

Pengaruh Massa Adsorben Nanopartikel Fe_3O_4 – Karbon Aktif Tempurung Siwalan (*Borassus Flabillefer L*) Terhadap Efisiensi Penyisihan Zat Warna

Ibnu Khusnuz Zain¹, Novi Eka Mayangsari^{1*}, dan Tarikh Azis Ramadani²

¹ Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

² Program Studi Teknik Bangunan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: noviekam@ppns.ac.id

Abstrak

Tempurung Siwalan memiliki kandungan hemiselulosa, selulosa, dan lignin yang tinggi sehingga berpotensi sebagai bahan pembuat karbon aktif. Karbon aktif memiliki pori-pori dan luas permukaan yang dapat dioptimalkan sebagai penjernihan air, pemurnian gas, dan penetral dari berbagai limbah. Karbon aktif dari bahan dasar tempurung siwalan dapat dimanfaatkan sebagai adsorben untuk penjernihan zat pewarna tekstil, seperti zat *congo red* dan *methylene blue*. Karbon aktif tempurung siwalan dapat dikompositkan dengan Fe_3O_4 (Fe_3O_4 @AC-Tempurung Siwalan) dengan metode kopresipitasi dengan tujuan meningkatkan kapasitas adsorpsi. Pengujian dilakukan dengan variasi massa (0,25; 0,5; 0,75; 1,00 dan 1,25 gram) serta dilakukan pada waktu kontak 100 menit. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi penyisihan tertinggi *congo red* dan *methylene blue* terjadi pada massa 0,25 gram sebesar 96,24% dan 93,24%. Berdasarkan hasil tersebut Fe_3O_4 @AC-Tempurung Siwalan memiliki efisiensi penyisihan yang tinggi untuk menjernihkan zat pewarna *congo red* dan *methylene blue*.

Keywords: Congo Red, Efisiensi Penyisihan, Fe_3O_4 @AC, Methylene Blue, Kopresipitasi

1. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah merubah kondisi bumi, salah satu dampak perkembangan tersebut adalah pertumbuhan industri yang luar biasa. Tidak dapat dipungkiri bahwa industri merupakan salah satu penopang perekonomian di Indonesia, salah satunya adalah industri tekstil. Peningkatan industri tekstil merusak lingkungan perairan akibat limbah cair yang mengandung zat warna yang dibuang tanpa pengolahan sebelumnya. Menurut *Colour Index*, terdapat sekitar 8.000 senyawa kimia yang digunakan sebagai zat pewarna, meliputi asam, basa, maupun zat reaktif (Buthelezi, 2012). Salah satu jenis zat pewarna yang sering digunakan yaitu zat pewarna *congo red* dan *methylene blue*. Kedua pewarna ini dapat disatukan menggunakan sistem biner. Dalam sistem ini, *congo red* dan *methylene blue* digunakan bersama-sama untuk menghasilkan reaksi selektivitas dan pengamatan tertentu.

Zat warna tekstil *Congo Red* dan *Methylene Blue* merupakan bahan kimia yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Jika tertelan, dapat menyebabkan sakit perut, muntah, dan diare. Jika teradsorpsi pada kulit atau mata, dapat menyebabkan iritasi, menyebabkan kanker, dan masalah reproduksi dan janin. Karena kelarutannya tinggi dalam air, kedua zat warna ini sangat mudah larut dalam air dan tidak dapat didegradasi secara biologi (Hao dkk., 2022).

Beberapa teknologi telah dikembangkan untuk mengurangi kadar pencemar air limbah. Teknik konvensional yang biasanya digunakan adalah proses fisik-kimiawi seperti presipitasi, oksidasi, reduksi, ekstraksi pelarut, ekstraksi elektrolisis, pertukaran ion dan adsorpsi (Priadi dkk., 2014). Salah satu metode yang paling sering digunakan adalah dengan metode adsorpsi. Adsorpsi adalah proses perpindahan massa pada permukaan pori-pori dalam butiran adsorben (Kardiman dkk., 2019). Kelebihan dari penggunaan metode adsorpsi adalah tidak mengubah struktur kimia dari substansi limbah serta dapat dipisahkan kembali setelah dimanfaatkan. Adsorben yang dapat digunakan untuk adsorpsi yaitu menggunakan karbon aktif dimana memiliki keunggulan seperti biaya rendah, kesederhanaan, dan ramah lingkungan (Hossain, 2024).

