

Kajian Isoterm Adsorpsi Metilen Biru pada *Biochar Kulit Sagu (Metroxylon sagu)*

¹Henny Amelia, Rizki Fitria, *^{1,2}Sunardi

¹Program Studi Kimia, FMIPA Universitas Lambung Mangkurat, Indonesia

²Pusat Penelitian Material Berbasis Lahan Basah, Universitas Lambung Mangkurat, Indonesia

hennyamel85@gmail.com, rizki.fitria@ulm.ac.id, sunardi@ulm.ac.id

ARTICLE INFO

Article History:

Diterima : 14-02-2023

Disetujui : 10-03-2023

Keywords:

Adsorption; Biochar;

Methylene blue;

Pyrolysis; Sago skin



ABSTRACT

Abstract: Sago bark biomass waste was modified into biochar through pyrolysis with temperature variations of 500 °C, 600 °C and 700 °C for 2 hours to increase the adsorption capability. This research aims to know the adsorption isotherm model of methylene blue on sago bark biochar. The results showed that the adsorption capability of biochar increased comparing to the adsorption capability sago bark without pyrolysis process and reached optimum adsorption condition at pH 9 for 10 minutes. The results of the analysis show that the adsorption of methylene blue on biochar is closer to the Freundlich isotherms model than to the Langmuir isotherm model. The adsorption capacity of methylene blue on pyrolysis biochar at temperature of 500 °C, 600 °C, and 700 °C respectively were 45,86; 46,22 and 46,90 mg/g.

Abstrak: Limbah biomassa kulit sagu dimodifikasi menjadi biochar melalui pirolisis dengan variasi suhu 500 °C, 600 °C, dan 700 °C selama 2 jam untuk memperbaiki kemampuan adsorpsinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola isoterm adsorpsi metilen biru pada biochar kulit sagu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi biochar terhadap metilen biru meningkat dibandingkan adsorpsi sebelum proses pirolisis dan mencapai kondisi optimum adsorpsi pada pH 9 selama 10 menit. Hasil analisis menunjukkan bahwa adsorpsi metilen biru pada biochar lebih mendekati model isoterm Freundlich dibanding model isoterm Langmuir. Kapasitas adsorpsi metilen biru pada biochar hasil pirolisis pada suhu 500 °C, 600 °C, dan 700 °C berturut-turut sebesar 45,86; 46,22 dan 46,90 mg/g.



<https://doi.org/10.31764/justek.vXIY.ZZZ>



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

A. LATAR BELAKANG

Semakin pesatnya perkembangan industri membuat kekhawatiran terkait keberadaan polutan di lingkungan terus terulang, khususnya pencemaran di wilayah perairan oleh berbagai jenis polutan organik ataupun anorganik (Guimaraes *et al.*, 2022). Di antara beberapa polutan, zat warna sintetis dianggap yang paling menonjol. Pewarna sintetis dibuat agar dapat tahan dari paparan sinar matahari, air, sabun, dan zat pengoksidasi untuk waktu yang lama. Oleh karena itu, pewarna sintetis menjadi sulit didegradasi dengan proses pengolahan air limbah konvensional serta memiliki toksisitas yang tinggi terhadap lingkungan. Beberapa pewarna mempunyai karakteristik mutagenik, karsinogenik, dan pembuangan yang tidak tepat mampu mengakibatkan terbentuknya produk sampingan beracun. Warna yang kuat juga dapat menghambat jalannya cahaya sehingga mengganggu fotosintesis tanaman air. Hal ini tentunya menjadi perhatian

khusus agar dapat melakukan pengurangan pewarna sintetis sebagai kontaminan utama dalam air limbah (Quedrhiri *et al.*, 2022).

