

## **Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Adsorpsi Zat Warna Metilen Blue Menggunakan Adsorben Karbon Aktif Alga Coklat Termodifikasi $\text{Fe}_2\text{O}_3$**

Study on the Role of Adsorbent Mass in Methylene Blue Dye Adsorption with  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -Modified Brown Algae Activated Carbon

**Yuli Ristianingsih<sup>1\*</sup>, Indriana Lestari<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta,  
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condong Catur, Yogyakarta 55283, Indonesia

\*Email: y.ristianingsih@upnyk.ac.id

Naskah diterima: 1 Juli 2025; Naskah disetujui: 18 Juli 2025

### **ABSTRACT**

Methylene blue (MB) is a synthetic dye widely used in the textile industry and contains a benzene ring structure, making it resistant to natural degradation. Therefore, wastewater containing MB needs to undergo treatment before being released into the environment, one of which is through adsorption. This study aims to produce activated carbon derived from brown algae, modified with iron oxide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), and to evaluate the effect of varying adsorbent mass on its adsorption capacity for MB. The adsorption process was carried out in a batch reactor for 120 minutes at 30°C with a stirring speed of 350 rpm. Experimental results showed that increasing the amount of activated carbon led to a proportional increase in adsorption capacity for MB. The highest efficiency of 69.59% was achieved using 0.5 grams of activated carbon. Furthermore, the modification of activated carbon with  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  was shown to enhance its performance, reaching a maximum efficiency of 75.21% after 100 minutes using the modified adsorbent.

**Keywords:** Activated carbon, brown algae, methylene blue,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

### **ABSTRAK**

Metilen biru (MB) merupakan salah satu pewarna sintetis yang sering digunakan pada industri tekstil dan senyawa ini mempunyai gugus benzene sehingga sulit terdegradasi secara alami. Zat warna metilen biru (MB) perlu diolah terlebih dahulu menggunakan proses adsorpsi sebelum dibuang ke lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan karbon aktif dari alga coklat yang dimodifikasi permukaannya dengan oksida besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), serta mengevaluasi pengaruh variasi massa adsorben terhadap kapasitas adsorpsi zat warna metilen biru (MB). Proses adsorpsi zat warna metilen biru (MB) dilakukan pada sebuah reaktor batch selama 120 menit pada suhu 30 °C dengan kecepatan pengadukan 350 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak massa karbon aktif yang ditambahkan akan meningkatkan kapasitas penjerapan metilen biru (MB). kapasitas penjerapan maksimum diperoleh pada proses adsorpsi menggunakan karbon aktif 0,5gram dengan kapasitas penjerapan sebesar 69,59%. Selain itu, penambahan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pada karbon aktif juga dapat meningkatkan kapasitas pejerapan metilen biru (MB). kapasitas penjerapan maksimum sebesar 75,21% diperoleh pada proses adsorpsi menggunakan karbon aktif  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  selama 100 menit.

