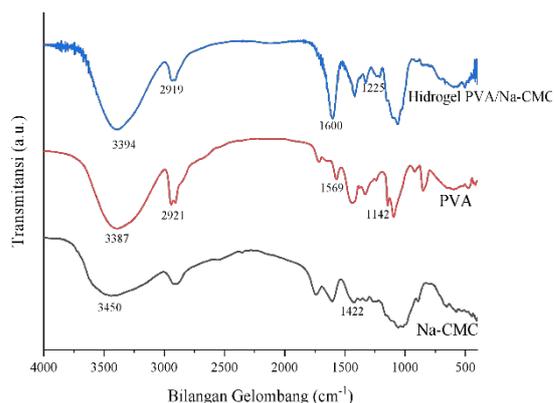
Na-CMC sebagai *gelling agent* pada hidrogel PVA/Na-CMC telah terkandung sebesar 0,02%-0,04%. Tsujihata (2010) dalam patennya melaporkan bahwa kandungan *gelling agent* atau zat pengental gel harus tercakup dalam formulasi gel sebesar 0,01%-5% agar fleksibilitas, elastisitas, serta bentuk hidrogel dapat dipertahankan. PVA merupakan polihidrik alkohol yang memiliki kandungan sebesar 0,04%-0,06% pada hidrogel PVA/Na-CMC.

Formulasi hidrogel harus mengandung polihidrik alkohol 0,04%-5% atau kurang dari 50% (Tsujihata, 2010; Yoo *et al.*, 2014). Kandungan PVA harus berada pada kisaran persen komposisi tersebut agar *flowability* atau kemampuan material untuk dibuat padat dengan densitas yang seragam tetap maksimum.

Pengujian kadar air dilakukan berdasarkan pengujian yang telah dilakukan oleh Tsujihata (2010) dan diperoleh kandungan air pada hidrogel PVA/Na-CMC sebesar 88,99%-91,05%. Kandungan air pada hidrogel harus berada pada kisaran 75%-95%. Kandungan air pada kisaran tersebut dapat mempertahankan kemampuan penetrasi serta kekuatan dari hidrogel. Tabel 1 menunjukkan komposisi hidrogel yang disintesis telah memenuhi syarat komposisi menurut U.S. *Patent Application* No. 14/349,202 dan U.S. *Patent Application* No. 12/740,629. Perbandingan spektra FTIR dari PVA, Na-CMC dan hidrogel PVA/Na-CMC ditunjukkan oleh Gambar 7.

Tabel 1. Komposisi Hidrogel

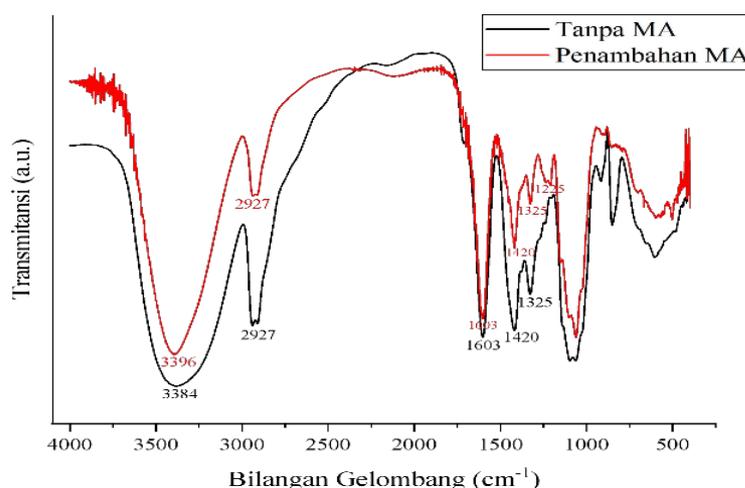
Kandungan	Hidrogel PVA/Na-CMC (Penelitian ini)	US Patent No. 14/349,202 No. 12/740,629
Zat pengikat silang	1,5%	0,1% - 10%
<i>Gelling agent</i>	0,02% - 0,04%	0,01% - 5%
Alkohol polihidrat	0,04% - 0,06%	0,04% - 5%
Air	88,99% - 91,05%	75% - 95%