Penghilangan zat warna dapat dilakukan dengan berbagai macam proses seperti biodegradasi, degradasi kimia, presipitasi, dan adsorpsi (Guimaraes *et al.*, 2022). Biodegradasi merupakan proses ramah lingkungan yang menghasilkan produk degradasi sederhana lalu akan termineralisasi. Tantangan dari proses ini yaitu memilih mikroorganisme yang paling efisien untuk degradasi polutan tertentu (Sonwani *et al.*, 2020). Proses degradasi kimia dan pengendapan terbilang relatif sederhana serta mudah dilakukan. Terlepas dari itu adanya biaya reagen kimia yang dipakai selama proses serta kemungkinan terbentuk produk sampingan beracun (Pan *et al.*, 2017). Adsorpsi merupakan proses efisien dan sederhana untuk mengatasi limbah yang terkontaminasi zat warna, namun menghasilkan sebagian besar lumpur untuk air limbah dengan kadar pewarna yang tinggi (Sonwani *et al.*, 2020).

Adsorpsi karbon aktif sebagian adsorben yang digunakan relatif mahal karena biaya produksi relatif tinggi dan kesulitan regenerasinya untuk digunakan kembali. Karbon aktif sendiri merupakan padatan yang terdiri dari 85-95% karbon umumnya berasal dari zat karbon lainnya seperti batu bara. Sebagai bentuk upaya mengatasi kesulitan tersebut, berbagai penelitian dilakukan agar dapat menemukan alternatif lain untuk mengembangkan karbon aktif sebagai bahan adsorben murah (Guimaraes *et al.*, 2022). Penekanan pada bahan berbasis biomassa lignoselulosa dari limbah sektor pertanian ataupun industri, salah satunya biochar. Biochar merupakan padatan kaya karbon berasal dari biomassa (bahan organik dari tanaman). Biomassa tentunya mudah didapat untuk produksi biochar melalui proses pirolisis dengan oksigen terbatas. Biochar merupakan bahan dengan karakteristik adsorben karena afinitasnya yang kuat terhadap pewarna (Jin *et al.*, 2021).

Sagu (*Metroxylon sagu*) adalah tanaman asli Indonesia dengan penyebaran tidak merata dan dapat tumbuh pada lahan basah (bukan rawa dalam) atau tumbuh pada pinggiran lebak (Vita, 2017). Daerah yang memiliki sebaran tinggi tanaman sagu yaitu Papua, Papua Barat, Maluku, Kalimantan, Sulawesi, Sumatera, Jawa, dan Kepulauan Mentawai (Ehara *et al.*, 2018). Daerah-daerah tersebut memanfaatkan sagu sebagai sumber pangan dengan diolah menjadi tepung dan salah satu limbah dari proses pengolahan ini yaitu kulit batang sagu. Khususnya di Provinsi Kalimantan Selatan yang mana wilayah ini banyak terdapat lahan basah yang memungkinkan sagu tumbuh dengan baik. Areal sagu di Kalimantan Selatan mencapai 7.857 hektare dengan produksi 4.511 menurut data pada tahun 2017 (Wahyuningtyas, 2019). Kulit batang sagu memiliki lignoselulosa dengan kandungan selulosa 44,0%, hemiselulosa 22,8%, serta lignin 29,4% (Siruru *et al.*, 2019). Hal ini menyebabkan kulit batang sagu berpotensi sebagai bahan baku biochar sehingga dilakukan pendekatan proses pirolisis untuk membuat biochar dari kulit sagu sebagai adsorben. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan dan pola adsorpsi metilen biru pada biochar hasil pirolisis limbah kulit kayu sagu.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Balai Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri, Workshop

ForestChem dan Laboratorium Kimia Instrumentasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru.

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu limbah kulit sagu, kertas saring, akuades, zat warna metilen biru, kertas pH, NaOH dan HCl. Alat yang digunakan yaitu neraca analitik Fujitsu FSR-A, Spektrofotometer UV-Vis, saringan ukuran 40-60 mesh, set alat pirolisis, alat-alat gelas (Erlenmeyer 50 mL, 250 mL, gelas ukur 5 mL, 10 mL, dan 100 mL, labu ukur 20 mL, 100 mL, 250 mL, dan 500 mL), corong kaya, batang pengaduk, sudip, pipet tetes, pipet volume, dan kertas pH universal.