Karbon aktif adalah arang yang dihasilkan melalui proses aktivasi untuk memperbesar ukuran pori-porinya sehingga kemampuan penyerapannya meningkat. Aktivasi karbon aktif dapat terjadi secara fisika dan kimia. Aktivasi secara fisika, dilakukan dengan memanaskan karbon pada suhu tinggi dalam aliran gas inert, seperti uap untuk mengembangkan pori-porinya. Sedangkan secara kimia, dilakukan dengan penambahan larutan kimia, seperti NaOH. Wulandari (2015) telah mengkaji pengaruh konsentrasi larutan NaOH dalam aktivasi

kimia - fisika untuk adsorpsi logam Cu^{2+} . Hasil yang didapatkan semakin tinggi konsentrasi larutan NaOH maka persentase logam Cu^{2+} teradsorpsi akan semakin menurun.

Kelemahan penggunaan karbon aktif sebagai adsorben adalah sulitnya proses filtrasi, pemisahan dan perolehan kembali karbon aktif. Hal ini tentu saja tidak efisien karena karbon tidak dapat digunakan kembali dan membutuhkan prosedur mahal untuk memisahkannya dari air yang diolah. Oleh karena itu, sangat sulit untuk memisahkan karbon dengan mudah dari air yang diolah dan mendaur ulangnya untuk digunakan kembali. Permasalahan ini bisa diatasi dengan memodifikasi karbon aktif menggunakan magnetik nanopartikel Fe_3O_4 . Kombinasi bahan magnetik dan karbon aktif tidak hanya mempertahankan sifat kimia dan fisik asli tetapi juga memiliki karakteristik pemisahan magnetik. Metode yang umum digunakan yaitu metode kopresipitasi kimia, hal ini dikarenakan stabilitas bahan yang baik, dan pemisahan magnetik yang jelas (Wu dkk., 2023). Perlakuan magnetik pada karbon aktif dapat mengurangi biaya operasional dan biaya perawatan untuk komponen saringan yang rusak karena pemakaian (Lestari dkk., 2021).

Modifikasi metode adsorpsi magnetik nanopartikel Fe_3O_4 menggunakan material alam menarik untuk diteliti karena akan menambah nilai ekonomis dari material tersebut. Siwalan (*Borassus flabellifer L*) merupakan salah satu jenis palem yang mendominasi lahan kering dan berpasir di daerah tropis. Pohon siwalan memiliki batang yang tinggi dan kuat, dapat mencapai ketinggian hingga 30 meter (Tambunan, 2014).

Pohon siwalan memiliki banyak manfaat mulai dari daun, batang, buah, tempurung, serta kulit buahnya. Tempurung buah siwalan sering kali tidak dimanfaatkan oleh sebagian orang sehingga terjadi penumpukan sampah untuk tempurung siwalan itu sendiri. Komposisi utama tempurung buah siwalan terdiri dari selulosa 11,90%, air 13,80%, abu 4,46%, karbon 44,58% (wb) dan bahan volatile 23,85% (Dewati, 2014). Tempurung siwalan memiliki banyak sekali manfaat, salah satunya dapat digunakan untuk menjadi adsorben, yaitu adsorben logam berat Pb (Rahmawati, 2013), logam berat Cu dan Cd (Ramadiyani dkk, 2021), serta untuk zat pewarna rhodamine B (Heriono dan Rusmini, 2015).