Gambar 7. Perbandingan spektra FTIR dari PVA, Na-CMC dan hidrojel PVA/Na-CMC

Gambar 7 menunjukkan adanya puncak serapan pada bilangan gelombang 3450-3382 cm^{-1} dan 2921-2919 cm^{-1} yang merupakan serapan dari O-H *stretching* dan C-H *stretching* pada ketiga spektra FTIR. Puncak serapan pada bilangan gelombang 1225 cm^{-1} menunjukkan adanya C-O-C *stretching* dari ester (Pang *et al.*, 2011). Selain itu, adanya puncak khas PVA dari gugus C-

O *stretching* pada 1142 cm^{-1} tereliminasi pada spektra FTIR hidrojel PVA/Na-CMC. Pada puncak serapan pada 1422 cm^{-1} berasal dari gugus -COONa pada Na-CMC dan puncak serapan dari gugus C=O pada PVA di bilangan gelombang 1560 cm^{-1} bergeser ke 1600 cm^{-1} pada hidrojel PVA/Na-CMC. Pergeseran puncak serapan dapat disebabkan adanya interaksi ikatan hidrogen antara gugus -OH dan -COONa setelah PVA dan Na-CMC dicampurkan (Zhang *et al.*, 2013). Hilangnya puncak serapan karakteristik dari PVA disebabkan oleh perubahan struktur kristal serta penurunan kristalinitas dari PVA. Hal ini mengindikasikan hidrojel PVA/Na-CMC telah terbentuk. Pengaruh penambahan MA terhadap hidrojel ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 8. Spektra FTIR dari Hidrojel Pengikat Silang Tanpa Penambahan MA dan Hidrojel Pengikat Silang dengan Penambahan MA

Spektra FTIR dari hidrogel PVA/Na-CMC tanpa penambahan MA dan hidrogel dengan penambahan MA ditunjukkan pada Gambar 8. Bilangan gelombang 2927 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi dari -CH stretching . Puncak yang berdekatan pada 1420 cm^{-1} dan 1325 cm^{-1} merupakan serapan dari $\text{CH}_2\text{ scissoring}$ dan -OH bending (Wang & Wang, 2016). Puncak serapan pada bilangan gelombang $3396\text{-}3384\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi gugus OH stretching dari Na-CMC dan PVA pada hidrogel.

Intensitas spektra FTIR hidrogel dengan penambahan MA pada bilangan gelombang tersebut lebih lemah daripada hidrogel tanpa penambahan MA. Hal ini dapat dikaitkan dengan adanya interaksi berbagai gugus hidroksil dalam rantai Na-CMC dan PVA. Ini juga menunjukkan adanya penurunan jumlah gugus -OH yang timbul dalam campuran dan adanya substitusi dari MA diindikasikan oleh munculnya puncak serapan pada bilangan gelombang 1225 cm^{-1} dari C-O-C stretching dari ester (Pang *et al.*, 2011). Hal ini mengindikasikan bahwa interaksi pengikatan silang antara Na-CMC dan PVA menggunakan MA telah terjadi.

Komposisi polimer dan perlakuan yang dilakukan pada pembuatan hidrogel dirangkum dalam Tabel 2. Variasi

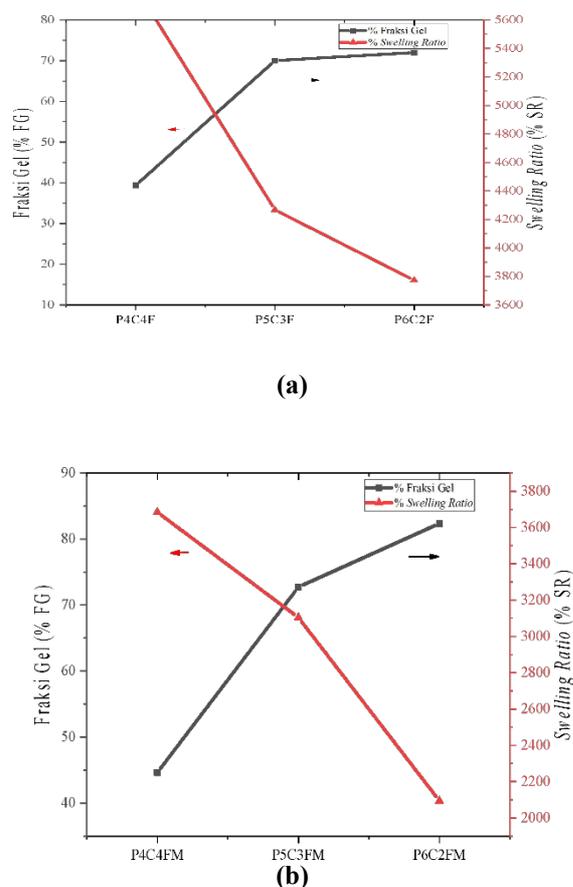
komposisi PVA dan Na-CMC dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbandingan komposisi PVA dan Na-CMC sehingga diperoleh hidrogel dengan sifat unggul. Selain itu, dilakukan pula penambahan MA pada hidrogel PVA/Na-CMC. Produk hidrogel selanjutnya dikarakterisasi dengan pengujian *swelling ratio* dan uji fraksi gel.

