

Aplikasi Adsorben Berbiaya Murah dalam Remediasi Air Sungai Tercemar Limbah Industri

Fifia Zulti¹, Eka Prihatinningtyas², Evi Susanti³

Pusat Riset Limnologi dan Sumber Daya Air, Badan Riset dan Inovasi Nasional^{1,2,3}
fifi003@brin.go.id¹, ekap003@brin.go.id², evis001@brin.go.id³

Abstrak— Pembangunan berkelanjutan diberbagai aspek termasuk industri telah meningkatkan kesejahteraan masyarakat, namun juga mengakibatkan kerusakan lingkungan. Kegiatan industri menghasilkan banyak limbah yang mekanisme pengolahannya belum tepat sehingga mencemari perairan terutama sungai. Industri tekstil setiap harinya membuang ratusan ton limbah cair ke sungai. Limbah tersebut mengandung zat warna dan polutan organik (*Chemical Oxygen Demand/COD*) yang bersifat toksik sehingga mengganggu ekosistem perairan dan kesehatan manusia. Teknologi remediasi dengan menggunakan adsorben alami menjadi salah satu pilihan yang tepat untuk pengolahan limbah tekstil. Zeolit dan bentonit merupakan mineral alam yang jumlahnya melimpah dan murah serta mempunyai kemampuan adsorpsi yang baik. Pada penelitian ini zeolit dan bentonit diuji kemampuannya untuk mereduksi warna dan COD dalam limbah cair industri tekstil dengan sistem *bed reactor*. Limbah dialirkan ke dalam reaktor dengan laju 10 ml/menit secara kontinyu selama 24 hari. Ada 4 jenis adsorben yang digunakan yaitu zeolit alam, zeolit aktif, bentonit alam dan bentonit aktif. Hasil uji kemampuan adsorben menunjukkan bahwa bentonit aktif paling efektif dibandingkan adsorben lainnya dalam menurunkan polutan yaitu sebesar 83,89% warna dan 95% COD. Jumlah zat warna yang terserap yaitu sebanyak 364,59 mg/g selama 17 hari dan COD sebanyak 1946,92 mg/g selama 19 hari. Berdasarkan hasil tersebut, aplikasi adsorben alam dinilai efektif dalam mereduksi warna dan COD sehingga mengurangi beban pencemar yang masuk ke sungai.

Keywords — adsorpsi, bentonit, COD, warna, zeolit.

Abstract— *Sustainable development in various fields, including industry, has increased people's welfare, but has also caused environmental damage. Hundreds of tons of textile effluent from factories are dumped daily in rivers. Dark brown effluent contains organic and inorganic pollutants and toxic dyes that increase the concentration of Chemical Oxygen Demand (COD) in water bodies which causes disturbance of aquatic life and human health. Remediation technology using natural adsorbents is one of the right choices for textile waste treatment. Zeolite and bentonite are natural adsorbent that are abundant, low-cost, and good performance. In this study, zeolite and bentonite were tested for their ability to reduce color and COD in textile industry wastewater by using continuous bed reactor system. The flowrate of wastewater is 10 ml/minute in 24 days. There are 4 types of adsorbents used, namely natural zeolite, activated zeolite, natural bentonite and activated bentonite. The adsorbent ability test showed that activated bentonite was the most effective in reducing pollutants, that is 83.89% color and 95% COD. The amount of dye absorbed was 364.59 mg/g with retention time 17 days and COD was 1946.92 mg/g for 19 days. Based on these results, the application of natural adsorbents is considered effective in reducing color and COD thereby reducing the pollutant load that enters the river.*

Keywords— adsorption, bentonite, COD, color, zeolite

I. PENDAHULUAN

Pembangunan diberbagai sektor sedang dan akan terus dilakukan di Ibu Kota Negara Baru (IKN) yang berlokasi di Penajam Paser Utara dan Kutai Kartanegara, Kalimantan Barat. Wilayah ini dilewati oleh sungai terpanjang di Indonesia yaitu sungai Kapuas yang memiliki panjang 1.143 km. Oleh karena itu, pengaruh pembangunan terhadap kelestarian sungai sangat perlu diperhatikan agar kasus pencemaran berat seperti yang terjadi di sungai Citarum, Jawa Barat tidak terjadi di sungai-sungai daerah Kalimantan Barat. Sumber utama pencemaran sungai berasal dari limbah domestik, pertanian dan industri. Kegiatan industri tekstil di sepanjang DAS Citarum terutama di wilayah Bandung menjadi penyumbang utama beban pencemaran sungai. Setiap hari, industri tekstil membuang ratusan ton limbah ke sungai[1]–[3].

