



Characterization of Hydrogel Cellulose-Citrate-CMC from Oil Palm Waste

Karakterisasi Hidrogel Selulosa-Sitrat-CMC dari Limbah Kelapa Sawit

Fernando Nainggolan*, Trisno Afandi

Departemen Teknik Kimia, Politeknik Teknologi Kimia Industri, Medan, Sumatera Utara, 20228

* Corresponding author: fernando.nainggolan@ptki.ac.id

Received: January 06, 2025, Accepted: July 07, 2026, Published: July 25, 2026

ABSTRACT

Despite being produced in substantial quantities by the industry, oil palm fiber waste is still rarely utilized. An alternative use of oil palm fibers is as a cellulose which is applied as a hydrogel. To ascertain the characteristics of the cellulose hydrogel of oil palm fibers, we synthesized a cellulose-citrate-CMC hydrogel. In this paper, we confirm the isolated cellulose from oil palm fibers waste is up to 39.83%. The characteristics of hydrogels are amorphous and smooth in surface morphology. The swelling capacity of hydrogels is about three times their original mass. Therefore, we hope that the hydrogel of cellulose-citrate-CMC can be an alternative product as a solution of the oil palm fibers waste in industry.

Keywords: Hydrogel, Cellulose, Swelling, Oil Palm Fibers, Waste

PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu negara penghasil minyak sawit utama di dunia, dengan perkebunan kelapa sawit yang hampir menjangkau seluruh wilayahnya. Setiap tahun, jumlah perkebunan kelapa sawit di Indonesia terus meningkat seiring bertambahnya manfaat dari hal tersebut. Limbah dari serat kelapa sawit adalah limbah padat yang cukup besar yang dihasilkan oleh industri, tetapi masih banyak yang belum dimanfaatkan. Dalam tahap pengolahan, satu ton tandan buah segar (TBS) bisa menghasilkan sekitar 20%-22% minyak sawit mentah bersama produk samping biomassa kelapa sawit seperti tandan kosong yang mencapai 23%-25%, serat mesokarp antara 13%-15%, dan cangkang inti sawit sebesar 5%-6% (Abel et al., 2021).

Selulosa merupakan salah satu tipe biomolekul dalam kategori karbohidrat yang ditemukan di dalam serat kelapa sawit. Molekul selulosa terdiri dari Karbon (C), Hidrogen (H), dan Oksigen (O), di mana dua unsur terakhir hadir dalam rasio yang sama seperti yang ada pada molekul air. Selulosa adalah salah satu biopolimer terbarukan yang paling banyak ditemukan, yang dihasilkan secara alami oleh tanaman dan mikroorganisme pada makhluk hidup (Klemm et al., 2018). Selulosa juga bisa diubah secara kimiawi, dan hasilnya dapat digunakan untuk berbagai keperluan pada kehidupan, seperti dalam teknologi pengemasan, alat pemisahan, bidang biomedis dan sensor, serta aplikasi lain termasuk pembuatan hidrogel (Wang, Wang, Xie, & Zhang, 2018).

Hidrogel adalah polimer yang mudah menyerap air dan dapat menampung jumlah

air yang sangat besar dibandingkan dengan massa materialnya sendiri, menjadikannya ideal untuk berbagai penggunaan karena karakteristiknya yang istimewa. Penggunaannya meliputi sektor pertanian, medis, dan restorasi lingkungan. Hidrogel memiliki keunggulan dalam kemampuan menahan dan melepaskan air dengan efektif, yang dapat meningkatkan kualitas tanah, menurunkan laju kehilangan pupuk, dan berfungsi sebagai penyimpan air di tanah yang kering, sehingga berpotensi mengurangi kebutuhan irigasi (Miljković, Gajić, & Nikolić, 2021).

