

MINI REVIEW: FOTOKATALISIS NANOPARTIKEL CaO TERHADAP ZAT WARNA ORGANIK SINTETIK

PHOTOCATALYSIS OF CaO NANOPARTICLE FOR SYNTHETIC ORGANIC DYES: MINI REVIEW

Aidilia Putri Salsabila, Irfan Ashari Hiyahara*, Husna Syaima

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Mulawarman University, Gunung Kelua Campus, Samarinda 76116 Indonesia

*Corresponding Author : hiyahara@gmail.com

Diterbitkan: 23 April 2024

ABSTRACT

Nanoparticles of CaO (CaO-NP) are currently a frequently used material in research due to their excellent catalytic and antibacterial activities, low toxicity, abundant availability, and relatively affordable manufacturing cost. One of their applications is as a photocatalyst, commonly employed to degrade organic materials such as dyes. This review discusses the utilization of CaO nanoparticles as photocatalysts for both cationic and anionic organic dyes. Literature results indicate that CaO-NP can serve as a catalyst in the photocatalysis of dyes, whether they are cationic or anionic. The percentage of degradation achieved varies, ranging from as low as 60% to as high as 99.21%. These varying results are attributed to the different parameters used in the diverse photocatalysis processes.

Keywords: CaO Nanoparticle, Organic Dye, Photocatalysis

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber kehidupan bagi seluruh makhluk hidup yang ada di dunia, khususnya bagi manusia. Akan tetapi, seiring berjalannya dengan waktu dan semakin berkembang pesatnya populasi manusia, menyebabkan urbanisasi dan industrialisasi sehingga telah terjadi eksploitasi besar-besaran terhadap berbagai sumber daya air [1]. Hal ini dapat memberikan dampak yang negatif bagi sumber perairan sekitar, membuat kualitas perairan menurun secara signifikan sebab banyaknya industri-industri yang menyumbangkan limbah dan tidak menanggulangnya dengan baik, sehingga dapat mencemari perairan dengan bermacam-macam jenis limbah, seperti limbah tekstil, zat warna, kertas, makanan, dan lain sebagainya. Tanpa penanggulangan yang baik dan benar pada permasalahan ini, maka dapat mengancam ekosistem yang ada di perairan. Adapun limbah yang dianggap paling mencemari perairan saat ini ialah limbah zat warna yang dihasilkan oleh industri tekstil [2].

Pada umumnya, limbah-limbah zat warna yang dihasilkan oleh industri tekstil ini merupakan zat warna organik sintetik. Hingga saat ini diprediksi bahwa volume produksi zat warna organik sintetik yang tersedia secara komersial mencapai lebih dari 1.000.000 ton dan jumlah air limbah berwarna yang dihasilkan setiap tahun selama proses pembuatan dan penerapannya lebih dari 200 miliar liter [3]. Sementara itu polutan organik umumnya bersifat stabil secara kimia dan sulit terurai, sehingga keberadaannya di perairan lepas menjadi masalah serius bagi manusia dan lingkungan, misalnya pewarna azo seperti *methylene blue* (MB) dan *methyl orange* (MO) yang memiliki sifat yang mutagenik dan karsinogenik. Selain itu peningkatan jumlah zat warna dalam sistem dalam konsentrasi di atas 1 mg/L dapat mengganggu respirasi, fotosintesis, serta proses biologi lainnya di lingkungan perairan [4]. Oleh karenanya metode penghilangan polutan organik merupakan langkah penting dalam pengolahan air [5].

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk penghilangan zat warna organik sintetik ialah dengan cara foto-elektrokatalitik degradasi, fotokatalisis, dan adsorpsi fisik [5]. Akan tetapi, belakangan banyak sekali penelitian yang fokus pada penggunaan metode fotokatalis. Fotokatalis merupakan material yang dapat mengubah laju reaksi kimia apabila terkena cahaya, baik cahaya UV maupun cahaya visibel.

Fenomena ini dikenal juga sebagai fotokatalisis [6].

Adapun katalis yang dapat digunakan untuk fotokatalis bervariasi, dari material nano seperti nano logam maupun

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



nano oksida logam, *molecular-organic framework* (MOF), hingga garam-garam logam lainnya. Dalam proses fotokatalisis, nanopartikel oksida logam dapat bertindak sebagai material yang bersifat sebagai fotokatalisnya, untuk digunakan dalam reaksi kimia cepat dengan adanya sumber cahaya. Adapun fotokatalis yang efisien memiliki kapasitas penyerapan cahaya dan menghasilkan pasangan elektron-hole yang dapat memberikan perubahan kimia pada reaksi yang dibantu dengan cahaya [7].