Proses produksi dalam industri tekstil banyak menggunakan bahan kimia dan pewarna. Proses pencelupan merupakan sumber utama dari limbah industri tekstil. Sekitar 15 sampai dengan 20 persen pewarna yang digunakan dalam proses pewarnaan tekstil tidak menempel pada serat, sehingga langsung dibuang ke pembuangan limbah. Kehadiran pewarna ini dalam konsentrasi rendah menghasilkan air limbah berwarna, yang menimbulkan masalah toksikologi [4]. Limbah tekstil juga banyak mengandung polutan organik dan anorganik[5][6].

Zat warna beracun dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) mengakibatkan degradasi ekosistem perairan. Zat warna dapat mengganggu aktivitas fotosintesis karena penurunan penetrasi cahaya, dan juga berbahaya bagi beberapa spesies air karena komposisinya (keberadaan logam dan hidrokarbon). Sementara itu, konsentrasi COD yang tinggi menunjukkan tingginya konsentrasi polutan organik maupun anorganik di badan air. Kondisi ini menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut yang merupakan unsur penting bagi kehidupan akuatik. Selain beracun, beberapa zat warna juga bersifat karsinogenik, yang dapat menyebabkan penyakit seperti iritasi kulit, sakit kepala, mual, penyakit pernapasan, dan kelainan bawaan [7-8].

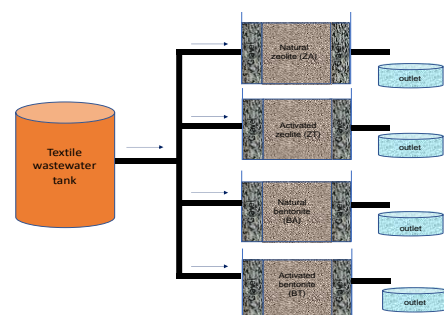
Teknologi untuk mengolah limbah seperti koagulasi, flokulasi, filtrasi membran biologis, dan adsorpsi telah digunakan secara luas. Teknologi adsorpsi paling banyak dipilih karena memiliki proses yang sederhana, efisiensi

tinggi, dan berbiaya murah [3], [7-8]. Ketersediaan bahan adsorben yang murah merupakan salah satu keuntungan dari proses adsorpsi. Mineral alam seperti zeolit dan bentonit yang banyak terdapat di Indonesia diketahui mampu mengikat polutan dalam limbah secara efektif [9]. Bentonit adalah mineral lempung yang memiliki struktur berlapis dan mengembang di dalam air sehingga membentuk gel film, sedangkan zeolit adalah batuan tufa mikro, memiliki struktur kristal dengan rongga [10]. Sintesis adsorben dari bahan alam, baik produk biomassa maupun mineral alam, telah banyak dilakukan. Namun, pada penelitian sebelumnya limbah yang digunakan adalah buatan [11-16]. Keterbaruan dalam penelitian ini adalah penggunaan zeolit alam dan bentonit dalam pengolahan limbah tekstil yang langsung diambil dari salah satu pabrik tekstil. Penelitian ini juga menggunakan sistem adsorpsi *fixed-bed* yang membuatnya mudah untuk diintegrasikan dengan sistem remediasi lainnya, seperti lahan basah (*wetland*). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja zeolit dan bentonit sebagai adsorben murah dalam menyingkahkan warna dan COD pada air limbah tekstil dengan sistem adsorpsi *fixed-bed*.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan

Zeolit dan bentonit diperoleh dari pasar lokal di Bogor. Reaktor adsorpsi dibuat dari 4 bak plastik. Keempat bak tersebut terhubung pada satu sumber inlet dengan kapasitas 500 L, seperti yang terlihat pada Gambar 1. Masing-masing bak berisi Zeolit alam (NZ), Zeolit aktif (AZ), bentonit alam (NB) dan bentonit aktif (AB) dengan volume sama yaitu 46x53,5x40 cm .



