

Cross-Linking Study Of Cellulose/CMC From Oil Palm Fiber Waste With Citric Acid

Trisno Afandi¹, Fernando Nainggolan²

Program Studi Teknik Kimia, Politeknik Teknologi Kimia Industri, Medan, Indonesia^{1,2}

Corresponding Email: fernando.nainggolan@ptki.ac.id

Info Artikel

Submitted: 05 Oktober 2025

Revised : 11 Oktober 2025

Accepted: 21 November 2025

Published: 12 Desember 2025

Keywords: Hydrogel, Cellulose, Oil palm fiber, Citric acid, Cross-link

Kata Kunci: Hidrogel, Selulosa, Serat kelapa sawit, Asam sitrat, Ikat silang

Abstract

Cellulose from oil palm mesocarp fiber waste can be used as raw material for synthesizing hydrogel. In this study, cellulose was initially extracted through two stages: (1) hydrolysis with NaOH, and (2) bleaching using 3% H₂O₂. The cellulose was smooth and white in color. The cross-linking reaction of citric acid, CMC, and cellulose from oil palm mesocarp fiber was carried out in the synthesis process to form a hydrogel. The infra red (IR) spectrum of cellulose/CMC hydrogel shows that the synthesis was successful, indicated by the presence of an absorption peak at wave number 1700-1750 cm⁻¹ indicating the formation of C=O ester bonds, peaks at wave numbers 1640 cm⁻¹ and 1356 cm⁻¹ indicating the substitution of carboxymethyl groups in the CMC chain with -COO- and -CH₂- groups, respectively, a broad peak at wave number 950-1050 cm⁻¹ indicating the presence of absorption from the pyranose ring, the peak at wave number 3265 cm⁻¹ indicating the vibration of the -OH group indicating the hydrophilic nature of the citrate cross-linked hydrogel/CMC. The results show that citric acid acts as a cheap cross-linker and is classified as an organic acid with non-toxic hydrophilic properties in the manufacture of cellulose/CMC hydrogels.

Abstrak

Selulosa dari limbah mesokarp kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan hidrogel. Dalam penelitian ini, selulosa diekstrak melalui 2 tahapan, diantaranya (1) proses hidrolisis dengan NaOH, (2) proses bleaching menggunakan H₂O₂ 3%. Selulosa yang dihasilkan bertekstur halus dengan warna putih. Reaksi ikat silang dari asam sitrat, CMC, dan selulosa serat mesokarp kelapa sawit dilakukan dalam proses sintesis membentuk hidrogel. Spektrum infra red (IR) hidrogel selulosa/CMC menunjukkan sintesis berhasil dilakukan ditandai dengan adanya puncak serapan pada bilangan gelombang 1700-1750 cm⁻¹ mengindikasikan pembentukan ikatan C=O ester, puncak pada bilangan gelombang 1640 cm⁻¹ dan 1356 cm⁻¹ masing-masing menunjukkan substitusi gugus karboksimetil pada rantai CMC dengan gugus -COO- dan -CH₂-, puncak yang melebar pada bilangan gelombang 950-1050 cm⁻¹ mengindikasikan adanya serapan dari cincin piranosa, puncak pada bilangan gelombang 3265 cm⁻¹ mengindikasikan vibrasi gugus -OH yang menunjukkan sifat hidrofilik dari hidrogel/CMC terikat silang sitrat. Hasil menunjukkan bahwa asam sitrat berperan sebagai cross-linker yang murah dan tergolong asam organik dengan sifat hidrofilik yang non toksik dalam pembuatan hidrogel selulosa/CMC.