Kurangnya pemanfaatan siwalan yang menjadi limbah dapat dimanfaatkan sebagai karbon aktif, seperti halnya limbah tempurung siwalan. Tempurung siwalan dapat bertindak sebagai bio-adsorben yang mudah didapatkan, terdapat di alam dalam jumlah banyak, dan murah. Maka dari itu, pemanfaatan tempurung siwalan sebagai karbon aktif yang dikombinasikan dengan nanopartikel Fe_3O_4 ($\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{AC}$ - Tempurung Siwalan) sebagai adsorben zat warna *congo red* dan *methylene blue* perlu dilakukan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium limbah dan laboratorium kimia Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

2.2 Bahan dan Peralatan

Tempurung siwalan, NaOH (Merck), Akuades, zat warna *congo red* (Merck) dan *methylene blue* (Merck), pembuatan larutan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (SAP), $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Adapun alat yang digunakan adalah hot plate, neraca analitik, oven, ayakan 100 mesh, furnace, stirrer, pH meter, kertas saring, desikator, dan spektrofotometri UV-Vis.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Preparasi Sampel

Sampel tempurung siwalan yang dikumpulkan sebelumnya dibersihkan terlebih dahulu dengan air mengalir, lalu dipotong menjadi ± 3 cm dan jemur dibawah sinar matahari, dan dihancurkan hingga menjadi halus.

2.3.2 Pembuatan Karbon Aktif

Tempurung siwalan dipanaskan dalam furnace dalam suhu 320°C selama 2 jam, lalu diamkan pada desikator selama ± 15 menit. karbon dihaluskan menggunakan blender lalu disaring menggunakan ayakan 100 mesh. Karbon yang telah dihaluskan diaktivasi menggunakan 25 mL NaOH 0,5 M selama 24 jam dan di cuci menggunakan akuades. Karbon yang telah netral selanjutnya di keringkan dalam oven dengan suhu 120°C selama 30 menit (Rha Hayu dkk., 2022).

2.3.3 Pembuatan Karbon Aktif magnetik

10 gram bubuk karbon aktif tempurung siwalan dicampurkan dengan 7,32 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan 13,32 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ditambahkan ke dalam 400 mL air murni dalam gelas kimia. Campuran ini, dipanaskan hingga 60°C dengan pengadukan terus menerus untuk memastikan Fe^{2+} dan Fe^{3+} menyebar kedalam karbon aktif. Setelah itu, dinginkan hingga 40°C , teteskan NaOH (5M) hingga pH mencapai 10-11, lalu suspensi diaduk selama 4 jam dan dibiarkan mengendap semalaman. Partikel padat yang telah diendapkan, diisolasi

menggunakan magnet dan dicuci dengan aquades hingga netral. Ketika telah netral, impuritas dihilangkan menggunakan aseton dan etanol, setelah itu, karbon aktif magnetik dikeringkan pada suhu 60°C selama 48 jam (Yağmur & Kaya, 2021).

2.3.4 Pembuatan Larutan Artifisial

1 gram *Congo Red* dan *Methylene Blue* dilarutkan dengan aquades 1000 ml sehingga didapatkan konsentrasi larutan induk *Congo Red* dan *Methylene Blue* sebesar 1000 ppm, setelah itu, encerkan 10 ml larutan induk dengan aquades hingga batas labu ukur 100 ml, sehingga didapatkan konsentrasi *Congo Red* dan *Methylene Blue* sebesar 100 ppm.

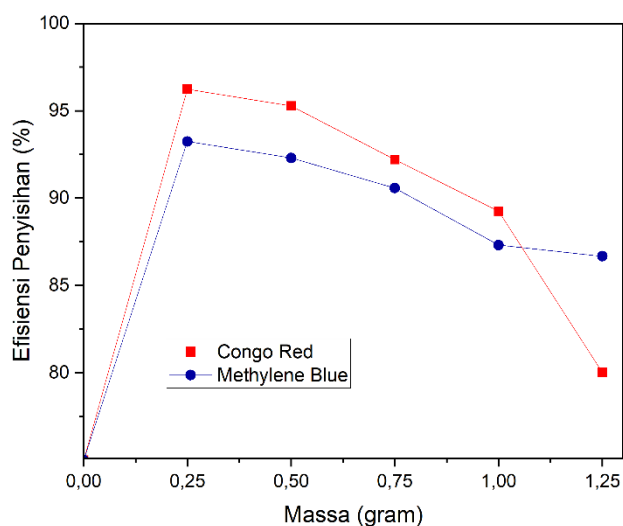
2.3.5 Adsorpsi Zat Pewarna *Congo Red* dan *Methylene Blue* dengan Variasi Waktu Kontak