Gambar 1. Desain reaktor *Bed Adsorption*

B. Pengumpulan Data dan Analisa

Limbah dialirkan secara terus menerus selama 24 hari dengan laju 10 ml/menit. Contoh air diambil tiap dua hari sekali pada masing-masing bak outlet dan kemudian dianalisa di Laboratorium Pengujian kualitas air di Pusat Riset Limnologi dan Sumber Daya Air BRIN. Pengukuran zat warna mengikuti SNI 6989.80:2011 dengan menggunakan larutan standar Pt-Co dan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada kisaran panjang gelombang 450-465nm. Pengukuran COD mengikuti SNI 06-6989.2-2004 dengan metode refluks tertutup secara spektrofotometri pada panjang gelombang 600 nm.

C. Penentuan Kinerja Adsorben

Nilai efisiensi reduksi (RE) dan kapasitas adsorpsi (q) dihitung menggunakan persamaan (1) dan (2) untuk menentukan kemampuan zeolit dan bentonit dalam menyisihkan warna dan COD dari air limbah.

$$RE (\%) = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100\% \quad (1)$$

$$q \left(\frac{mg}{g} \right) = \frac{C_o - C_t}{m} V \quad (2)$$

Dimana:

C_o = konsentrasi inlet (limbah)

C_t = konsentrasi outlet

m = massa adsorben (g)

V = volume air uji (L)

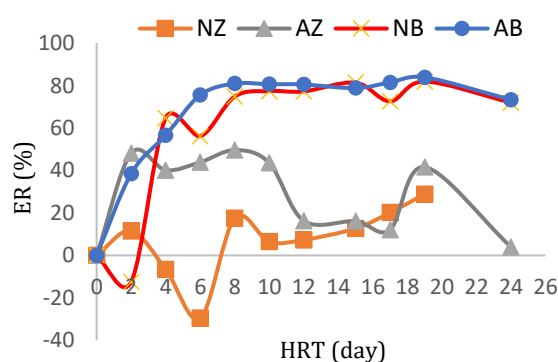
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Reduksi Zat Warna dari Limbah Tekstil

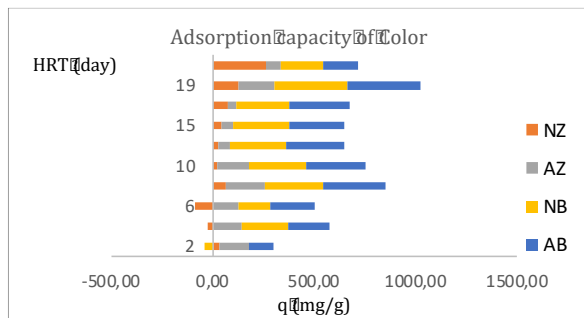
Kemampuan penurunan zat warna dalam limbah tekstil berhubungan dengan waktu retensi hidrolis (HRT). HRT menunjukkan durasi waktu senyawa terlarut tetap berada di bioreaktor untuk jangka waktu tertentu [19]. Kurva serapan warna pada Gambar 2 menunjukkan efisiensi penurunan warna oleh zeolit baik sebelum (NZ) maupun setelah aktivasi (AZ) rendah yaitu 30-50%. Kurva

reduksi warna bentonit menunjukkan bahwa peningkatan HRT mempengaruhi nilai efisiensi reduksi. Dengan meningkatnya HRT, nilai efisiensi reduksi naik hingga tercapai kondisi ekuilibrium. Setelah itu, efisiensi reduksi akan menurun seiring dengan meningkatnya HRT yang menandakan telah terjadi kejenuhan. Efisiensi pengurangan maksimum yang dicapai oleh bentonit adalah 81,88% untuk NB dan 83,89% untuk AB setelah 19 hari. Nilai efisiensi reduksi ini jauh lebih besar dibandingkan penelitian sebelumnya (< 70%) yang menggunakan mineral alam (zeolit dan abu vulkanik) sebagai adsorben [3], [19]. Bentonit teraktivasi memiliki efisiensi reduksi tertinggi, menurunkan konsentrasi warna limbah tekstil dari 165,56 PtCo menjadi 26,67 PtCo.