Tabel 2. Variasi komposisi pembuatan Hidrogel

Sampel	PVA (g)	Na-CMC (g)	Maleat anhidrat 1.5 %
P4C4	4	4	0
P5C3	5	3	0
P6C2	6	2	0
P4C4M	4	4	1,5 mL
P5C3M	5	3	1,5 mL
P6C2M	6	2	1,5 mL

Evaluasi *swelling ratio* bertujuan untuk mengetahui kapasitas penyerapan zat aktif yang dapat masuk ke dalam jaringan hidrogel. Sedangkan penentuan fraksi gel bertujuan untuk menentukan jumlah ikatan silang antar rantai molekul polimer yang dinyatakan dalam satuan persen. Banyaknya fraksi yang tidak terlarut menunjukkan jumlah ikatan silang yang terbentuk dari hidrogel (Ediningsih, 2018). Fraksi gel mencerminkan fraksi jumlah bahan awal (polimer) yang diubah menjadi hidrogel. Pengaruh komposisi bahan terhadap *swelling ratio* dan fraksi gel hidrogel dalam air ditunjukkan pada

Gambar 9.



Gambar 9. *Swelling Ratio* dan Fraksi Gel
(a) Tanpa Penambahan MA (b) Penambahan MA

Gambar 9 menunjukkan bahwa *swelling ratio* yang paling tinggi dihasilkan oleh hidrogel P4C4M dan P4C4, yaitu 3684% dan 5422% secara berurutan, di mana keduanya memiliki kandungan Na-CMC tertinggi dibandingkan variasi komposisi lainnya. Na-CMC merupakan polisakarida yang mengandung berbagai jenis gugus fungsi hidrofilik. Taleb *et al.*, (2009) menyatakan bahwa peningkatan jumlah Na-CMC dalam campuran dapat menghasilkan

hidrogel dengan *swelling ratio* lebih tinggi. Hal ini dapat dikaitkan dengan peningkatan karakter hidrofilik dari setiap unit monomer Na-CMC sehingga jumlah ikatan hidrogen yang terbentuk dengan air meningkat. Sedangkan P6C2M dan P6C2 memiliki *swelling ratio* terendah dibandingkan variasi komposisi PVA/Na-CMC lainnya, yaitu 2094% dan 3773%. Peningkatan jumlah PVA mengakibatkan peningkatan ikatan silang yaitu ikatan hidrogen intramolekul antar rantai PVA dalam struktur jaringan hidrogel yang mengakibatkan permeasi molekul air berjalan kurang efektif sehingga mengakibatkan penurunan *swelling ratio*.

Hasil yang diperoleh dari pengujian fraksi gel berbanding terbalik dengan *swelling ratio*. Fraksi gel dapat meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah PVA dalam campuran. Hidrogel P6C2M (82,35%) dan P6C2 (72%) memiliki nilai fraksi gel tertinggi sedangkan jika ditinjau dari *swelling ratio*, kedua hidrogel tersebut memiliki *swelling ratio* terendah. Fraksi gel yang tinggi mewakili struktur ikatan silang yang lebih tinggi dalam hidrogel. Di sisi lain, jaringan polimer yang sangat terkait silang dapat mengurangi penyerapan air dengan menghambat penetrasi air sehingga hidrogel dengan fraksi gel lebih tinggi menunjukkan *swelling ratio* terendah.