Salah satu material yang dapat digunakan sebagai fotokatalis untuk mendegradasi polutan zat warna ialah nanopartikel CaO (CaO-NP) yang termasuk dalam kelompok oksida logam [8]. CaO merupakan salah satu dari banyaknya kemungkinan material yang memiliki aktivitas katalitik, terlebih karena material ini memiliki kebasaaan yang tinggi, toksisitas yang rendah, kelimpahannya yang banyak, serta efektivitas biayanya yang relatif terjangkau, membuat CaO menjadi salah satu material yang memiliki relevansi yang sangat tinggi di penelitian-penelitian terbaru [9].

Oleh karena itu, pada jurnal ini akan membahas mengenai pengaplikasian nanopartikel CaO (CaO-NP) sebagai fotokatalis terhadap zat warna organik sintetik dari berbagai penelitian sebelumnya.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam *mini review* ini ialah studi literatur dengan cara mengumpulkan artikel riset yang membahas mengenai aplikasi nanopartikel CaO. Data-data yang dikumpulkan disusun secara ringkas untuk membandingkan satu artikel dengan yang lain, sehingga didapatkan deskripsi yang faktual sehingga dapat mencapai tujuan penulis dalam *me-review* aplikasi nanopartikel CaO sebagai fotokatalis dari berbagai macam zat warna organik sintetik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fotokatalisis

Fotokatalisis berasal dari kombinasi kata *photochemistry* yang berarti cahaya/fotokimia dan *catalysis* yang berarti katalis sehingga dapat diartikan fotokatalis merupakan suatu reaksi yang memerlukan cahaya untuk dapat mewujudkan transformasi kimia, atau dengan kata lain, merupakan percepatan fotoreaksi dengan adanya katalis [10]. Umumnya nanopartikel yang sering diaplikasikan sebagai fotokatalis ialah nanopartikel oksida logam [11], [12]. Adapun material yang dapat digunakan sebagai katalis pada reaksi fotokatalis beragam dan secara luas dapat dikelompokkan dalam kategori kelompok seperti oksida logam, sulfida logam, nitrida logam, hidroksida logam, garam berbasis bismut, polimer berbasis karbon, halida berbasis perak (Ag), perovskit, dan material baru lainnya seperti *metal-organic framework* (MOF) serta *covalent organic framework* (CO-F) [13].

Beberapa material yang dapat digunakan sebagai fotokatalis, salah satunya ialah nanopartikel oksida logam, dapat 'diaktifkan' dengan cahaya tampak maupun sinar UV, atau bahkan keduanya dalam kombinasi, dan elektron dari pita valensi akan tereksitasi menuju pita konduksi, membentuk pasangan elektron/hole. Pasangan elektron/hole ini dapat mereduksi serta mengoksidasi senyawa yang teradsorpsi pada permukaan fotokatalis [7]. Adapun transfer elektron antara pita valensi dengan pita konduksi ini terjadi ketika energi yang diserap dari cahaya datang sama dengan atau lebih besar dibandingkan energi celah pita (*band gap*). Celah pita ini merupakan wilayah perpindahan elektron secara vertikal dari pita valensi menuju pita konduksi, atau disebut juga sebagai *forbidden band*. Untuk material semikonduktor sendiri, energi celah pitanya berkisar dari <1,5-3.0 eV [13].

Pada artikel ini fokus material yang akan dibahas ialah nanopartikel oksida logam, spesifiknya nanopartikel CaO (CaO-NP). Material oksida logam sendiri umumnya merupakan material yang bersifat semikonduktor [11]. Dari perspektif fotokimia, material semikonduktor oksida logam yang bertindak sebagai fotokatalis dapat mencapai tujuan produksi hidrogen, degradasi, dan elektrolisis air dengan mengatur sejumlah proses reaksi redoks di bawah cahaya. Akan tetapi, proses dengan cahaya ini sangat bergantung dengan sifat fisik dari semikonduktor itu sendiri, seperti celah pita (*band gap*) dan posisi pita (*band position*) [6].