Publisher: UPPM Politeknik Teknologi Kimia Industri

Licensed: This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License \(CC BY-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



PENDAHULUAN

Sebagai salah satu negara penghasil produk olahan kelapa sawit terbesar di dunia, Indonesia memiliki sentra perkebunan kelapa sawit yang terdapat di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Papua (Nabila et al., 2023). Dalam proses pengolahan kelapa sawit seringkali menghasilkan limbah yang belum dapat dioptimalkan lebih lanjut. Setiap proses pengolahan tandan buah segar mampu menghasilkan 20%-22% minyak sawit mentah beserta limbah berupa biomassa kelapa sawit seperti tandan kosong sebanyak 23%-25%, serat mesokarp sebanyak 13%-15% dan cangkang inti sawit sebanyak 5%- 6% (Haryanto et al., 2021). Limbah biomassa ini, meskipun merupakan produk samping dari industri kelapa sawit yang menguntungkan, namun menghadirkan tantangan lingkungan yang signifikan (Gan et al., 2023). Akumulasi limbah tersebut tidak hanya berkontribusi terhadap polusi tetapi juga menimbulkan kekhawatiran mengenai pengelolaan produk sampingan pertanian yang berkelanjutan.

Selulosa merupakan senyawa biomolekul karbohidrat yang melimpah pada biomassa kelapa sawit yang tersusun atas unsur Karbon (C), Hidrogen (H), dan Oksigen (O). Selulosa lebih lanjut dapat dimodifikasi secara kimiawi yang kemudian dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi, diantaranya dalam teknologi pengemasan, media pemisahan, biomedis dan sensor, dan aplikasi lainnya termasuk pembuatan hidrogel (Etale et al., 2023; Cheng et al. 2023; Dang et al., 2024). Komponen utama senyawa kimia pada limbah padat yang berasal dari serat kelapa sawit adalah lignin sebesar 31,34%; hemiselulosa 19,8%; selulosa 38,45% dan abu sebesar 3,24% (Tang et al., 2023).

Hidrogel adalah polimer yang memiliki sifat hidrofilik dan dapat menyimpan air dalam jumlah yang relatif besar, membuatnya ideal untuk berbagai penggunaan karena karakteristiknya yang khas sambil tetap mempertahankan bentuknya (El Sayed, 2023). Pembuatan hidrogel dapat dilakukan menggunakan reaksi ikat silang. Umumnya dalam reaksi ikat silang, struktur tiga dimensi yang terbuat dari rantai polimer berikatan silang dengan suatu agen ikat silang (Yang et al., 2023). Penggunaannya mencakup sektor pertanian, medis, dan pemulihan lingkungan. Hidrogel memiliki kemampuan yang baik dalam menyimpan dan melepaskan air, yang dapat meningkatkan kualitas tanah, mengurangi kehilangan pupuk, dan berfungsi sebagai penyimpan air pada tanah yang kering, sehingga berpotensi mengurangi kebutuhan akan irigasi (Hu et al., 2024). Oleh karena hal tersebut, dalam tulisan ini peneliti

berusaha melakukan sintesis ikat silang hidrogel berbasis selulosa/CMC dari limbah serat sawit.

METODE PENELITIAN

A. Bahan

Limbah serabut mesokarp kelapa sawit dari Pabrik Mini Kelapa Sawit PTKI Medan, H₂O₂ 3%, Carboxymethyl cellulose (CMC), Asam sitrat, NaOH, dan Aquadest.

B. Peralatan

Peralatan gelas, hotplate magnetic stirer, oven, pH meter, neraca analitis, furnace, dan Agilent Carry 630 FTIR.