Besarnya *Swelling Ratio* & Fraksi Gel dari berbagai komposisi hidrogel ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil *Swelling Ratio* & Fraksi Gel

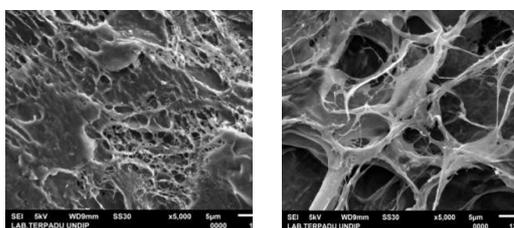
Hidrogel	<i>Swelling Ratio</i> (%SR)	Fraksi Gel (%FG)
P4C4	5422	39,38
P5C3	4267	70,00
P6C2	3773	72,00
P4C4M	3684	44,62
P5C3M	3104	72,72
P6C2M	2094	82,35

Metode pengikatan silang juga mempengaruhi *swelling ratio* dan fraksi gel. *Swelling ratio* tertinggi yang dihasilkan oleh P4C4M (3684%) dan P4C4 (5422%) menghasilkan tren yang berbanding terbalik dengan fraksi gel. Jika P4C4M dibandingkan dengan P4C4, terjadi perubahan *swelling ratio* secara signifikan dari 3684% pada P4C4M menjadi 5422% pada P4C4. Selain itu, hidrogel yang terbentuk dari pengikatan silang secara kimia memiliki transparansi yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengikatan silang secara fisik (Ciolacu *et al.*, 2016). Jaringan polimer yang terikat silang dapat mengurangi penyerapan air dengan menghambat penetrasi air karena kerapatan pori hidrogel yang dihasilkan dari proses pengikatan silang sehingga hidrogel yang memiliki nilai fraksi gel tinggi menunjukkan *swelling ratio* rendah

(Wang & Wang, 2016). Hal ini dibuktikan dengan hasil fraksi gel tertinggi pada hidrogel P6C2M dan P6C2 dibandingkan dengan ketiga komposisi hidrogel lainnya. Jika fraksi gel dari hidrogel P6C2M dibandingkan P6C2, penambahan maleat anhidrat meningkatkan jumlah ikatan silang dari 72,00% menjadi 82,35%. Rao *et al.*, (2014) menyatakan adanya ikatan silang pada polimer dapat menyebabkan kemampuan mengembangnya menurun serta membuat kestabilan gel meningkat sehingga agen pengikat silang juga mempengaruhi fleksibilitas material menjadi semakin keras dan kuat. MA memperkuat ikatan dalam polimer sehingga memungkinkan terjadinya perlawanan dalam *swelling*. Selain itu, gugus reaktif yang ada pada hidrogel semakin sedikit sehingga interaksi dengan air menjadi lebih sedikit dan membuat tingkat *swelling* menurun. Jika ditinjau dari segi fisik, hidrogel P4C4 tidak dapat mempertahankan bentuk hidrogel karena memiliki tekstur yang mudah hancur dibandingkan dengan hidrogel P4C4M yang memiliki tekstur yang lebih kaku dan tidak elastis. Oleh karena itu, dibutuhkan keseimbangan antara nilai fraksi gel dan *swelling ratio* untuk menghasilkan hidrogel dengan kemampuan penyerapan yang maksimal disertai elastisitas yang tinggi. Dari hasil

yang diperoleh, diketahui bahwa perbandingan komposisi hidrogel PVA/Na-CMC yang paling optimum adalah P5C3.

Selanjutnya, dilakukan analisis morfologi (Gambar 10) pada hidrogel PVA/Na-CMC dengan penambahan MA (P5C3M) maupun tanpa penambahan MA (P5C3).



(a) (b)

Gambar 10. Mikrograf SEM
(a) P5C3 dan (b) P5C3M

Mikrograf SEM pada Gambar 10 menunjukkan bahwa kedua hidrogel memiliki struktur seperti spons dengan tingkat porositas yang tinggi. Morfologi kedua hidrogel memungkinkan adanya proses difusi air sehingga proses penetrasi dapat efektif. Ukuran pori pada hidrogel P5C3 sekitar $0,977 \pm 0,402 \mu\text{m}$, sedangkan ukuran pori hidrogel P5C3M sekitar $3,643 \pm 0,913 \mu\text{m}$.

Penambahan MA pada jaringan hidrogel sebagai agen pengikat silang dapat meningkatkan ukuran pori dan hilangnya daerah yang lebih padat dengan morfologi yang dapat dianalogikan

dengan busa (Ciolacu *et al.*,2016). MA dapat mempertahankan morfologi serta kekuatan mekanik dari hidrogel. Selain itu, ukuran pori yang lebih besar dihasilkan oleh hidrogel P5C3M dikarenakan gel yang terbentuk dari P5C3M memiliki tekstur lebih kental dan elastis. MA sebagai agen pengikat silang dapat berperan sebagai “*spacer*” antar rantai sehingga menghasilkan hidrogel dengan morfologi lebih homogen. Dengan demikian, P5C3M merupakan kondisi optimum pada pembuatan hidrogel PVA/Na-CMC.