Berikut beberapa contoh penelitian aplikasi nanopartikel CaO sebagai fotokatalisis zat warna dapat dilihat pada **Tabel 1**. Dari **Tabel 1**, secara umum zat warna kationik yang digunakan ialah *methylene blue* (MB) sementara dari zat warna anionik bervariasi, yaitu dari *bromocresol green* (BG), *indigo carmine* (IC), serta *yellow tartrazine* (YT).

Pada jurnal [14] dilakukan fotokatalisis terhadap *bromocresol green* (BG) yang merupakan zat warna organik sintetik anionik [17]. BG merupakan zat warna anionik yang termasuk dalam kelompok triphenylmethane [18] yang memiliki gugus sulfonat $-S(SO_3^-)$ dan 2-(sulfoksi)etil sulfonil [14]. Pada

penelitian ini, proses fotokatalisis dilakukan dengan menggunakan sinar UV sebagai sumber cahayanya dalam waktu 180 menit. Sebelum fotokatalisis dilakukan, campuran BG dan CaO diaduk selama 30 menit dalam keadaan gelap untuk memastikan kesetimbangan adsorpsi-desorpsinya. Pada setiap rentang 30 menit, 2 mL alikuot diambil dan disentrifugasi dan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis. Dari hasil spektra UV, diketahui bahwa terjadi penurunan puncak seiring dengan berjalannya waktu. Diperoleh pula persen degradasi dari BG setelah 180 menit di bawah pancaran sinar UV yaitu sebesar ~60%. Persentase tersebut didukung dengan memudarnya warna dari larutan BG yang cukup signifikan.

Tabel 1. Informasi Umum Terkait Referensi

Penulis Jurnal	Tahun	Zat Warna	Jenis
Osuntokun et al [14]	2018	<i>Bromocresol green</i> (BC)	Anionik
Jaiswal et al [1]	2020	<i>Methylene blue</i> (MB)	Kationik
Alsohaimi et al [2]	2020	<i>Indigo carmine</i> (IC)	Anionik
Meshkatsadat et al [15]	2022	<i>Methylene blue</i> (MB)	Kationik
Menezes et al [16]	2023	<i>Yellow tartrazine</i> (YT)	Anionik

Pada jurnal [1] peneliti melakukan uji coba fotokatalisis nanopartikel CaO dengan menggunakan zat warna *methylene blue* (MB) yang merupakan zat warna kationik [3]. MB merupakan zat warna kationik yang disebut juga sebagai *methyl thorium chloride*, yang merupakan senyawa heterosiklik aromatik dengan formula $C_{16}H_{18}N_3SCl$ [19]. Dalam penelitian ini, proses fotokatalis dilakukan pada suasana netral (pH 7) dan dengan bantuan sinar matahari dalam waktu 180 menit. Setiap rentang 20 menit, 2 mL alikuot diambil dan disentrifugasi untuk dikarakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis untuk melihat penurunan puncak absorbansinya. Diketahui dari hasil spektra UV yang diperoleh, pada waktu 20-40 menit tingkat degradasi MB yang terjadi lebih tinggi dibandingkan dengan tingkat degradasi yang terjadi setelah 40 menit, yang efisiensi degradasi maksimum dari fotokatalisis CaO yaitu pada rentang waktu 20-40 menit dengan persen degradasinya sebesar $32,47 \pm 2,6 - 81,26 \pm 0,5\%$. Kemudian setelah 60 menit efisiensi degradasi menurun. Sementara itu dalam waktu 180 menit MB telah terdegradasi sebanyak $97,63 \pm 0,3\%$ (~98%) sehingga dapat dikatakan sebagian besar MB telah terdegradasi dan larutannya telah berubah menjadi tak berwarna.