Prosedur Penelitian

Persiapan awal yaitu mengeringkan potongan-potongan kecil limbah kulit sagu di bawah sinar matahari langsung. Kulit sagu yang sudah kering masing-masing ditimbang dengan berat 400 gram untuk dilakukan proses pengarangan secara bergantian dalam reaktor pirolisis dengan temperatur 500°C, 600°C dan 700°C selama 2 jam. Sampel biochar kulit sagu dikeluarkan dari reaktor pirolisis untuk dihaluskan menjadi serbuk yang kemudian disaring hingga berukuran 40-60 mesh.

Parameter uji pertama adalah pengaruh perbedaan pH (3, 5, 7, 9 dan 11) disesuaikan dengan 1 M larutan HCl serta NaOH. Biochar pada tiap variasi ditimbang 0,02 gram sebanyak 4 sampel kemudian dimasukkan ke dalam 20 mL larutan metilen biru dengan konsentrasi 10 ppm. Erlenmeyer kemudian ditutup dengan aluminium foil lalu diaduk menggunakan shaker pada kecepatan putaran 100 rpm selama 60 menit. Larutan metilen biru disaring dan diukur absorbansinya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 661 nm. Setiap proses dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan. Hasil data serapan dan konsentrasi metilen biru dikonversikan ke dalam bentuk kapasitas adsorpsi kesetimbangan dan persen penyerapan (Kuntari & Febi, 2018).

Parameter kedua adalah waktu kontak (10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit). Biochar pada tiap variasi ditimbang 0,02 gram kemudian dimasukkan ke dalam 20 mL larutan metilen biru dengan konsentrasi 10 ppm. Erlenmeyer kemudian ditutup dengan aluminium foil lalu diaduk menggunakan shaker pada kecepatan putaran 100 rpm. Larutan metilen biru disaring dan diukur absorbansinya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 661 nm. Setiap proses dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan.

Parameter ketiga adalah perbedaan konsentrasi awal larutan metilen biru yang digunakan (10, 20, 30, 40, dan 50 ppm) dengan pH 9. Tiap seri larutan diambil sebanyak 20 mL untuk dipindahkan ke dalam erlenmeyer baru dan ditambahkan 0,02 gram biochar setiap variasi. Erlenmeyer kemudian ditutup dengan aluminium foil lalu diaduk menggunakan shaker pada kecepatan putaran 100 rpm selama 60 menit. Larutan metilen biru disaring dan diukur absorbansinya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 661 nm. Setiap proses dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan (Zhu et al., 2017).

Isoterm Langmuir mengasumsikan tidak ada interaksi antar molekul adsorbat, proses penyerapan membentuk suatu monolayer dan terjadi pada situs spesifik yang seragam di seluruh permukaan adsorben (Alam et al., 2021). Persamaan Langmuir dihitung melalui (Langmuir, 1916):

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{k_L q_m C_e} \quad (1)$$

Isoterm Freundlich untuk sistem adsorpsi di permukaan adsorben terdistribusi tidak merata pada adsorpsi multilayer dengan permukaan beragam. Nilai slope dari kurva menunjukkan tingkat heterogenitas permukaan adsorben yang mana semakin mendekati nol lebih heterogen (Aktar, 2021).

$$\ln Q_e = \ln KF + \left(\frac{1}{n}\right) C_e \quad (2)$$

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengaruh Perbedaan pH

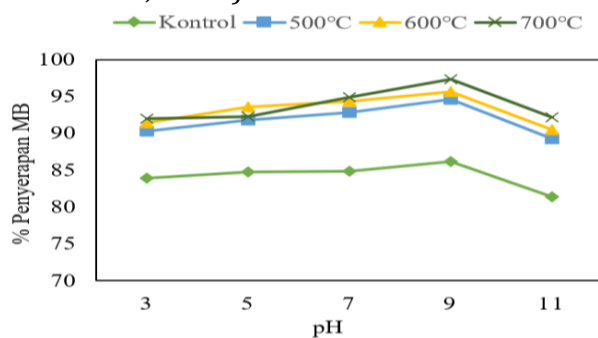
Metode pirolisis ini dilakukan untuk menghasilkan biochar sebagai adsorben alternatif yang kemudian digunakan untuk uji adsorpsi terhadap metilen biru dengan menentukan kapasitas adsorpsi dan persen penyerapan metilen biru melalui persamaan berikut:

$$\% \text{ Penyerapan metilen biru} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (3)$$

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (4)$$

dimana C_0 dan C_t sebagai konsentrasi awal dan konsentrasi akhir/kesetimbangan (mg/L), Q_e sebagai kapasitas adsorpsi (mg/g), V sebagai volume metilen biru (L) dan m merupakan massa adsorben yang digunakan (g).