C. Sintesis Ikat Silang

Limbah serat kelapa sawit dibersihkan dengan cara dicuci dengan air mengalir kemudian dipotong hingga berukuran kecil. Sebanyak 100 gram potongan serat kelapa sawit yang telah dicuci bersih direndam dalam larutan NaOH 5% selama 1 jam pada suhu 100 °C dengan perbandingan rasio 1:4 (m/v) mL untuk menghilangkan lignin, kemudian dilakukan penyaringan dan dibersihkan dengan air mengalir hingga pH netral. Sebanyak 20 gram sampel tersebut ditambahkan dengan 200 mL H₂O₂ 3% dan dipanaskan pada suhu 60 °C selama 60 menit kemudian dicuci dengan aquadest dan disaring hingga netral. Sampel tersebut berupa selulosa yang selanjutnya dimasukkan dalam oven pada suhu 60 °C selama 24 jam dan disimpan dalam desikator. Larutan asam sitrat : CMC : selulosa dengan perbandingan rasio massa 0,1 : 1,5 : 0,25 gram dalam 20 mL aquadest diaduk selama 15 menit pada suhu 60 °C dituangkan ke dalam cetakan serta dicuci dengan aquadest perlahan hingga netral. Sampel tersebut berupa hidrogel, dibiarkan kering selama 48 jam dalam desikator. Hidrogel yang dihasilkan diuji karakteristiknya menggunakan instrumen Agilent Carry 630 FTIR di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

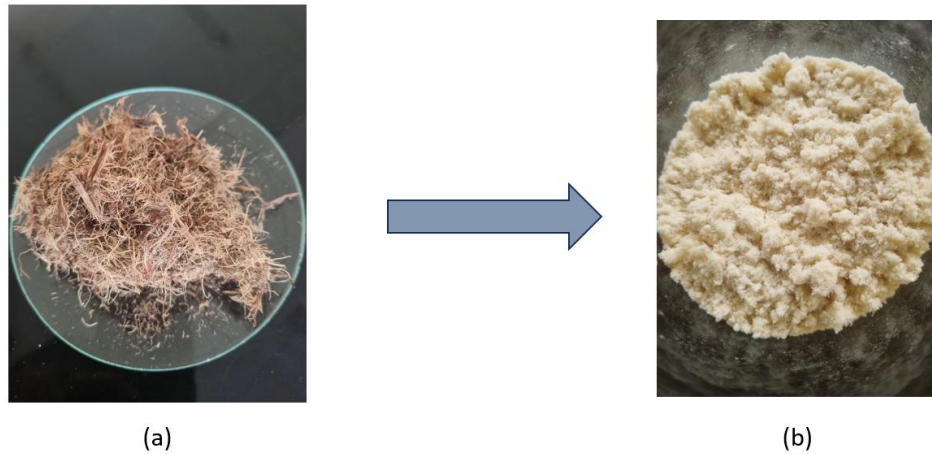
Proses perlakuan awal dilakukan dengan mencuci biomassa mesokarp kelapa sawit menggunakan air mengalir untuk menghilangkan kotoran yang dapat mengganggu tahap hidrolisis. Tahap hidrolisis dilakukan dengan memanaskan mesokarp kelapa sawit bersama

larutan NaOH 5% pada suhu 100 °C yang bertujuan agar lignin dan hemiselulosa dapat dipisahkan dari selulosa. Pemanasan ini memicu reaksi antara lignin dan NaOH, menghasilkan campuran yang berwarna gelap. Selain itu, NaOH juga mampu melemahkan ikatan yang menghubungkan selulosa dengan lignin dan hemiselulosa. Akibatnya, lignin dan hemiselulosa yang terpisah dari selulosa akan terlarut dalam larutan NaOH, sedangkan selulosa tetap ada. Selanjutnya, proses pemucatan dilakukan menggunakan larutan H₂O₂ 3% dengan pemanasan pada suhu 60 °C selama 60 menit. Proses pemucatan ini dilakukan bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa lignin dari pulp yang masih tertinggal sehingga menjadikan pulp berwarna putih cerah, meningkatkan kemurnian selulosa, dan mencegah kerusakan pada selulosa.