Serbuk karbon aktif dengan variasi massa 0,25g; 0,5g; 0,75g; 1,0g; dan 1,25g dilarutkan dengan 100 ml larutan *congo red-methylene blue* dengan waktu kontak selama 100 menit. Setelah proses adsorpsi, pisahkan padatan karbon aktif dengan larutan *congo red-methylene blue*. Setelah itu, larutan zat warna diukur menggunakan spektrofotometri UV-Vis dengan Panjang gelombang 501 nm (*congo red*) dan 665 nm (*methylene blue*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Massa adsorben merupakan berat dari bahan yang digunakan sebagai media untuk menyerap zat (adsorbat) dari larutan. Massa adsorben juga merupakan parameter penting dalam aplikasi proses adsorpsi, karena mempengaruhi kapasitas adsorpsi dan efisiensi proses. Penentuan pengaruh massa karbon aktif magnetik nanopartikel Fe₃O₄ tempurung siwalan terhadap efisiensi penurunan zat pewarna *congo red* dan *methylene blue* dilakukan dengan menggunakan waktu kontak selama 100 menit serta menggunakan 5 variasi massa karbon aktif yaitu 0,25g; 0,5g; 0,75g; 1,0g; dan 1,25g dengan konsentrasi 100 ppm. Grafik hasil pengujian pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi penurunan zat pewarna *congo red* dan *methylene blue* dapat dilihat pada Gambar 1.

Hasil adsorpsi *congo red* dan *methylene blue* diukur absorbansi nya dengan spektrofotometri UV-Vis dengan Panjang gelombang 501 nm untuk *congo red* dan 665 nm untuk *methylene blue*. Lalu, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efisiensi penyisihan. Efisiensi penyisihan tertinggi untuk *congo red* adalah sebesar 96,24% dan efisiensi penyisihan tertinggi untuk *methylene blue* adalah sebesar 93,24%.



Gambar 1. Pengaruh Massa Adsorben terhadap Adsorpsi Zat Pewarna *Congo Red* dan *Methylene Blue*

Efisiensi penyisihan *congo red* dan *methylene blue* memiliki kondisi optimum pada massa 0,25 gram. Lalu, mengalami penurunan seiring dengan penambahan massa adsorben. Efisiensi penyisihan *congo red* dan *methylene blue* turun sebesar 16,21% dan 6,57% dari massa 0,25 gram ke 1,25 gram. Hal ini terjadi karena massa 0,5 gram hingga 1,25 gram banyak zat aktif yang belum berikatan dengan adsorbat, sehingga efisiensinya kecil. Massa adsorben yang lebih kecil mencapai kesetimbangan lebih cepat karena jumlah situs aktif yang tersedia cepat terisi. Setelah kesetimbangan tercapai, tidak ada lagi adsorbat yang dapat diserap, sehingga efisiensi removal tidak bertambah (You dkk., 2022).