**Kata kunci:** Karbon aktif, alga coklat, metilen biru,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

## PENDAHULUAN

Pencemaran air akibat keberadaan pewarna sintetis dalam konsentrasi tinggi menjadi isu lingkungan yang serius, karena tidak hanya membahayakan manusia, tetapi juga mengancam keseimbangan ekosistem secara keseluruhan (Liu et al., 2020). Pewarna sintetis mewakili lebih dari 60% dari total pewarna yang diproduksi dan dipasarkan di seluruh dunia (Kilic, 2020), dengan metil jingga (MO) dan metilen biru (MB) sebagai dua jenis yang paling banyak digunakan dalam industri. Metilen biru merupakan pewarna kationik dari kelompok fenotiazin yang mengandung struktur cincin benzena, sehingga sangat resisten terhadap degradasi alami. Selain sifatnya yang persisten, MB juga diketahui bersifat toksik terhadap kesehatan manusia. Paparan zat ini dapat menyebabkan iritasi pada kulit dan saluran pencernaan, dan bila terhirup, berpotensi menimbulkan gejala sianosis (yang merupakan suatu kondisi medis yang ditandai dengan perubahan warna kebiruan pada kulit, bibir, dan/atau ujung jari, yang terjadi akibat kekurangan oksigen dalam darah yang beredar di jaringan tubuh) (Latupeirissa et al., 2018). Industri tekstil menjadi pengguna utama pewarna organik sintetis (Liu et al., 2020) sekaligus salah satu sektor paling mencemari lingkungan (Kilic, 2020). Produksi pewarna sintetis global diperkirakan melebihi 100 juta ton setiap tahunnya, dan sekitar 11%–15% dari jumlah tersebut hilang selama proses pewarnaan lalu dibuang begitu saja ke badan air. Setelah masuk ke perairan, pewarna sintetis dapat mengganggu proses fotosintesis secara signifikan, sehingga mengganggu keseimbangan ekosistem akuatik. Pewarna tersebut menghalangi cahaya untuk menembus air, sehingga menghambat fotosintesis tumbuhan air dan menurunkan kadar oksigen terlarut, yang kemudian berdampak negatif pada kehidupan organisme perairan (Lellis et al., 2019). Selain itu, keberadaan warna pada air akibat pewarna memberikan kesan tidak sedap dipandang dan dianggap tidak layak untuk keperluan industri maupun rumah tangga, bahkan jika konsentrasinya sangat rendah (Sewu et al., 2017).

Untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan akibat keberadaan metilen biru dalam limbah cair industri tekstil, diperlukan proses pengolahan sebelum limbah tersebut dibuang ke lingkungan. Salah satu metode yang dianggap efektif, sederhana, dan ekonomis dalam menurunkan konsentrasi metilen biru adalah metode adsorpsi. Hal tersebut disebabkan oleh karakteristik metode adsorpsi yang sederhana dalam pelaksanaannya serta memerlukan biaya operasional yang relatif rendah, sehingga menjadikannya sebagai salah satu teknik pemisahan yang efisien dan ekonomis (Syafila et

al., 2022). Karbon aktif yang diperoleh dari alga coklat merupakan salah satu alternatif adsorben yang menjanjikan untuk dikembangkan. Berbagai penelitian sebelumnya telah melaporkan pemanfaatan biomassa yang kaya karbon atau selulosa, seperti tempurung kelapa (Amelia dan Mufrodi, 2018), biji trembesi (Hayati et al., 2016), serta tongkol jagung (Irfandy et al., 2021; Ristianingsih et al., 2020) sebagai bahan baku adsorben dalam proses adsorpsi.

Alga coklat mengandung mineral dalam jumlah tinggi, yaitu sekitar 14 hingga 35% dari bobot keringnya. Kandungan protein total bervariasi antar spesies, dengan *Laminaria* dan *Saccharina* memiliki kadar antara 8–13%, *Sargassum* sekitar 6–11%, *Macrocystis pyrifera* sebesar 7–13%, dan *Ascophyllum nodosum* antara 5–12%. Komposisi kimia alga coklat menunjukkan variasi yang signifikan tergantung pada musim. Sebagai contoh, kandungan protein kasar berkisar antara 4–8% pada musim gugur dan meningkat menjadi 12–14% dari berat kering pada musim semi. Struktur dinding sel alga ini didominasi oleh asam alginat dan selulosa, yakni jenis heteropolisakarida rantai panjang yang ditemukan dalam proporsi cukup besar, masing-masing sebesar 20–27% pada *M. pyrifera*, 20–45% pada *Laminaria digitata*, dan 15–30% pada *A. nodosum* (Dhanalakshmi et al., 2020).