Tabel 1. Kandungan selulosa dari biomassa kelapa sawit

Biomassa Kelapa Sawit	Kandungan selulosa (% berat)	Referensi
Tandan Kosong Kelapa Sawit	49,1	(Gaitán-Álvarez et al., 2018)
Cangkang Inti Sawit	33,2	(Gaitán-Álvarez et al., 2018)
Pelepah Kelapa Sawit	54,4	(Shrivastava et al., 2021)
Batang Kelapa Sawit	39,4	(Shrivastava et al., 2021)
Serabut Mesokarp Kelapa Sawit	35,9	(Abdullah et al., 2017)
Serabut Mesokarp Kelapa Sawit	39,83	*Penelitian ini

Sebagian besar biomassa dari kelapa sawit menunjukkan kandungan selulosa yang relatif tinggi sekitar 33-54% seperti tampak pada Tabel 1. Pelepah kelapa sawit mengandung selulosa dengan persentase tertinggi sebesar 54,4% sedangkan persentase terendah dimiliki oleh cangkang inti sawit sebesar 33,2%. Pada penelitian ini, 100 gram serabut mesokarp kelapa sawit mampu menghasilkan 39,83 gram selulosa ditandai dengan terjadinya perubahan wujud dan warna seperti tampak pada Gambar 1 yang menunjukkan selulosa yang dihasilkan bertekstur halus dengan warna putih.



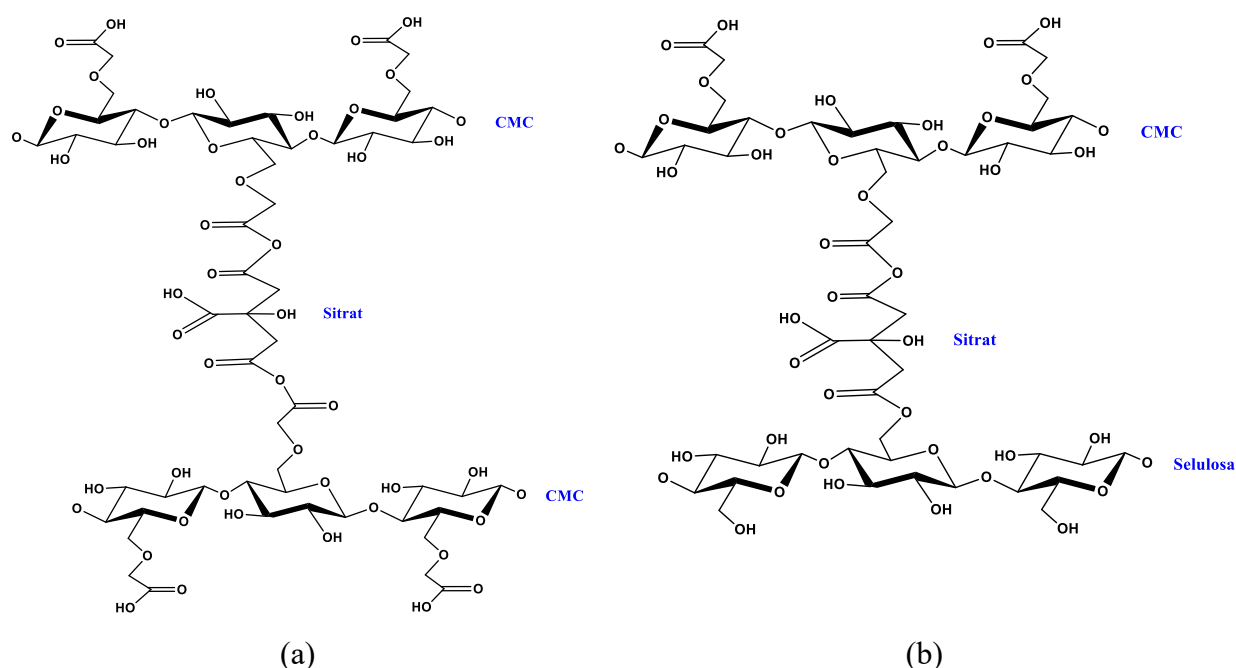
Gambar 1. Perubahan wujud dan warna dari (a) biomassa kelapa sawit menjadi (b) selulosa