KESIMPULAN

Preparasi dan karakterisasi hidrogel PVA/Na-CMC dari TKKS dengan pengikat silang maleat anhidrat telah berhasil dilakukan. Komposisi hidrogel PVA/Na-CMC yang paling optimum adalah pada perbandingan PVA : Na-CMC sebesar 5 : 3 dengan penambahan maleat anhidrat. Hidrogel optimum (P5C3M) memiliki *swelling ratio* sebesar 3104%, nilai fraksi gel sebesar 72,72% dan ukuran pori sebesar sekitar $3,643 \pm 0,913 \mu\text{m}$.

Hasil penelitian ini, limbah TKKS dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan hidrogel dan disisi lain dapat mengurangi limbah padat dari Industri minyak kelapa sawit.

DAFTAR RUJUKAN

- Azubuike, C. P., & Okhamafe, A. O. (2012). Physicochemical, spectroscopic and thermal properties of microcrystalline cellulose derived from corn cobs. *International journal of recycling of organic waste in agriculture*, 1(1),9.
- Chang, C., Lue, A., & Zhang, L. (2008). Effects of crosslinking methods on structure and properties of cellulose/PVA hydrogels. *Macromolecular chemistry and physics*, 209(12), 1266-1273.
- Chang, C., Zhang, L., Zhou, J., Zhang, L., & Kennedy, J. F. (2010). Structure and properties of hydrogels prepared from cellulose in NaOH/urea aqueous solutions. *Carbohydrate Polymers*, 82(1), 122-127.
- Ciolacu, D., Rudaz, C., Vasilescu, M., & Budtova, T. (2016). Physically and chemically cross-linked cellulose cryogels: Structure, properties and application for controlled release. *Carbohydrate polymers*, 151, 392-400.
- Coniwanti, P., Dani, M., & Daulay, Z. S. (2017). Pembuatan natrium karboksimetil selulosa (Na-CMC) dari selulosa limbah kulit kacang tanah (*Arachis hypogea* L.). *Jurnal Teknik Kimia*, 21(4).
- Ediningsih, E., Pitono, J., Mardiana, E., & Erizal, E. (2018). Sintesis Dan Karakterisasi Hidrogel Poli (Vinil Alkohol) Maleat (PVAM) Dengan Pati Tapioka Termodifikasi Ekstrak Jahe. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 40(2), 117-128.
- Elanthikkal, S., Gopalakrishnapanicker, U., Varghese, S., & Guthrie, J. T. (2010). Cellulose microfibrils produced from banana plant wastes: Isolation and characterization. *Carbohydrate Polymers*, 80(3), 852-859.
- El-Tahlawy K, Venditti, Ra, Pawlak Jj, (2007), Aspects of the preparation of starch microcellular foam particles crosslinked with glutaraldehyde using a solvent exchange technique, *carbohydrate polymers*, 67(3), 319-331. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.05.029>.
- Haafiz, M. M., Hassan, A., Arjmandi, R., Zakaria, Z., Marliana, M. M., Syakir, M. I., & Fazita, M. N. (2016). Microcrystalline cellulose from oil palm empty fruit bunches as filler in polylactic acid. *Polymers and Polymer Composites*, 24(9), 675-680.