Alga coklat (*Sargassum sp.*) merupakan salah satu biosorben potensial yang saat ini sedang dikembangkan untuk menghilangkan zat warna dan logam berat dari air limbah. Kandungan polisakarida, khususnya gugus karboksil pada alginat, memberikan kontribusi besar terhadap efektivitas proses adsorpsi. Alginat adalah polisakarida yang tersusun dari asam D-mannuronat dan asam L-guluronat, yang terdapat dalam dinding sel alga coklat dan dapat mencapai hingga 40% dari berat kering total. Kandungan alginat inilah yang menjadi faktor utama dalam kemampuan alga coklat untuk berinteraksi dan mengikat zat warna maupun logam berat (Firmansyah et al., 2019). Selain itu, alga coklat juga unggul dibandingkan jenis alga lainnya karena memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi, mudah dibudidayakan, serta lebih efisien dari segi biaya.

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan karbon aktif berbahan dasar alga coklat yang telah diimpregnasi dengan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  guna menurunkan kadar metilen biru dalam limbah cair industri tekstil. Penambahan senyawa logam  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pada karbon aktif dimaksudkan untuk memperbesar luas permukaannya, sehingga kemampuan adsorpsi terhadap zat warna metilen biru dapat meningkat.

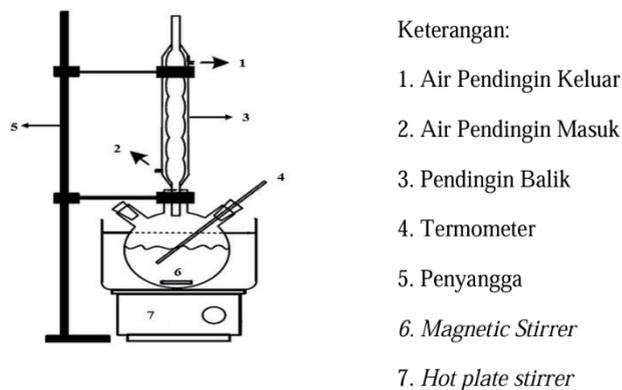
## METODE PENELITIAN

### Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan utama yaitu alga coklat yang diperoleh dari Pantai di daerah Gunung Kidul Yogyakarta. Bahan kimia pendukung yang digunakan berupa KOH 99% yang diperoleh dari Merck Germany, FeSO<sub>4</sub> dan amonium Ferri sulfat (NH<sub>4</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O) diperoleh dari Merck Germany, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat diperoleh dari Merck Germany dan metilen biru dari Merk, Germany.

### Alat

Penelitian ini menggunakan rangkaian peralatan adsorpsi yang meliputi magnetic stirrer, erlenmeyer, batang pengaduk, dan termometer. Selain peralatan utama tersebut, digunakan pula berbagai alat laboratorium pendukung seperti neraca analitis, labu ukur, kertas saring, furnace, oven, cawan porselen (kruz), ayakan berukuran 150 mesh, spektrofotometer UV-Vis, dll. Gambar 1 berikut merupakan rangkaian alat penelitian yang digunakan.



Gambar 1. Rangkaian Alat Penelitian

### Proses Pembuatan Karbon Aktif Alga Coklat

Alga coklat terlebih dahulu dipotong menjadi ukuran kecil dan dikeringkan dengan cara dijemur. Setelah kering, alga dikarbonisasi dalam furnace pada suhu 400 °C selama 1 jam dalam kondisi tanpa oksigen untuk menghasilkan karbon. Arang yang terbentuk kemudian dihancurkan dan disaring menggunakan ayakan berukuran 150 mesh. Selanjutnya, proses aktivasi dilakukan dengan merendam arang dalam larutan KOH 1 M.