Salah satu cara lain untuk memanfaatkan serat dari kelapa sawit yang berasal dari industri kelapa sawit adalah dengan menjadikannya pupuk bagi kebun dan pertanian. Umumnya, pabrik yang mengolah kelapa sawit memerlukan waktu yang cukup lama untuk membuat pupuk dari limbah seratnya. Proses pengolahan kelapa sawit yang terus berlanjut menyebabkan jumlah limbah serat kelapa sawit semakin banyak, dan ini menjadi masalah yang terus berlangsung di kebun kelapa sawit. Berbagai penelitian telah dilakukan dengan tujuan mengekstraksi dan mengkarakterisasi komponen yang terdapat dalam biomassa kelapa sawit, seperti selulosa dan hemiselulosa, untuk bermacam-macam penggunaan, termasuk dalam produksi hidrogel dan bahan penguat untuk komposit polimer (Miljković et al., 2021).

Asam sitrat telah menjadi pilihan relevan sebagai bahan pengikat silang yang murah, ramah lingkungan, dan berkelanjutan apabila disintesis dengan selulosa dalam pembuatan dan pengembangan material biopolimer saat ini dan menunjukkan kemampuan penyerapan terhadap air dengan sangat baik (Dudeja, Mankoo, Singh, & Kaur, 2023). Penggunaan limbah biomassa serat kelapa sawit memiliki potensi untuk menghasilkan produk bernilai tinggi dalam bentuk hidrogel, maka kami berusaha untuk mensintesis hidrogel berbahan dasar selulosa dengan asam sitrat untuk mengetahui karakteristik hidrogel yang dihasilkan serta dapat dikembangkan selanjutnya di kemudian hari.

METODOLOGI

Bahan

Limbah serat kelapa sawit diperoleh dari Pabrik Mini Kelapa Sawit PTKI sedangkan H_2O_2 3%, Carboxymethyl cellulose (CMC), Asam

sitrat, NaOH, dan Aquadest diperoleh secara komersial.

Persiapan bahan baku

Limbah serat kelapa sawit dicuci hingga bersih dan dipotong kecil agar mudah direaksikan.

Proses hidrolisis

Serat kelapa sawit yang sudah dipotong kecil dan halus kemudian dipanaskan dengan larutan NaOH 5% hingga mencapai suhu 100°C selama 60 menit dengan perbandingan komposisi antara serat kelapa sawit dengan larutan NaOH 5% (1:4) dengan volume 1000 mL lalu dicuci dengan aquadest hingga bersih dan netral.

Proses bleaching

Sampel hasil hidrolisis seberat 40 gram diletakkan dalam erlenmeyer 500 mL dan dicampurkan dengan 400 mL H_2O_2 3%. Kemudian, sampel tersebut dipanaskan hingga suhu 60°C selama 1 jam sampai berwarna putih cerah, setelah itu dicuci menggunakan aquadest, disaring, dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama semalaman, lalu disimpan dalam desikator untuk keperluan selanjutnya.

Proses pembuatan hidrogel

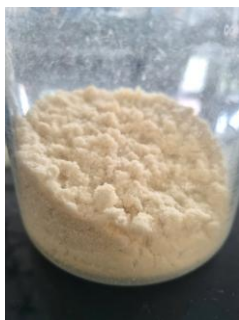
Selulosa : Sitrat : CMC dengan perbandingan 0,25 : 0,1 : 1 gram sebagai Hidrogel 1 dengan 20 mL aquadest yang diaduk selama 15 menit pada suhu 60°C kemudian dituangkan ke dalam sebuah wadah cetakan lalu dicuci secara hati-hati dengan aquadest hingga netral dan dikeringkan selama 2 malam dalam desikator hingga menjadi lapisan tipis. Prosedur ini juga dilakukan sama dengan variasi perbandingan 0,25 : 0,1 : 1,5 gram sebagai Hidrogel 2 dan 0,25 : 0,1 : 2 gram sebagai Hidrogel 3.