Pada jurnal [2] dilakukan proses fotokatalisis terhadap zat warna *indigo carmine* (IC) yang merupakan zat warna anionik (Kammah) yang merupakan senyawa heterosiklik aromatik yang dapat larut dalam air [20] dengan nama IUPAC *3,3'-dioxo-2,2'-bis-indolyden-5,5-disulfonic acid disodium salt* dengan formula kimianya yaitu $C_{16}H_8N_2Na_2O_8S_2$ [21]. Pada penelitian ini dilakukan fotokatalisis terhadap IC dalam 25 ppm dengan menggunakan 80 mg CaO pada pH 12 yang merupakan pH naturalnya dengan bantuan cahaya sinar matahari. Sebelum dilakukan fotokatalis, campuran CaO dan IC diaduk selama 5 menit dalam keadaan gelap agar molekul IC tersusun/teradsorpsi pada permukaan CaO. Adapun setiap 5 menit diambil sekitar 3 mL alikuot untuk disentrifuge dan dilihat puncak absorbansinya pada spektrofotometer UV-Vis. Setelah 25 menit diperoleh degradasi dari IC mencapai 99,21%. Sementara itu pada penelitian di jurnal ini juga dilakukan uji coba pada variasi pH 7 dan 9. Diperoleh pada suasana naturalnya (pH 12) CaO memiliki persentase efisiensi degradasi terhadap IC sebesar 85%, sementara pada pH 7 dan 9 masing-masing 15% dan 14%. Dapat disimpulkan bahwa proses fotodegradasi terhadap IC tidak efektif di suasana pH basa lemah ke bawah, sebab dalam proses pengaturan pH-nya dengan menggunakan HCl membuat katalis CaO larut.

Pada jurnal [15] peneliti melakukan fotokatalisis terhadap *methylene blue* (MB) dengan bantuan cahaya matahari. Fotokatalis oleh nanopartikel CaO dilakukan terhadap 30 mL MB 20 ppm dengan dosis katalis sebesar 40 mg, dalam waktu 20 menit. Adapun sebelumnya campuran CaO dan MB diaduk dalam keadaan gelap terlebih dahulu untuk uji adsorpsi selama 2 jam. Dari data spektra UV yang diperoleh, diketahui bahwa larutan MB tidak menunjukkan tanda terjadinya proses adsorpsi setelah 2 jam tersebut. Pada penelitian ini dilakukan uji coba pada variasi pH dari 3-11, untuk melihat suasana yang optimal dalam proses fotokatalisis terhadap MB oleh CaO. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa fotodegradasi pada pH 3 nyaris tak terjadi dan pada pH 5 degradasi sangat sedikit dengan efisiensi degradasinya sebesar 25% dan 78% setelah 20 menit. Apabila pH ditingkatkan menjadi 9, efisiensi degradasinya meningkat secara signifikan menjadi 98,99% dalam 20 menit, sementara pada pH 11 tidak ada perubahan yang signifikan dibandingkan dengan pH 9, sehingga dapat disimpulkan bahwa pH 9 merupakan suasana optimum untuk melakukan fotodegradasi MB oleh katalis CaO.

Pada jurnal [16] dilakukan penelitian fotokatalisis nanopartikel CaO terhadap zat warna *yellow tartrazine* (YT) yang merupakan zat warna azo yang bersifat anionik [22] dengan struktur kimianya yaitu $C_{16}H_9N_4Na_3O_9S_2$ [16]. Pada studi ini dilakukan fotokatalisis terhadap 20 ppm YT dalam waktu 180 menit dengan menggunakan 12 mg katalis CaO dalam suasana netral (pH 7) dengan bantuan lampu visibel Empalux® *Bulb LED Lamp* 50 Watt Halogen sebagai sumber cahaya. Sebelum difotokatalisis, campuran CaO dan YT diaduk dalam keadaan gelap terlebih dahulu selama 60 menit untuk memperoleh kesetimbangan dari adsorpsi dan desorpsi dari YT di permukaan katalis CaO. Aliquot untuk diuji puncak absorbansinya pada spektrofotometer UV-Vis diambil pada menit ke 0, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 120, 150, dan 180 untuk dapat mengetahui persen degradasinya. Diperoleh YT yang terdegradasi setelah 180 menit mencapai 76,16%.

Berdasarkan dari uraian yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat dibuat parameter optimal dari penelitian-penelitian yang dilakukan pada jurnal yang di-review yang dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut.

Tabel 2. Parameter Optimal dari Fotokatalisis CaO-NP

Penulis Jurnal	Waktu	Degradasi	Sumber Cahaya
Osuntokun et al [14]	180 menit	60%	Lampu UV
Jaiswal et al [1]	180 menit	~98%	Cahaya matahari
Alsohaimi et al [2]	25 menit	99,21%	Cahaya matahari
Meshkatsadat et al [15]	20 menit	98,99%	Cahaya matahari
Menezes et al [16]	180 menit	76,16%	Lampu Visibel

Berdasarkan **Tabel 2** di atas dapat diketahui bahwa CaO-NP dapat digunakan sebagai fotokatalis untuk proses fotodegradasi zat warna, baik dari zat warna anionik maupun kationik. Sumber sinar untuk proses fotokatalisisnya pun bervariasi, dari lampu UV, lampu visibel, dan cahaya matahari langsung. Untuk persen degradasinya bervariasi, sebab parameter yang digunakan untuk setiap zat warna bervariasi pula.