### **Proses Pembuatan nano komposit karbon aktif/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

Nanokomposit (c-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-NP-AC) disintesis menggunakan metode sol-gel. Sebanyak 5 gram FeSO<sub>4</sub> dan 10 gram amonium feri sulfat (NH<sub>4</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O) dilarutkan dalam air deionisasi dengan penambahan 6,0 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat. Larutan ini kemudian diencerkan hingga mencapai volume 150 mL, lalu ditambahkan 20 gram karbon aktif. Selanjutnya, larutan NaOH 1,5 M sebanyak 140 mL diteteskan perlahan ke dalam campuran tersebut selama lebih dari satu jam sambil diaduk intensif pada suhu kamar, kemudian dibiarkan selama 17 jam. Setelah itu, sebanyak 100 mL larutan NaOH 3 M ditambahkan secara bertahap ke dalam campuran reaksi sambil terus diaduk pada suhu kamar. Produk nanokomposit c-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-NP-AC yang terbentuk disaring, dicuci berulang kali menggunakan air deionisasi, lalu dikeringkan selama kurang lebih 15 jam pada suhu ruang, dan akhirnya disimpan dalam desikator (Saad dan Tahir, 2017).

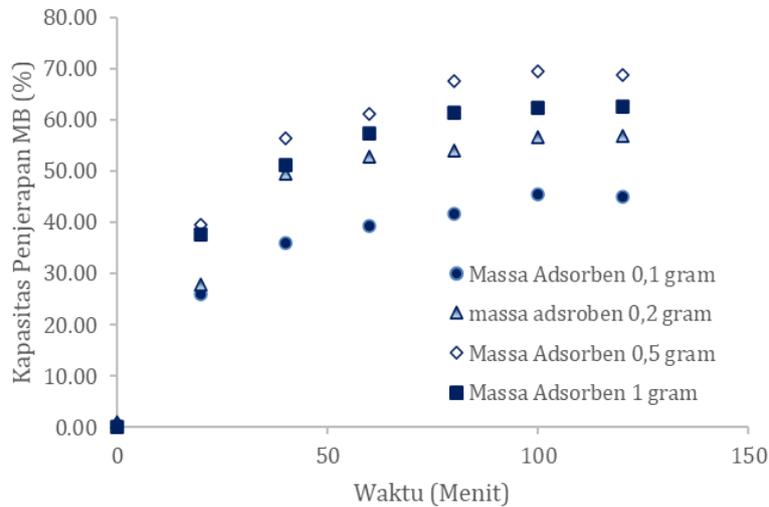
### **Proses Adsorpsi Zat Warna Metilen Blue**

Proses adsorpsi zat warna dilakukan melalui tiga tahapan. Tahap pertama adalah penentuan panjang gelombang optimum metilen biru (MB). Larutan MB dengan konsentrasi 30 ppm diatur pH-nya dalam rentang pH 3 hingga 12,5, kemudian panjang gelombang serapan maksimumnya diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada kisaran 600–700 nm. Tahap kedua melibatkan pembuatan kurva kalibrasi MB. Serangkaian larutan MB dengan konsentrasi bertingkat (0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 dan 60 ppm) disiapkan, diukur pH-nya, dan masing-masing diukur absorbansinya pada panjang gelombang optimum yang diperoleh dari tahap pertama. Dari data tersebut, dibuat kurva standar yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi dan absorbansi, sehingga diperoleh persamaan garis regresi dalam bentuk  $y = ax + b$ . Tahap ketiga adalah proses adsorpsi zat warna, yang dilakukan dengan memvariasikan massa adsorben (0,1;0,2;0,5 dan 1 gram). Zat warna metilen biru dengan konsentrasi awal 50 ppm diadsorpsi menggunakan nano komposit karbon aktif/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan variasi massa adsorben (0,1;0,2;0,5 dan 1 gram) selama 120 menit dengan pengadukan 350 rpm. Pengambilan sampel dilakukan pada menit ke 0, 20, 40, 60 80, 100 dan 120 menit dan selanjutnya dianalisis menggunakan spektrofotometer UV/VIS untuk mengetahui konsentrasi metilen biru yang tersisa.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Kapasitas Penjerapan Metilen Biru