Pengujian selulosa dan hidrogel

Selulosa dan hidrogel yang diperoleh diuji karakteristiknya menggunakan alat instrumen analisis FTIR dan SEM di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung sedangkan analisis XRD dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang.

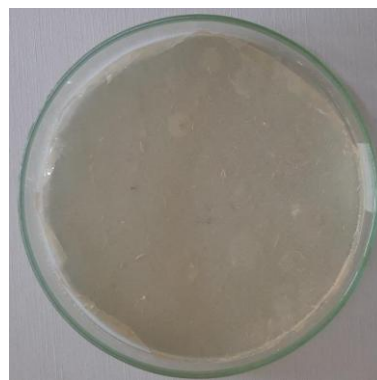
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan awal yang dilakukan adalah mencuci limbah serat kelapa sawit dengan air bersih kemudian dilanjutkan dengan pemotongan hingga berukuran kecil dan halus yang bertujuan untuk membersihkan kotoran yang menempel yang dapat mengganggu reaksi hidrolisis. Tahapan hidrolisis dilakukan dengan cara melakukan pemanasan larutan NaOH dengan limbah serat kelapa sawit pada suhu 100°C sambil diaduk, hingga sebagian besar lignin dan hemiselulosa tampak terpisah dari selulosa. Pemanasan ini menyebabkan larutan berwarna coklat kehitaman akibat dari reaksi antara lignin dengan NaOH. Selain itu, NaOH juga melemahkan ikatan yang terdapat diantara selulosa sehingga lignin dan hemiselulosa mampu terpisah dan larut dalam larutan NaOH, sedangkan selulosa tampak mengembang (Mboowa, 2024). Kemudian tahapan pemucatan yang dikenal juga sebagai proses bleaching dilakukan menggunakan larutan H₂O₂ 3% yang dipanaskan hingga suhu mencapai 60°C dalam 60 menit sambil diaduk merata. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa lignin yang masih menempel dari pulp yang telah dihasilkan. Umumnya, proses bleaching bertujuan untuk menjadikan pulp menjadi putih cerah, meningkatkan kemurnian selulosa yang dihasilkan, dan menghindari kerusakan selulosa tersebut (Brännvall & Aulin, 2022). Dalam, penelitian ini diperoleh berat selulosa sebesar 39,83 gram dari 100 gram limbah serat kelapa sawit. Selulosa yang dihasilkan dalam penelitian ini terlihat berwarna putih bersih dengan tekstur halus seperti tertera pada Gambar 1.