KESIMPULAN

Berdasarkan jurnal yang telah diulas, dapat disimpulkan bahwa nanopartikel CaO dapat digunakan sebagai katalis dalam fotokatalisis zat warna, baik zat warnanya merupakan zat warna kationik maupun anionik. Dalam proses fotokatalisisnya sumber cahaya yang digunakan dapat dari lampu UV, lampu visibel, maupun menggunakan cahaya matahari langsung. Apabila dilihat dari persen degradasinya sendiri dari jurnal yang di-review bervariasi, dari 60% hingga paling tinggi mencapai 99,21%. Hasil yang diperoleh ini bervariasi sebab parameter yang digunakan dalam proses fotokatalisisnya ini bervariasi pula. Dari hasil tersebut dapat pula disimpulkan bahwa CaO-NP merupakan material yang memiliki kinerja yang sangat baik untuk digunakan dalam proses fotokatalisis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. K. Jaiswal, S. Dutta, C. B. Pohrmen, R. Verma, A. Kumar, and A. P. Ramaswamy, "Bio-waste chicken eggshell-derived calcium oxide for photocatalytic application in methylene blue dye degradation under natural sunlight irradiation," *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, vol. 51, no. 7, pp. 995–1004, 2021, doi: 10.1080/24701556.2020.1813769.
- [2] I. H. Alsohaimi, A. M. Nassar, T. A. Seaf Elnasr, and B. amar Cheba, "A novel composite silver nanoparticles loaded calcium oxide stemming from egg shell recycling: A potent photocatalytic and antibacterial activities," *J Clean Prod*, vol. 248, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119274.
- [3] S. Chang, Y. Simeng, T. Henglong, F. Shihao, and L. Zhu, "Adsorption properties and interactions analysis of cyclodextrin-based polymer networks towards organic dyes," *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, vol. 5, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.carpta.2023.100317.
- [4] D. E. Lee, M. K. Kim, M. Danish, and W. K. Jo, "State-of-the-art review on photocatalysis for efficient wastewater treatment: Attractive approach in photocatalyst design and parameters affecting the photocatalytic degradation," *Catalysis Communications*, vol. 183, Elsevier B.V., Oct. 01, 2023, doi: 10.1016/j.catcom.2023.106764.
- [5] C. Zhao *et al.*, "Synergistic organic dye degradation and hydrogen production using Bi₂Te₃/Te/C single-catalyst nanowires," *Mater Des*, vol. 233, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.matdes.2023.112217.