Pengaruh perbedaan massa adsorben terhadap jumlah metilen biru yang teradsorpsi dari limbah cair bervolume 100 mL dengan waktu kontak 120 menit ditampilkan pada Gambar 2. Berdasarkan hasil penelitian, peningkatan massa adsorben dari 0,1; 0,2; 0,5 hingga 1 gram menunjukkan tren peningkatan kapasitas penjerapan metilen biru. Fenomena ini terjadi karena penambahan massa adsorben memperbesar jumlah sisi aktif, sehingga lebih banyak molekul metilen biru dapat diadsorpsi. Di samping itu, jumlah adsorben yang lebih besar turut memperluas area permukaan aktif, yang mendukung peningkatan efisiensi adsorpsi. Temuan ini sejalan dengan hasil studi oleh Amelia dan Mufrodi (2018) yang menyatakan bahwa kenaikan massa adsorben berkorelasi positif dengan peningkatan kapasitas penjerapan zat warna, mengingat luas permukaan dan jumlah titik aktif yang tersedia bertambah. Peningkatan efisiensi penjerapan ini juga menyebabkan penurunan konsentrasi metilen biru dalam limbah cair. Berdasarkan Gambar 2, kapasitas penjerapan optimum tercapai saat menggunakan 0,5 gram adsorben, yaitu sebesar 69,59%.



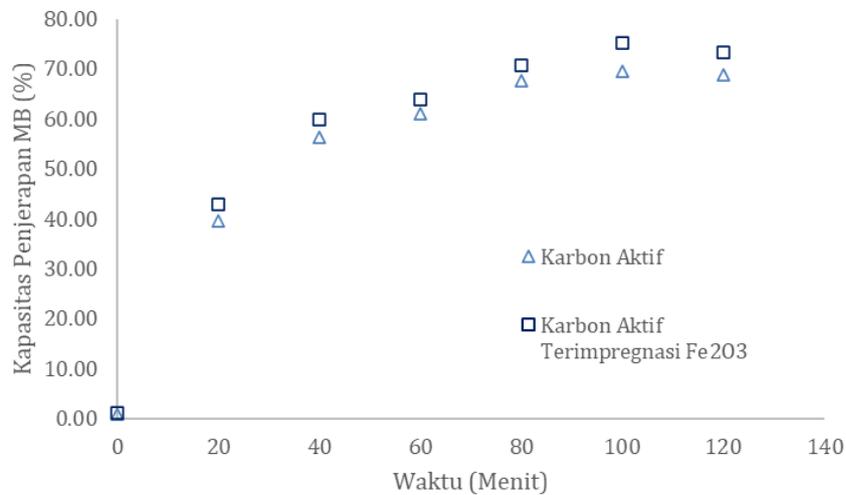
Gambar 2. Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Kapasitas Penjerapan MB

Gambar 2 menunjukkan bahwa penambahan adsorben sebesar 1 gram mengakibatkan kapasitas penjerapan metilen biru mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh terjadinya aglomerasi atau penggumpalan partikel adsorben, yang mengurangi luas permukaan aktif yang tersedia untuk proses adsorpsi. Penambahan massa adsorben pada volume limbah dan konsentrasi awal metilen biru yang tetap justru dapat

menyebabkan tumpukan adsorben, sehingga memperkecil kemungkinan interaksi antara adsorbat dan permukaan adsorben. Akibatnya, proses penjerapan metilen biru menjadi kurang efektif (Siswanti et al., 2024). Aglomerasi pada karbon aktif yang digunakan dapat mengakibatkan pori-porinya menjadi kurang efektif dalam menyerap zat warna metilen biru. Kondisi ini berhubungan dengan berkurangnya luas permukaan aktif yang tersedia. Karbon aktif yang mengalami penggumpalan memiliki jumlah sisi aktif yang lebih sedikit, sehingga kemampuan adsorpsinya menurun. Penurunan penjerapan ini turut melemahkan gaya Van der Waals, yang berperan penting dalam menarik molekul metilen biru dari permukaan larutan limbah ke dalam struktur karbon aktif. Akibatnya, daya tarik karbon aktif terhadap metilen biru berkurang secara signifikan (Siswanti et al., 2024).