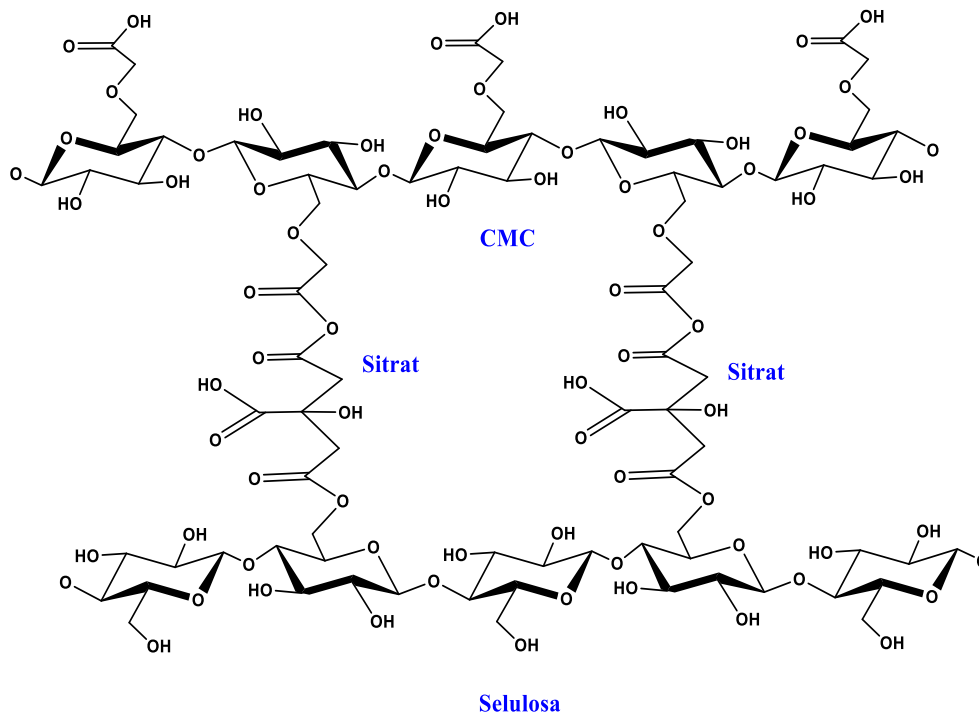
Gambar 1. Selulosa serat kelapa sawit

Selanjutnya, selulosa dari serat kelapa sawit dimanfaatkan sebagai bahan untuk membuat hidrogel. Hidrogel itu dibuat dengan campuran antara selulosa serat kelapa sawit, asam sitrat, dan CMC. CMC berfungsi sebagai polimer yang memiliki sifat hidrofilik yang mampu menyerap air dalam jaringannya, sedangkan asam sitrat bertindak sebagai agen pengikat silang yang menghubungkan antara selulosa dan CMC. CMC memiliki karakteristik khusus, termasuk kemampuan adsorpsi yang tinggi dan kemampuan pembengkakan yang besar. Di sisi lain, asam sitrat dipilih karena sifatnya yang ramah lingkungan, tidak bersifat karsinogenik, dan aman bagi kesehatan. Ketika dipanaskan pada suhu 60°C, gugus asam karboksilat di dalam asam sitrat mulai mengalami proses dehidrasi, kemudian asam sitrat berikatan silang dengan gugus hidroksil dari selulosa serat kelapa sawit dan CMC, menghasilkan hidrogel selulosa-sitrat-CMC seperti tampak pada Gambar 2 (Zainal et al., 2021).



Gambar 2. Hidrogel selulosa/CMC terikat silang sitrat

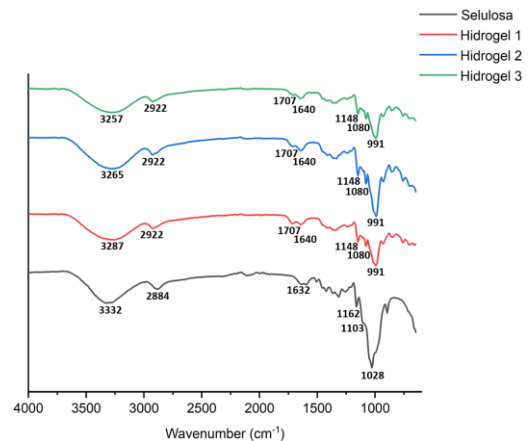
Dalam studi ini, kemungkinan terbentuknya struktur molekul ikatan silang pada kombinasi selulosa/CMC disebabkan oleh keberadaan dua jenis bahan yang dapat berinteraksi dengan zat pengikat silang sitrat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Ini juga dipicu oleh pencampuran CMC dan selulosa yang bisa larut ketika dipanaskan dengan asam sitrat, yang terlihat dari perubahan bentuk menjadi gel yang mampu menahan air.