Selulosa yang berasal dari serat kelapa sawit selanjutnya digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan hidrogel. Hidrogel ini dibuat melalui sintesis yang melibatkan selulosa serat kelapa sawit, asam sitrat, dan CMC. CMC bertindak sebagai polimer hidrofilik dan memiliki keunggulan berupa kemampuan adsorpsi yang baik serta kapasitas swelling (mengembang) yang tinggi. Asam sitrat berperan sebagai agen pengikat silang (*cross-linking agent*) dan dipilih karena sifatnya yang ramah lingkungan, sebab tidak karsinogenik dan tidak beracun. Ketika campuran dipanaskan hingga suhu 60°C, gugus asam karboksilat pada asam sitrat akan mengalami dehidrasi dan membentuk anhidrida siklik. Selanjutnya, anhidrida siklik ini akan berikatan silang dengan gugus hidroksil yang ada pada selulosa serat kelapa sawit dan CMC. Hasil dari ikatan silang ini adalah hidrogel selulosa/CMC yang terikat silang sitrat seperti ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hidrogel selulosa/CMC terikat silang sitrat

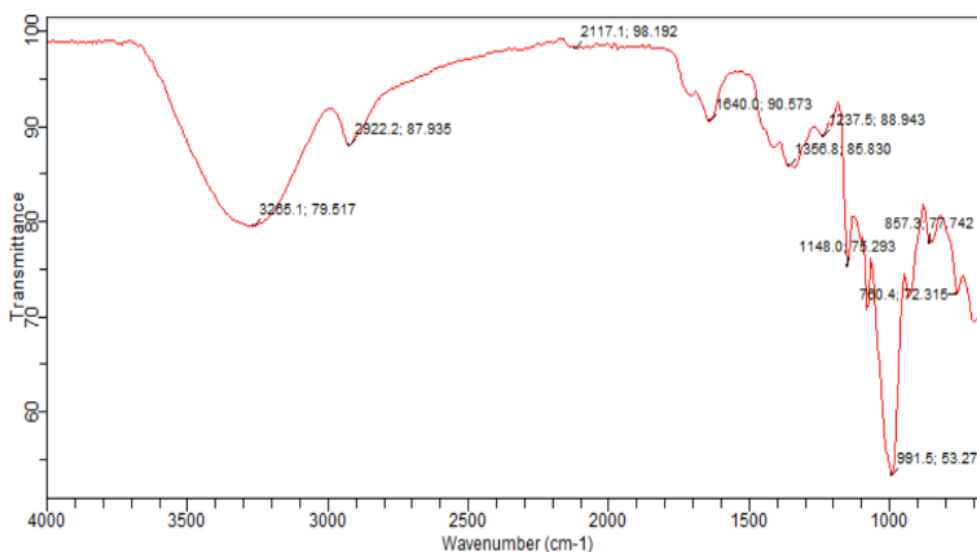
Struktur molekul ikatan silang dapat terjadi pada CMC/CMC terikat silang sitrat maupun selulosa/CMC terikat silang oleh karena terdapatnya dua bahan campuran yang dapat bereaksi dengan agen pengikat silang sitrat seperti tampak pada Gambar 3. Hal ini juga disebabkan oleh campuran CMC dan selulosa yang dapat larut bersamaan saat dipanaskan berikatan dengan asam sitrat ditandai dengan terjadinya perubahan wujud berbentuk gel yang dapat mengikat air. Namun pada tulisan ini, penulis berusaha untuk mengkaji ikatan silang yang terjadi pada selulosa/CMC dengan sitrat.