### **Pengaruh Penambahan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada Karbon Aktif Terhadap Kapasitas Penjerapan Metilen Biru**

Sintesis adsorben Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/karbon aktif dimulai dengan proses impregnasi, yaitu memasukkan prekursor logam Fe ke dalam struktur pori karbon. Dengan ukuran ion besi terhidrasi sebesar 194 pm, ion ini dapat menembus pori-pori karbon yang dihasilkan dari alga coklat. Langkah awal impregnasi dilakukan melalui kontak antara larutan logam dengan permukaan karbon, yang kemudian diikuti oleh proses pengeringan dan kalsinasi untuk membentuk senyawa oksida besi. Penyebaran oksida besi yang merata pada permukaan karbon menjadi aspek krusial dalam proses ini, karena keseragaman distribusi logam akan meningkatkan kemampuan adsorpsi dari material yang dihasilkan. Integrasi logam Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ke dalam karbon aktif yang berasal dari alga coklat dilakukan untuk meningkatkan luas permukaan aktif material, sehingga kapasitas adsorpsinya terhadap zat warna metilen biru menjadi lebih optimal (Ristianingsih et al., 2020). Gambar 3 berikut menunjukkan pengaruh penambahan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada karbon aktif terhadap kapasitas penjerapan zat warna metilen biru (MB).



**Gambar 3. Pengaruh Penambahan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Terhadap Kapasitas Penjerapan Zat Warna Metilen Biru**

Gambar 3 diatas memperlihatkan bahwa dengan penambahan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi zat warna metilen biru. Hal ini dikarenakan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat memperluas luas permukaan dan memperbanyak jumlah pori aktif pada karbon, sehingga area kontak antara adsorben dan adsorbat meningkat. Selain itu, keberadaan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menciptakan situs aktif tambahan yang memungkinkan terjadinya interaksi elektrostatik dan kompleksasi antara ion logam dengan molekul zat warna, sehingga kapasitas adsorpsi meningkat. Penambahan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> juga dapat meningkatkan selektivitas adsorben terhadap polutan tertentu serta memperkuat kestabilan kimia dan termal karbon aktif, menjadikannya lebih efektif dan efisien dalam proses pengolahan limbah cair (Saad dan Tahir, 2017). Kapasitas penjerapan metilen biru (MB) optimum sebesar 75,21% diperoleh dengan proses adsorpsi menggunakan nano komposit karbon aktif/ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> selama 100 menit.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat diambil kesimpulan bahwa semakin banyak massa adsorben yang ditambahkan maka kapasitas penjerapan zat warna metilen biru (MB) juga akan meningkat. Kapasitas penjerapan maksimum sebesar 69,59% pada saat penambahan adsorben sebanyak 0,5 gram. Penambahan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada karbon aktif alga coklat terbukti dapat meningkatkan kapasitas penjerapan zat warna metilen biru (MB) kurang lebih sebesar 10,4% dari 68,1% menjadi 75,21%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi kepada LPPM Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta atas dukungan pendanaan yang diberikan melalui skema Hibah Penelitian Dasar tahun 2024.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, S. & Mufrodi, Z., (2018), 'Uji Aktivitas Adsorben Karbon Aktif Tempurung Kelapa Termodifikasi Dengan Active Site  $Fe_2O_3$ ', *Chemica Journal*, Vol 5 (2), pp. 51–55. <https://doi.org/10.26555/chemica.v5i2.12185>
- Dhanalakshmi, C. S., Madhu, P., Karthick, A., Mathew, M., & Kumar, R. V., (2020), 'A comprehensive MCDM-based approach using TOPSIS and EDAS as an auxiliary tool for pyrolysis material selection and its application. *Biomass Conversion and Biorefinery*, Vol 12, pp. 5845–5860. <https://doi.10.1007/s13399-020-01009-0>
- Firmansyah A., Riza A.M., Mahreni, (2019), 'Pemanfaatan Alga Cokelat (*Sargassum sp*) sebagai Bioadsorben dalam Proses Penyerapan Logam Fe pada Air Sumur UPN "Veteran" Yogyakarta', *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*. Jurusan Teknik Kimia UPN Veteran Yogyakarta. ISSN: 1693-4393.
- Hayati, G.I., Pertiwi, B., Ristianingsih, Y., (2016), 'Pengaruh Variasi Konsentrasi Adsorben Biji Trembesi Terhadap penurunan Kadar Logam Kromium (Cr) Total Pada Limbah Industri Sasirangan', *Konversi*, vol 5 (2), pp. 1-4. <http://dx.doi.org/10.20527/k.v5i2.4760>
- Irfandy F., Ristianingsih Y., Istiani A, (2021), 'Uji Aktivitas Karbon Aktif Tongkol Jagung Terimpregnasi  $Fe_2O_3$  Sebagai Biosorben Limbah Warna Methylene Blue', *Eksergi*, Vol. 18 (2), pp. 90-93.
- Kilic M.Y., (2020), 'Hen Feather: A Comparative Treatability Study For Textile Wastewater: Agricultural Waste Adsorbent Versus Activated Carbon', *Polish Journal of Environmental Studies*, 29, pp. 4131–4137. <https://doi.org/10.15244/pjoes/120770>
- Latupeirissa J., Matheis, Sigit Hardiyanto M., 2018, 'Kinetika Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru Oleh Karbon Aktif Kulit Kemiri (*Aleurites moluccana* (L) Willd), *Indonesian Journal of Chemical Research*, Vol.6 (1), pp. 12-21. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2018.6-jol>
- Lellis B., C.Z. Fávoro-Polonio, J.A. Pamphile, J.C. Polonio, (2019), 'Effects of Textile Dyes on Health and the Environment and Bioremediation Potential of Living Organisms', *Biotechnology Research and Innovation.*, 3 (2), pp. 275–290. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2019.09.001>