Gambar 3. Struktur molekul ikatan silang yang terjadi pada selulosa/CMC terikat silang sitrat

Analisis gugus fungsi pada *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

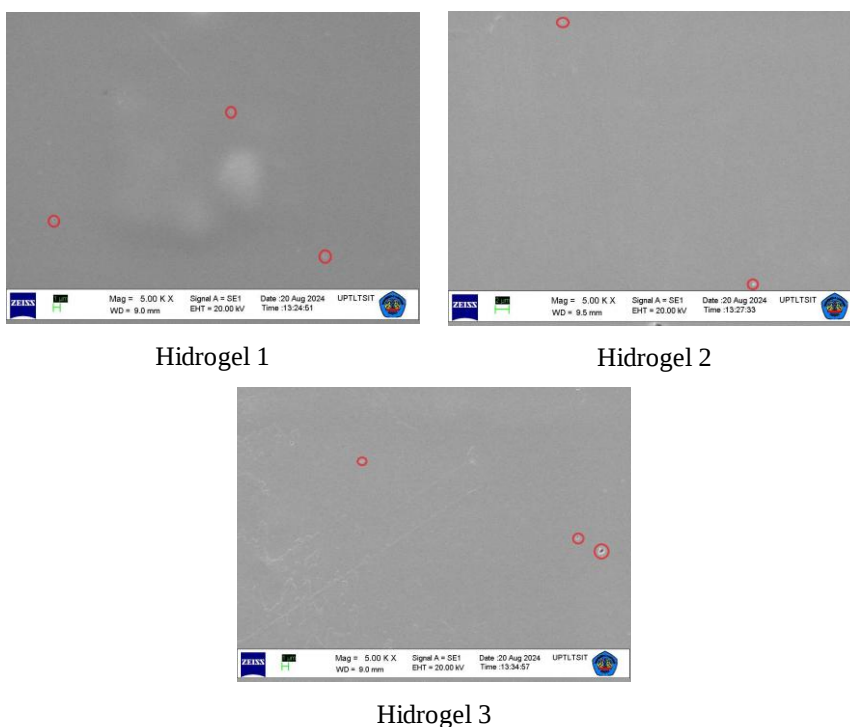
Spektra FT-IR selulosa dari limbah serat kelapa sawit dan Hidrogel 1, Hidrogel 2, serta Hidrogel 3 dari selulosa-sitrat-CMC masing-masing ditunjukkan pada Gambar 4. Serapan di bilangan gelombang 3257-3287 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus -OH pada hidrogel begitu juga pada selulosa di bilangan gelombang 3332 cm^{-1} . Serapan di bilangan gelombang 2884 cm^{-1} mengindikasikan terdapatnya ikatan -CH- pada selulosa namun ikatan tersebut muncul di bilangan gelombang 2922 cm^{-1} pada hidrogel. Serapan di bilangan gelombang 1707 cm^{-1} sebagai gugus C=O, dan 1640 cm^{-1} sebagai ikatan -COO- pada hidrogel. Serapan di bilangan gelombang 1080 cm^{-1} pada hidrogel dan 1103 cm^{-1} pada selulosa menunjukkan ikatan C-O-C pada cincin piranosa. Dengan begitu, menurut analisis data FTIR, proses hidrolisis dan pemutihan limbah serat kelapa sawit menunjukkan sifat-sifat selulosa. Terlihat bahwa hidrogel selulosa-sitrat-CMC telah berhasil dibuat, yang ditandai dengan munculnya puncak pada bilangan gelombang 1707 cm^{-1} , menunjukkan adanya ikatan ester antara asam sitrat dan gugus hidroksil dari selulosa/CMC. (Kanafi, Rahman, & Rosdi, 2019; Pitaloka, Rukmana, & Nur'afiani, 2021).



Gambar 4. Spektra FT-IR hidrogel selulosa/CMC terikat silang sitrat.

Analisis morfologi permukaan pada *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Pada area permukaan hidrogel selulosa-sitrat-CMC pada seluruh hidrogel, seperti yang terlihat pada Gambar 5, menunjukkan tekstur permukaan yang halus dan datar, namun masih tampak adanya sisa-sisa bahan yang belum sepenuhnya bereaksi dengan asam sitrat akibat proses pengadukan yang kurang optimal ditandai dengan lingkaran merah pada gambar. Ikatan silang antara selulosa dengan CMC dan asam sitrat terjadi karena gugus karboksil dari asam sitrat berikatan dengan gugus hidroksil dari selulosa dan CMC, yang mengakibatkan peningkatan densitas pada morfologi permukaan hidrogel (Sari, Susmanto, Dahlan, Kamega, & Pratiwi, 2024).