Gambar 3. Struktur molekul ikatan silang antara (a) CMC/CMC terikat silang sitrat (b) selulosa/CMC terikat silang sitrat

Untuk mempelajari gugus fungsi pada selulosa/CMC terikat silang sitrat maka dilakukan analisis menggunakan spektroskopi FTIR (*Fourier transform infrared*) dengan hasil pengukuran berupa spektrum yang dapat dilihat pada Gambar 4. Spektrum IR dapat menunjukkan adanya karakteristik gugus fungsi dari hidrogel selulosa/CMC. Puncak serapan pada bilangan gelombang 1700-1750 cm⁻¹ mengindikasikan pembentukan ikatan C=O ester dari reaksi antara gugus -COO pada asam sitrat anhidrida siklik dengan gugus -OH pada selulosa/CMC yang (Nguyen et al., 2022). Puncak pada bilangan gelombang 1640 cm⁻¹ dan 1356 cm⁻¹ dari spektrum IR hidrogel selulosa/CMC masing-masing menunjukkan substitusi gugus karboksimetil pada rantai CMC dengan gugus -COO- dan -CH₂- (Laddawan et al.

2025). Puncak yang melebar pada bilangan gelombang 950-1050 cm^{-1} mengindikasikan adanya serapan yang berasal dari cincin piranosa (Raucci et al., 2015). Bilangan gelombang 1148 cm^{-1} menunjukkan adanya regangan C-O-C siklik. Spektra pada bilangan gelombang 3265 cm^{-1} mengindikasikan vibrasi gugus -OH yang menunjukkan sifat hidrofilik dari hidrogel selulosa/CMC terikat silang sitrat sedangkan bilangan gelombang 2922 cm^{-1} menunjukkan regangan alifatik -CH.



Gambar 4. Spektrum IR selulosa/CMC terikat silang sitrat

Pada film hidrogel selulosa/CMC terikat silang sitrat yang direndam dalam air selama 10 menit menunjukkan kemampuan *swelling* hingga 310% seperti disajikan pada Tabel 2. Adanya gugus hidrofilik seperti hidroksil dan karboksil pada selulosa/CMC yang terikat silang sitrat menyebabkan terbentuknya ikatan hidrogen dengan air yang terperangkap dalam jaringan. Terperangkapnya air dalam jaringan tersebut mengakibatkan peningkatan derajat *swelling* pada film hidrogel. Namun, apabila jumlah gugus-gugus tersebut berkurang, maka kemampuan film hidrogel untuk menyerap air juga menurun. Perendaman yang lebih lama juga berperan dalam mengurangi tolakan elektrostatis yang berdampak pada penurunan kemampuan derajat *swelling* hidrogel CMC yang ada bersama asam sitrat (Pitaloka, et al., 2021).

Tabel 2. Daya serap hidrogel terhadap air

Waktu (menit)	Volume Aquadest (ml)	Berat Hidrogel		Swelling (%)
		Sebelum	Setelah	
		perendaman (gr)	Perendaman (gr)	
10	10	0.082	0.255	310.97

SIMPULAN

Selulosa dari limbah serat mesokarp kelapa sawit mencapai 39,83% dengan tekstur halus dan berwarna putih. Sintesis yang dilakukan menunjukkan terdapatnya ikatan silang antara selulosa/CMC dengan sitrat pada bilangan gelombang 1640 cm^{-1} dan 1356 cm^{-1} dengan ditandai hadirnya gugus $-\text{COO}$ dan $-\text{CH}_2$. Hidrogel selulosa/CMC ikat silang sitrat juga menunjukkan derajat *swelling* terhadap air mencapai tiga kali lipat dari massa awalnya. Pada studi ini menunjukkan limbah serat mesokarp kelapa sawit memiliki potensi sebagai film hidrogel namun penulis menyarankan untuk melakukan variasi pada rasio komposisi campuran untuk mengetahui derajat *swelling* maksimum serta melakukan uji analisis lebih lanjut untuk mengetahui sifat morfologi film hidrogel yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, I., Wan Mahmood, W. H., Md Fauadi, H. F., Ab Rahman, M. N., & Mohamed, S. B. (2017). Sustainable manufacturing practices in Malaysian palm oil mills: Priority and current performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(3), 278-298.
- Cheng, W., Zhu, Y., Jiang, G., Cao, K., Zeng, S., Chen, W., Zhao, D. & Yu, H. (2023). Sustainable cellulose and its derivatives for promising biomedical applications. *Progress in Materials Science*, 138, 101152
- Dang, X., Li, N., Yu, Z., Ji, X., Yang, M., & Wang, X. (2024). Advances in the preparation and application of cellulose-based antimicrobial materials: A review. *Carbohydrate Polymers*, 342, 122385
- El Sayed, M. M. (2023). Production of polymer hydrogel composites and their applications. *Journal of Polymers and the Environment*, 31(7), 2855-2879.