Pengaktifan adsorben bertujuan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsinya. Zeolit teraktivasi (AZ) dan bentonit (AB) memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar daripada sebelum aktivasi (NZ dan NB). Gambar 3 menunjukkan bahwa bentonit teraktivasi memiliki kapasitas adsorpsi tertinggi sebesar 364,68 mg/g. Karena bentonit aktif memiliki luas permukaan terbesar dari semua adsorben, lebih banyak warna yang terserap ke permukaannya. Menurut penelitian sebelumnya, adsorben dengan ukuran dan kuantitas terbaik akan menghasilkan penghilangan warna yang sangat baik [9].



Gambar 2 Pengaruh Waktu retensi (HRT) terhadap penurunan zat warna dalam limbah tekstil

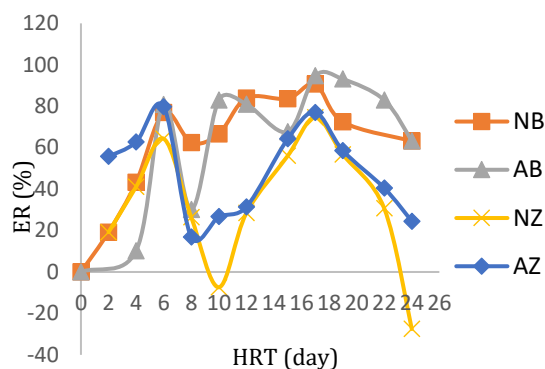


Gambar 3 Perbandingan kemampuan adsorpsi warna antara adsorben alam (NZ,NB) dan adsorben teraktivasi (AZ, AB).

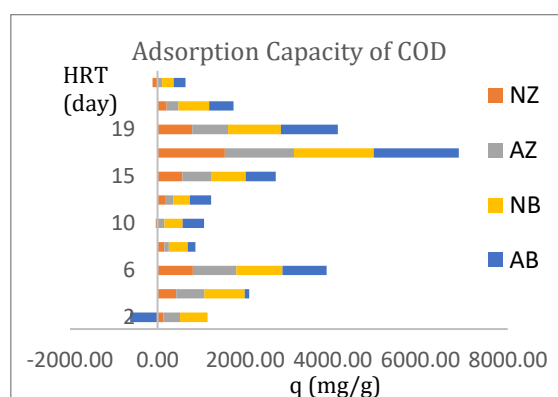
B. Reduksi COD dari Limbah Tekstil

Konsentrasi massa oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik dalam sampel cair dikenal sebagai kebutuhan oksigen kimia (COD). COD berguna untuk mengevaluasi keefektifan proses pengolahan dan memastikan kepatuhan terhadap peraturan pengolahan air limbah [20–22]. Nilai COD berfluktuasi dari hari ke hari (Gambar 4). Nilai efisiensi reduksi menurun secara signifikan pada hari ke 24. Pada hari ke 17, nilai efisiensi reduksi zeolit (NZ) dan bentonit (NB dan AB) sebesar 74,68%, 90,64%, dan 94,68% mencapai level tertinggi. Bentonit teraktivasi mampu menurunkan COD dari 783,33 mg/L menjadi 41,67 mg/L, lebih baik dari penelitian sebelumnya yang menggunakan sistem lahan basah [2]. Baik adsorben alami maupun aktif (Gambar 5) mampu menyerap COD dari air limbah tekstil.

Berdasarkan penjelasan diatas bentonit sebagai mineral alam memiliki kapasitas tinggi untuk pertukaran kation dan penyerapan ion sehingga para peneliti tertarik untuk memperluas penggunaan bentonit dan meningkatkan kapasitas adsorpsinya [23]. Kemampuan ini menjadikan Bentonit sebagai adsorben berbiaya rendah yang sangat menjanjikan dalam pengolahan limbah tekstil [10]–[12], [16].



Gambar 4. Pengaruh HRT pada reduksi COD dari limbah tekstil.