Gambar 5. Morfologi permukaan hidrogel dengan perbesaran 5000x

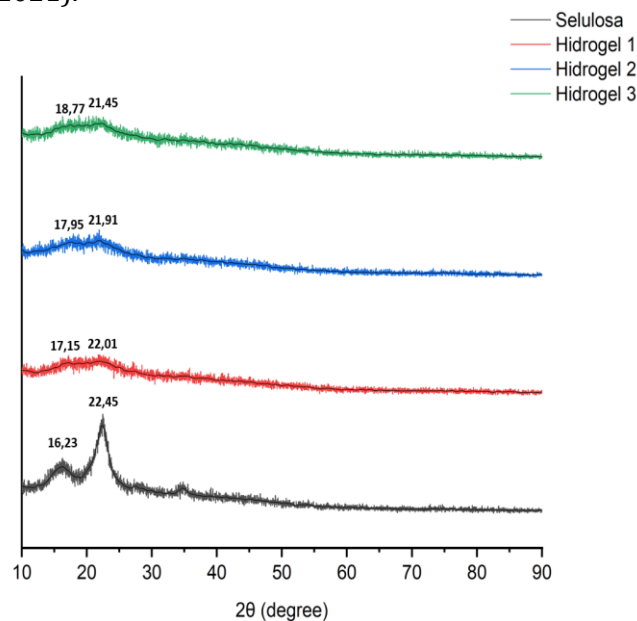
Analisis struktur pada X-Ray Diffraction (XRD)

Pada pola XRD hidrogel selulosa-sitrat-CMC, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, menunjukkan pola difraksi fase amorf dengan tidak adanya puncak yang terlihat jelas dengan intensitas yang relatif rendah. Puncak yang teramati pada $2\theta = 17-22^\circ$ pada hidrogel tidak tampak signifikan tajam melainkan relatif datar, menunjukkan karakteristik struktur dari turunan selulosa yang bersifat amorf. Namun, pada puncak difraksi dari selulosa serat kelapa sawit masih terlihat jelas pada $2\theta = 16^\circ$ dan 22° oleh karena selulosa masih memiliki sifat kristalin. Ketika selulosa/CMC berikatan silang dengan asam sitrat menghasilkan hidrogel, menyebabkan penurunan sifat kristalinitas, sehingga menghasilkan sifat amorf pada hidrogel tersebut. (Tuan Mohamood, Abdul Halim, & Zainuddin, 2021).

Analisis daya serap air

Analisis kemampuan hidrogel dalam menyerap air dapat dilakukan dengan menghitung persentase pembengkakan massa hidrogel (*swelling*). Ketika hidrogel selulosa-sitrat-CMC direndam dalam 10 mL aquadest selama 10 menit didalam sebuah wadah, persentase pembengkakannya dapat mencapai hingga sekitar tiga kali massanya itu sendiri

seperti pada Hidrogel 1 sebesar 300,00%, Hidrogel sebesar 310,97%, dan Hidrogel 3 sebesar 334,67% yang tertera pada Tabel 1. Keberadaan gugus -OH pada hidrogel selulosa-sitrat-CMC memungkinkan terbentuknya ikatan hidrogen dengan air yang terperangkap dalam strukturalnya, sehingga menyebabkan pembengkakan pada hidrogel (Pitaloka et al., 2021).



Gambar 6. Difraktogram XRD hidrogel selulosa/CMC terikat silang sitrat.

Tabel 1. Daya serap hidrogel selulosa-sitrat-CMC terhadap air.