- [6] D. Pathak, A. Sharma, D. P. Sharma, and V. Kumar, "A review on electrospun nanofibers for photocatalysis: Upcoming technology for energy and environmental remediation applications," *Applied Surface Science Advances*, vol. 18. Elsevier B.V., Dec. 01, 2023. doi: 10.1016/j.apsadv.2023.100471.
- [7] P. B. Chouke *et al.*, "Bioinspired metal/metal oxide nanoparticles: A road map to potential applications," *Mater Today Adv*, vol. 16, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.mtadv.2022.100314.
- [8] A. B. D. Nandiyanto, B. S. Maharani, and R. Ragaditha, "Calcium Oxide Nanoparticle Production and its Application as Photocatalyst," *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, vol. 30, no. 3, pp. 168–181, May 2023, doi: 10.37934/araset.30.3.168181.
- [9] P. A. Ozor, V. S. Aigbodion, and N. I. Sukdeo, "Modified calcium oxide nanoparticles derived from oyster shells for biodiesel production from waste cooking oil," *Fuel Communications*, vol. 14, p. 100085, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.jfueco.2023.100085.
- [10] K. M. Lee, C. W. Lai, K. S. Ngai, and J. C. Juan, "Recent developments of zinc oxide based photocatalyst in water treatment technology: A review," *Water Research*, vol. 88. Elsevier Ltd, pp. 428–448, Jan. 01, 2016. doi: 10.1016/j.watres.2015.09.045.
- [11] P. B. Chouke *et al.*, "Bioinspired metal/metal oxide nanoparticles: A road map to potential applications," *Mater Today Adv*, vol. 16, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.mtadv.2022.100314.
- [12] D. M. Tejashwini, H. V. Harini, H. P. Nagaswarupa, R. Naik, V. V. Deshmukh, and N. Basavaraju, "An In-Depth Exploration of Eco-Friendly Synthesis Methods for Metal Oxide Nanoparticles and Their Role in Photocatalysis for Industrial Dye Degradation," *Chemical Physics Impact*, p. 100355, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.chphi.2023.100355.
- [13] X. Li *et al.*, "Challenges of photocatalysis and their coping strategies," *Chem Catalysis*, vol. 2, no. 6. Cell Press, pp. 1315–1345, Jun. 16, 2022. doi: 10.1016/j.checat.2022.04.007.
- [14] J. Osuntokun, D. C. Onwudiwe, and E. E. Ebenso, "Aqueous extract of broccoli mediated synthesis of CaO nanoparticles and its application in the photocatalytic degradation of bromocresol green," *IET Nanobiotechnol*, vol. 12, no. 7, pp. 888–894, Oct. 2018, doi: 10.1049/iet-nbt.2017.0277.
- [15] M. H. Meshkatsadat, M. Zahedifar, and B. Pouramiri, "Facile green synthesis of CaO NPs using the *Crataegus pontica* C.Koch extract for photo-degradation of MB dye," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, no. 36, pp. 54688–54697, Aug. 2022, doi: 10.1007/s11356-022-19671-4.
- [16] L. Bôlla de Menezes *et al.*, "Calcium oxide nanoparticles: Biosynthesis, characterization and photocatalytic activity for application in yellow tartrazine dye removal," *J Photochem Photobiol A Chem*, vol. 447, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.jphotochem.2023.115182.
- [17] E. K. Owino, V. O. Shikuku, W. N. Nyairo, C. O. Kowenje, and B. Otieno, "Valorization of solid waste incinerator fly ash by geopolymer production for removal of anionic bromocresol green dye from water: Kinetics, isotherms and thermodynamics studies," *Sustainable Chemistry for the Environment*, vol. 3, p. 100026, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.scenv.2023.100026.
- [18] C. E. Onu *et al.*, "Modeling, optimization, and adsorptive studies of bromocresol green dye removal using acid functionalized corn cob," *Cleaner Chemical Engineering*, vol. 4, p. 100067, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.clce.2022.100067.
- [19] T. Handayani, Emriadi, Deswati, P. Ramadhani, and R. Zein, "Modelling studies of methylene blue dye removal using activated corn husk waste: Isotherm, kinetic and thermodynamic evaluation," *S Afr J Chem Eng*, vol. 47, pp. 15–27, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.sajce.2023.10.003.
- [20] R. S. N'Dri, M. Coulibaly, A. N. G. Yao, D. Bamba, and E. G. Zoro, "An electrochemical method for the determination of trace mercury (II) by formation of complexes with indigo carmine food dye and its analytical application," *Int J Electrochem Sci*, vol. 11, no. 6, pp. 5342–5350, Jun. 2016, doi: 10.20964/2016.06.61.
- [21] M. E. Ristea and O. Zarnescu, "Indigo Carmine: Between Necessity and Concern," 2023, doi: 10.20944/preprints202308.1337.v1.
- [22] H. O. Chukwuemeka-Okorie, F. K. Ekuma, K. G. Akpomie, J. C. Nnaji, and A. G. Okerefor, "Adsorption of tartrazine and sunset yellow anionic dyes onto activated carbon derived from cassava sieve biomass," *Appl Water Sci*, vol. 11, no. 2, Feb. 2021, doi: 10.1007/s13201-021-01357-w.
- [23] Bachtiar, I., & Widodo, D. S. 2015. "Elektrodekolorisasi Limbah Cair Pabrik Tektstil di Wilayah Semarang dengan Elektroda PbO₂/Pb". *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 18(3): 85-30.
- [24] Karmanto., & Sulistya, R. 2014. Elektrodekolorisasi Zat Warna Remazol Violet 5R menggunakan Elektroda Grafit. *Jurnal Kaunia*. 10(1): 11-19.

- [25] Wulandari, S. 2017. *Pengaruh Variasi Jenis Elektrolit pada Pengolahan Limbah Batik*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.