- Hoffman, A. S. (2012). Hydrogels for biomedical applications. *Advanced drug delivery reviews*, 64, 18-23.
- Mondal & Haque, M. I. H., & Haque, M. O. (2019). *Cellulosic Hydrogels: A Greener Solution of Sustainability. Cellulose-Based Superabsorbent Hydrogels*, Switzerland, Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77830-3_4
- Harsono, Mulyantara, L. T., Rizaluddin, A. T., Nakagawa-izumi, A., Ohi, H., & Nakamata, K. (2015). Properties of fibers prepared from oil palm empty fruit bunch for use as corrugating medium and fiberboard. *Japan TAPPI Journal*, 69(12), 1349-1359. <https://doi.org/10.2524/jtappij.1508>
- Pang, S. C., Chin, S. F., Tay, S. H., & Tchong, F. M. (2011). Starch-maleate-polyvinyl alcohol hydrogels with controllable swelling behaviors. *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 424-429.
- Parid, D. M., Rahman, N. A. A., Baharuddin, A. S., Mohammed, M. A. P., Johari, A. M., & Razak, S. Z. A. (2017). Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose from oil palm empty fruit bunch stalk fibres. *BioResources*, 13(1), 535-554.
- Park, S., Baker, J. O., Himmel, M. E., Parilla, P. A., & Johnson, D. K. (2010). Cellulose crystallinity index: measurement techniques and their impact on interpreting cellulase performance. *Biotechnology for biofuels*, 3(1), 10.
- Pujiasih, S., Masykur, A., Kusumaningsih, T., & Saputra, O. A. (2018). Silylation and characterization of microcrystalline cellulose isolated from Indonesian native oil palm empty fruit bunch. *Carbohydrate polymers*, 184, 74-81.
- Rahim, F., Deviarny, C., Yenti, R., & Ramadani, P. (2016). Formulasi sediaan patch transdermal dari rimpang rumput teki (*Cyperus rotundus* L.) untuk pengobatan nyeri sendi pada tikus putih jantan. *Scientia: Jurnal Farmasi dan Kesehatan*, 6(1), 1-6.
- Rao, W., Zhao, S., Yu, J., Lu, X., Zynger, D. L., & He, X. (2014). Enhanced enrichment of prostate cancer stem-like cells with miniaturized 3D culture in liquid core-hydrogel shell microcapsules. *Biomaterials*, 35(27), 7762-7773.
- Rosa, S. M., Rehman, N., de Miranda, M. I. G., Nachtigall, S. M., & Bica, C. I. (2012). Chlorine-free extraction of cellulose from rice husk and whisker

- isolation. *Carbohydrate Polymers*, 87(2), 1131-1138.
- Saputra, O.A, Nauqinida, M., Kurnia, Pujiasih, S., Kusumaningsih, T., Pramono, E., 2021, Improvement of anionic and cationic dyes removal in aqueous solution by Indonesian agro-waste oil palm empty fruit bunches through silylation approach. *Groundwater for sustainable development*, 13.
- Seki, Y., Altinisik, A., Demircioğlu, B., & Tetik, C. (2014). Carboxy methyl cellulose (CMC)–hydroxy ethyl cellulose (HEC) based hydrogels: synthesis and characterization. *Cellulose*, 21(3), 1689-1698.
- Singh, R. K., & Singh, A. K. (2013). Optimization of reaction conditions for preparing carboxy methyl cellulose from corn cobic agricultural waste. *Waste and Biomass Valorization*, 4(1), 129-137.
- Soom, R. M., Aziz, A. A., Hassan, W. H. W., & Top, A. G. M. (2009). Solid-state characteristics of microcrystalline cellulose from oil palm empty fruit bunch fibre. *Journal of oil palm research*, 21(June), 613-620.
- Taleb, M. F. A., El-Mohdy, H. A., & El-Rehim, H. A. (2009). Radiation preparation of PVA/CMC copolymers and their application in removal of dyes. *Journal of hazardous materials*, 168(1), 68-75.
- Trache, D., Hussin, M.H., Chuin, C.T.H.C., Sabar, S., Fazita, M.R.N., Taiwo, O.F.A., Hassan, T.M., & Haafiz, M.K.M., (2016), Microcrystalline cellulose: isolation, characterization and bio-composites application – A review, *Biological Macromolecules*.
- Tsujihata, S. (2010). *U.S. Patent Application No. 12/740,629*.
- Wang, L. Y., & Wang, M. J. (2016). Removal of heavy metal ions by poly (vinyl alcohol) and carboxymethyl cellulose composite hydrogels prepared by a freeze–thaw method. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4(5), 2830-2837.
- Xiang, L. Y., Mohammed, M. A. P., & Baharuddin, A. S. (2016). Characterisation microcrystalline cellulose applications. *Carbohydrate polymers*, 148, 11-20.
- Yeasmin, M. S., & Mondal & Haque, M. I. H. (2015). Synthesis of highly substituted carboxy methyl cellulose depending on cellulose particle size. *International journal of biological macromolecules*, 80, 725-731.
- Yoo, H. O., Kim, J. C., Yang, J. A., Choi,

- E. K., & Lim, J. M. (2014). *U.S. Patent Application No. 14/349,202*.
- Yunos, N. S. H. M., Baharuddin, A. S., Yunos, K. F. M., Naim, M. N., & Nishida, H. (2012). Physicochemical property changes of oil palm mesocarp fibers treated with high-pressure steam. *BioResources*, 7(4), 5983-5994.
- Zhang, L., Zhang, G., Lu, J., & Liang, H. (2013). Preparation and characterization of carboxy methyl cellulose/polyvinyl alcohol blend film as a potential coating material. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 52(2), 163-167.