- Etale, A., Onyianta, A. J., Turner, S. R., & Eichhorn, S. J. (2023). Cellulose: a review of water interactions, applications in composites, and water treatment. *Chemical reviews*, 123(5), 2016-2048
- Gaitán-Álvarez, J., Moya, R., Puente-Urbina, A., & Rodriguez-Zúñiga, A. (2018). Thermogravimetric, devolatilization rate, and differential scanning calorimetry analyses of biomass of tropical plantation species of Costa Rica torrefied at different temperatures and times. *Energies*, 11(4), 696.
- Gan, S., Chen, R. S., Padzil, F. N. M., Moosavi, S., Tarawneh, M. A. A., Loh, S. K., & Idris, Z. (2023). Potential valorization of oil palm fiber in versatile applications towards sustainability: A review. *Industrial Crops and Products*, 199, 116763
- Haryanto, A., Iryani, D. A., Hasanudin, U., Telaumbanua, M., Triyono, S., & Hidayat, W. (2021). Biomass fuel from oil palm empty fruit bunch pellet: Potential and challenges. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 8(1), 33-42
- Hu, H., Li, P., Tong, Y. W., Li, J., & He, Y. (2024). Reutilization recovered nutrients from wastewater by synthesizing eco-friendly slow-release hydrogel fertilizer for sustainable vegetable production. *Chemical Engineering Journal*, 499, 155943
- Nguyen, H. T., Ngwabebhoh, F. A., Saha, N., Saha, T., & Saha, P. (2022). Gellan Gum/Bacterial Cellulose Hydrogel Crosslinked With Citric Acid As An Eco-Friendly Green Adsorbent For Safranin And Crystal Violet Dye Removal. *International Journal of Biological Macromolecules*. vol. 222: 77 - 89
- Laddawan, P., Auecharoenrat, S., & Tongsook, C. (2025). Environmentally Friendly Carboxymethyl Cellulose Hydrogels Derived from Waste Paper and Sawdust as a Urea Release Agent. *ACS Omega*. 10(17): 17296-17309
- Nabila, R., Hidayat, W., Haryanto, A., Hasanudin, U., Iryani, D. A., Lee, S., Kim, S., Kim, S., Chun, D., Choi, H., Im, H., Lim, J., Kim, K., Jun, D., Moon, J., and Yoo, J. (2023). Oil palm biomass in Indonesia: Thermochemical upgrading and its utilization, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 176: 113193
- 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), 007-011.

- Rauci M. G., Alvarez-Perez M. A., Demitri, C., Giugliano, D., De Benedictis, V., Sannino, A., & Ambrosio, L. (2015). Effect of citric acid crosslinking cellulose-based hydrogels on osteogenic differentiation. *J. Biomed. Mater. Res. Part A*, 103A: 2045–2056
- Shrivastava, P., Khongphakdi, P., Palamanit, A., Kumar, A., & Tekasakul, P. (2021). Investigation of physicochemical properties of oil palm biomass for evaluating potential of biofuels production via pyrolysis processes. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 11(5), 1987-2001.
- Tang, P. L., Hong, W. L., Yue, C. S., & Harun, S. (2023). Recovery of lignin and phenolics via one-pot pretreatment of oil palm empty fruit bunch fiber and palm oil mill effluent. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(6), 4705-4715
- Yang, J., Chen, Y., Zhao, L., Zhang, J., & Luo, H. (2023). Constructions and properties of physically cross-linked hydrogels based on natural polymers. *Polymer Reviews*, 63(3), 574-612.