4. KESIMPULAN

Uraian penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa massa optimum untuk adsorpsi zat pewarna *congo red* dan *methylene blue* adalah 0,25 gram per 100 ml larutan zat adsorbat. Efisiensi penyisihan tertinggi untuk *congo red* sebesar 96,24% dan efisiensi penyisihan tertinggi untuk *methylene blue* adalah sebesar 93,24%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Buthelezi, S.P., Olaniran, A.O., Pillay, B., Textile Dye Removal from Wastewater Effluents Using Biofloculants Produced by Indigenous Bacterial Isolates. *Molecules*, 17, 2012, pp. 14260-14274
- C. R. Priadi, A. Anita, P. N. Sari, and S. S. Moersidik. (2014). Adsorpsi logam seng (Zn) dan timbal (Pb) pada limbah cair industri keramik oleh tanah liat. *Reaktor*, 15(1), 10–10. <https://doi.org/10.14710/reaktor.15.1.10-19>
- Dewati, Retno. 2014. Kinetika Reaksi Pembuatan Asam Oksalat dari Sabut Siwalan dengan Oksidator H₂O₂. Surabaya: Teknik Kimia FTI-UPNV Jawa Timur. *Jurnal Penelitian Ilmu Teknik* Vol. 10, No. 1, Juni 2010: 29-37.
- Hao, Y. S., Othman, N., & Zaini, M. A. A. (2022). Methylene blue and Congo red removal by activated carbons: A current literature. *Acta Universitatis Sapientiae. Agriculture and Environment*, 14(1), 29–44. <https://doi.org/10.2478/ausae-2022-0003>
- Heriono, dan Rusmini (2015). Pemanfaatan Sabut Siwalan untuk Pembuatan Karbon Aktif sebagai Adsorben Limbah Pewarna Industri Batik. *Sains dan matematika*. 4(1) Universitas Negeri Surabaya.
- Hossain, M. A., H. Hao Ngo, Guo, W. S., & Nguyen, T. V. (2024). Removal of Copper from Water by Adsorption onto Banana Peel as Bioadsorbent. *GEOMATE Journal*, 2(4), 227–234.
- Kardiman, K., La Ifa, L. I., & Rasyid, R. (2020). Pembuatan adsorben dari sabut kelapa sebagai penyerap logam berat Pb(II). *ILTEK : Jurnal Teknologi*, 14(2), 2083–2087. <https://doi.org/10.47398/iltek.v14i2.421>
- Lestari, I., Prasetyo, E., & Gusti, D. R. (2021). Penggunaan karbon aktif magnetit- Fe₃O₄ sebagai penyerap zat warna remazol yellow. *Journal BiG ME*, 1(1), 29–37. <https://doi.org/10.22437/bigme.v1i1.12311>
- Ramadiyani, L. S., dan Munasir (2021). Material Komposit Karbon Aktif/Fe₃O₄ sebagai Adsorben Zat Warna dan Logam Berat (Cu dan Cd) dalam Air. Universitas Negeri Surabaya
- Rha Hayu, L. D., Nasra, E., Azhar, M., & Etika, S. B. (2022). Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue Menggunakan Karbon Aktif dari Tempurung siwalan (*Durio zibethinus Murr*). *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP*, 11(1), 8. <https://doi.org/10.24036/p.v11i1.113349>
- Tambunan P. (2014). Potensi dan kebijakan pengembangan lontar untuk menambah pendapatan penduduk (the Potential and Policy for Lontar Development to Increase the People Income). *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 7, 27–45
- Wulandari, F., Budi, E. (2015). Pengaruh konsentrasi larutan naoh pada karbon aktif tempurung kelapa untuk adsorpsi logam Cu²⁺. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya* (Vol. 16, Issue 2).
- Wu, Z., Zhang, H., Ali, E., Shahab, A., Huang, H., Ullah, H., & Zeng, H. (2023). Synthesis of novel magnetic activated carbon for effective Cr(VI) removal via synergistic adsorption and chemical reduction. *Environmental Technology and Innovation*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103092>
- Yağmur, H. K., & Kaya, İ. (2021). Synthesis and characterization of magnetic ZnCl₂-activated carbon produced from coconut shell for the adsorption of methylene blue. *Journal of Molecular Structure*, 1232
- You, X., Zhou, R., Zhu, Y., Bu, D., & Cheng, D. (2022). Adsorption of dyes methyl violet and malachite green from aqueous solution on multi-step modified rice husk powder in single and binary systems: Characterization, adsorption behavior and physical interpretations. *Journal of Hazardous Materials*, 430, 128445.