- Liu J, F. Chen, Q. Yao, Y. Sun, W. Huang, R. Wang, B. Yang, W. Li, J. Tian, (2020), 'Application Prospect of Graphene and Its Composites in Wastewater Treatment', Polish Journal of Environmental Studies, 29, pp. 3965–3974. <https://doi.org/10.15244/pjoes/117660>
- Ristianingsih Y., Istiani A., Irfandy F., (2020), 'Keseimbangan Adsorpsi Zat Warna Metilen Blue Dengan Adsorben Karbon Aktif Tongkol Jagung Terimpregnasi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>', Jurnal Teknologi Agro Industri, Vol.7 (1), pp. 47-55.
- Saad M., Tahir H., 2017, 'Synthesis of Carbon Loaded  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanocomposite and Their Applicability for the Selective Removal of Binary Mixture of Dyes by Ultrasonic Adsorption Based on Response Surface Methodology', Ultrasonics Sonochemistry, Vol 36, pp. 393:408. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.12.010>
- Sewu D.D, P. Boakye, S.H. Woo, (2017), 'Highly Efficient Adsorption of Cationic Dye by Biochar Produced With Korean Cabbage Waste', Bioresource Technology, 224, pp. 206–213. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.009>
- Siswanti, Yobellya Putri and Afifah Hasna Oktaviana, 2024, 'Adsorpsi Zat Warna Remazol Brilliant Blue R Pada Limbah Industri Batik Menggunakan Adsorben dari Mahkota Buah Nanas', Eksergi, Vol 21 (1), pp. 9-16.
- Syafila M., Helmy Q., Musthofa A.M.H., 2022, 'Methylene Blue Adsorption by Activated Carbon and Nano Activated Carbon from Biomass Waste: A Review'. Jurnal Presipitasi. Vol 19 (3). Pp. 553-565). <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v19i3.553-565>