Gambar 5 Perbandingan kemampuan adsorpsi COD antara adsorben alam (NZ,NB) dan adsorben teraktivasi (AZ, AB).

Zat warna dan polutan organik merupakan beban pencemar umum yang ditemukan di Sungai. Kedua beban pencemar itu bukan hanya berasal dari kegiatan industri tapi juga dari aktivitas domestik (rumah tangga, perkantoran dan perdagangan) di sekitar DAS. Polutan organik dalam limbah berkurang secara proporsional dengan jumlah COD yang diserap oleh adsorben [24]. Hasil penelitian ini telah membuktikan bahwa mineral bentonit sebagai adsorben alam mampu mereduksi zat warna dan COD secara efektif. Adsorben alam ini dapat dijadikan alternatif dalam proses remediasi air sungai tercemar.

IV. KESIMPULAN

Pemanfaatan adsorben alam berbiaya murah, seperti zeolit dan bentonit, menjadi alternatif dalam proses remediasi air sungai tercemar. Bentonit memiliki kinerja yang lebih baik daripada zeolit dalam mereduksi warna dan COD pada limbah cair tekstil dengan nilai efisiensi diatas 80 % untuk warna dan 90%

untuk COD. Waktu tinggal yang cukup lama dengan HRT 17-19 hari menjadikan bentonit berpotensi untuk diterapkan langsung dalam