Hidrogel	Waktu (menit)	Volume Aquadest (ml)	Berat Hidrogel		Swelling (%)
			Sebelum Rendam (gr)	Setelah Rendam (gr)	
1	10	10	0,051	0,153	300,00
2	10	10	0,082	0,255	310,97
3	10	10	0,075	0,251	334,67

KESIMPULAN

Hasil ekstraksi selulosa dari limbah serat kelapa sawit mencapai 39,83% dengan tekstur halus dan berwarna putih cerah. Permukaan hidrogel yang terbuat dari selulosa dan CMC yang diikat silang dengan sitrat menunjukkan tekstur permukaan yang halus dan rata. Kemampuan menyerap air pada hidrogel selulosa-sitrat-CMC tersebut dapat mencapai tiga kali lipat dari berat hidrogelnya itu sendiri. Untuk penelitian selanjutnya, sangat dianjurkan untuk menghitung derajat polimerisasi yang terjadi serta menggunakan agen pengikat silang yang berbeda untuk mengetahui tingkat *swelling* maksimum pada hidrogel berbahan dasar selulosa tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Teknologi Kimia Industri atas dukungannya dalam penulisan ini.

REFERENSI

- Abel, S. E. R., Loh, S. K., Wahab, N. A., Masek, O., Tanimu, M. I., & Bachmann, R. T. (2021). Effect of operating temperature on physicochemical properties of empty fruit bunch cellulose-derived biochar. *Journal of Oil Palm Research*, 33(4), 643-652.
- Brännvall, E., & Aulin, C. (2022). CNFs from softwood pulp fibers containing hemicellulose and lignin. *Cellulose*, 29(9), 4961-4976.
- Dudeja, I., Mankoo, R. K., Singh, A., & Kaur, J. (2023). Citric acid: An ecofriendly cross-linker for the production of functional biopolymeric materials. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 36, 101307.
- Kanafi, N. M., Rahman, N. A., & Rosdi, N. H. (2019). Citric acid cross-linking of highly porous carboxymethyl cellulose/poly (ethylene oxide) composite hydrogel films for controlled release applications. *Materials Today: Proceedings*, 7, 721-731.
- Klemm, D., Cranston, E. D., Fischer, D., Gama, M., Kedzior, S. A., Kralisch, D., . . . Nietzsche, S. (2018). Nanocellulose as a natural source for groundbreaking applications in materials science: Today's state. *Materials Today*, 21(7), 720-748.
- Mboowa, D. (2024). A review of the traditional pulping methods and the recent improvements in the pulping processes. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(1), 1-12.
- Miljković, V., Gajić, I., & Nikolić, L. (2021). Waste materials as a resource for production of cmc superabsorbent hydrogel for sustainable agriculture. *Polymers*, 13(23), 4115.
- 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), 7-11.
- Sari, T. I., Susmanto, P., Dahlan, M. H., Kamega, N. I., & Pratiwi, A. (2024). Pembuatan Hidrogel Berbasis Polivinil Alkohol (PVA)/Karboksimetil Selulosa (CMC)/Minyak Asiri Serai Menggunakan Metode Chemical Crosslinked. *Jurnal Integrasi Proses*, 13(1), 43-51.

- Tuan Mohamood, N. F. A.-Z., Abdul Halim, A. H., & Zainuddin, N. (2021). Carboxymethyl cellulose hydrogel from biomass waste of oil palm empty fruit bunch using calcium chloride as crosslinking agent. *Polymers*, 13(23), 4056.
- Wang, Y., Wang, X., Xie, Y., & Zhang, K. (2018). Functional nanomaterials through esterification of cellulose: a review of chemistry and application. *Cellulose*, 25, 3703-3731.
- Zainal, S. H., Mohd, N. H., Suhaili, N., Anuar, F. H., Lazim, A. M., & Othaman, R. (2021). Preparation of cellulose-based hydrogel: A review. *Journal of Materials Research and Technology*, 10, 935-952.