pengolahan limbah skala lapangan dan diintegrasikan dengan sistem remediasi lainnya untuk mengurangi beban pencemaran di sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. C. Ardiati *et al.*, "Application of myco-light expanded clay aggregate for real textile wastewater treatment in rotating drum biological contactor," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1017, no. 1, p. 012023, Apr. 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1017/1/012023.
- [2] E. Rahmadyanti and A. Wiyono, "Constructed Wetland with Rice Husk Substrate as Phytotechnology Treatment for Sustainable Batik Industry in Indonesia," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1569, no. 4, p. 042018, Jul. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1569/4/042018.
- [3] Darmansyah, S. B. Ginting, A. Sanjaya, F. Soraya, and D. Supriyadi, "Synthesis and Characterization of Activated Sludge/Zeolite Adsorbent for Lampung Textile Industry Wastewater Treatment," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1376, no. 1, p. 012040, Nov. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1376/1/012040.
- [4] G. Falini *et al.*, "Natural calcium phosphates from circular economy as adsorbent phases for the remediation of textile industry waste-waters," *Ceram. Int.*, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.ceramint.2022.08.337.
- [5] K. T. Kubra, M. S. Salman, and M. N. Hasan, "Enhanced toxic dye removal from wastewater using biodegradable polymeric natural adsorbent," *J. Mol. Liq.*, vol. 328, p. 115468, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.molliq.2021.115468.
- [6] R. S. Babu, K. Prasanna, and P. S. Kumar, "A censorious review on the role of natural lignocellulosic fiber waste as a low-cost adsorbent for removal of diverse textile industrial pollutants," *Environ. Res.*, vol. 215, p. 114183, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.envres.2022.114183.
- [7] M. R. Al-Mamun, S. Kader, M. S. Islam, and M. Z. H. Khan, "Photocatalytic activity improvement and application of UV-TiO₂ photocatalysis in textile wastewater treatment: A review," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 7, no. 5, p. 103248, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.jece.2019.103248.
- [8] Y. Zhang, K. Shaad, D. Vollmer, and C. Ma, "Treatment of Textile Wastewater Using Advanced Oxidation Processes—A Critical Review," *Water*, vol. 13, no. 24, p. 3515, Dec. 2021, doi: 10.3390/w13243515.
- [9] S. K. Wahono *et al.*, "Transformation of Mordenite-Clinoptilolite Natural Zeolite at Different Calcination Temperatures," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 251, p. 012009, Apr. 2019, doi: 10.1088/1755-1315/251/1/012009.
- [10] G. Italiya, M. H. Ahmed, and S. Subramanian, "Titanium oxide bonded Zeolite and Bentonite composites for adsorptive removal of phosphate," *Environ. Nanotechnology, Monit. Manag.*, vol. 17, p. 100649, May 2022, doi: 10.1016/j.enmm.2022.100649.
- [11] T. Rashid, D. Iqbal, A. Hazafa, S. Hussain, F. Sher, and F. Sher, "Formulation of zeolite supported nano-metallic catalyst and applications in textile effluent treatment," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 8, no. 4, p. 104023, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.jece.2020.104023.
- [12] D. Rostamzadeh and S. Sadeghi, "Ni doped zinc oxide nanoparticles supported bentonite clay for photocatalytic degradation of anionic and cationic synthetic dyes in water treatment," *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, vol. 431, p. 113947, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.jphotochem.2022.113947.
- [13] H. Çiftçi, "Removal of methylene blue from water by ultrasound-assisted adsorption using low-cost bentonites," *Chem. Phys. Lett.*, vol. 802, p. 139758, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.cplett.2022.139758.
- [14] L. Das, N. Saha, A. Ganguli, P. Das, A. Bhowal, and C. Bhattacharjee, "Calcium alginate-bentonite/activated biochar composite beads for removal of dye and Biodegradation of dye-loaded composite after use: Synthesis, removal, mathematical modeling and biodegradation kinetics," *Environ. Technol. Innov.*, vol. 24, p. 101955, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.eti.2021.101955.
- [15] B. Gunturu, N. R. Palukuri, and R. Sahadevan, "Decolorisation of Basic Textile Dye from Aqueous Solutions using a Biosorbent derived from *Thespesia populnea* used Biomass," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 330, p. 012036, Mar. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/330/1/012036.
- [16] T. W. Leal, L. A. Lourenço, A. S. Scheibe, S. M. A. G. U. de Souza, and A. A. U. de Souza, "Textile wastewater treatment using low-cost adsorbent aiming the water reuse in dyeing process," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 2705–2712, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.jece.2018.04.008.
- [17] D. Şahin, M. Öz, E. Sertasi, Ü. Öz, Z. Karsh, and O. Aral, "Evaluation of Natural Minerals (Zeolite and Bentonite) for Nitrogen Compounds Adsorption in Different Water Temperatures Suitable for Aquaculture," *Int. Lett. Nat. Sci.*, vol. 71, pp. 34–42, 2018, doi: 10.18052/www.scipress.com/ilns.71.34.
- [18] P. Fu *et al.*, "Adsorption performance of activated bentonite, zeolite 13X and activated carbon for aminophenazone in transformer oil," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 280, p. 119913, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.seppur.2021.119913.
- [19] S. Salamah and E. T. Wahyuni, "The characterization of Merapi volcanic ash as adsorbent for dyes removal from batik wastewater," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 403, p. 012007, Oct. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/403/1/012007.
- [20] W. Duan, M. Gunes, A. Baldi, M. Gich, and C. Fernández-Sánchez, "Compact fluidic electrochemical sensor platform for on-line monitoring of chemical oxygen demand in urban wastewater," *Chem. Eng. J.*, vol. 449, p. 137837, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.cej.2022.137837.
- [21] N. Zainol, K. A. Samad, C. A. Ilyana Che Jazlan, and N. A. Razahazizi, "Optimization of COD, nitrate-N and phosphorus removal from hatchery wastewater with acclimatized mixed culture," *Heliyon*, vol. 8, no. 4, p. e09217, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e09217.

- [22] A. Ya'acob, N. Zainol, and N. H. Aziz, "Application of response surface methodology for COD and ammonia removal from municipal wastewater treatment plant using acclimatized mixed culture," *Helicon*, vol. 8, no. 6, p. e09685, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.helicon.2022.e09685.
- [23] W. Cao, J. Hao, B. Lian, C. Liu, and F. Wu, "Zeolite and fungi's flocculability of simulated wastewater containing heavy metal ions or phosphorus," *Chinese J. Geochemistry*, vol. 29, no. 2, pp. 137–142, 2010, doi: 10.1007/s11631-010-0137-3.
- [24] T. A. Otitaju *et al.*, "Efficient removal of chemical oxygen demand from lye wastewater by APTES-TiO₂/GO mixed matrix membrane: Optimization using Box-Behnken Design," *J. Clean. Prod.*, vol. 336, p. 130379, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.130379.