Pengaruh perbedaan pH terhadap kemampuan adsorpsi biochar pada senyawa metilen biru ditunjukkan pada Gambar 1. Biochar pada rentang pH 3-9 menunjukkan persentase penyerapan metilen biru terus meningkat, namun terjadi penurunan persentase penyerapan metilen biru pada pH 11. Sampel kulit sagu tanpa perlakuan pirolisis menunjukkan nilai persentase penyerapan metilen biru pada pH 9 sebesar 86,2%. Biochar dengan suhu 500-700°C menunjukkan nilai persentase penyerapan metilen biru yang lebih tinggi pada pH 9 yaitu sebesar 94,6%, 95,7% dan 97,3%. Hal tersebut karena pada kondisi basa akan mendorong adanya daya tarik elektrostatik antara pewarna dikationik yang bermuatan positif (metilen biru) dan permukaan biochar yang bermuatan negatif (Gulec et al., 2022).

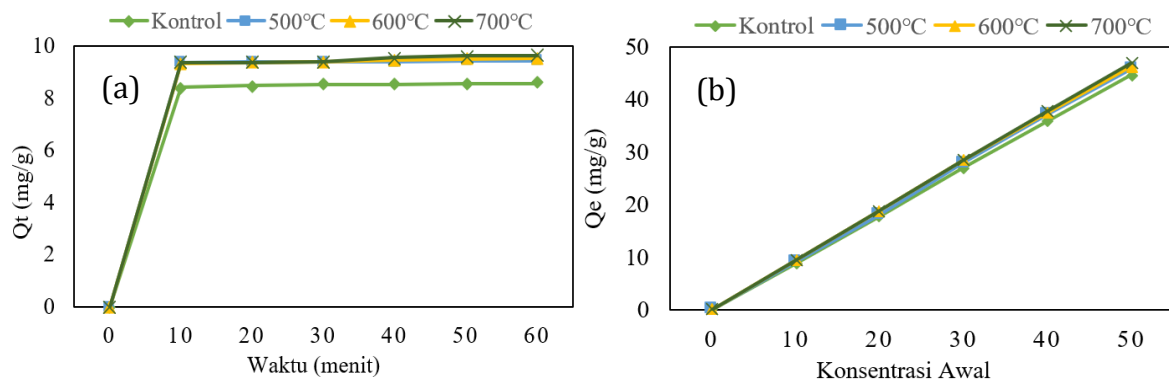


Gambar 1. Pengaruh pH terhadap persentase penyerapan metilen biru

2. Pengaruh Perbedaan Waktu Kontak dan Konsentrasi Awal

Waktu kontak dinyatakan dengan perubahan konsentrasi pada setiap waktu yang ditentukan. Pengujian waktu kontak optimum digunakan nilai pH 9 yang telah ditetapkan pada pengujian sebelumnya dengan variasi waktu kontak 10 sampai 60 menit. Hasil penelitian ini menunjukkan saat waktu 10 menit biochar dapat menyerap metilen biru secara optimum sebesar 8,42; 9,35; 9,33 dan 9,37 mg/g. Penyerapan maksimum oleh biochar terjadi pada waktu 60 menit dengan kapasitas serapan sebesar 8,57; 9,43; 9,53 dan 9,64 mg/g seperti pada Gambar 3 (a). Semakin lama waktu kontak maka penyerapan juga akan meningkat sampai waktu tertentu akan mencapai maksimum dan setelah itu akan turun kembali (Mustaqiman *et al.*, 2021). Peningkatan penyerapan pada waktu awal dikarenakan konsentrasi pewarna masih tinggi mengakibatkan adanya peningkatan interaksi antara molekul adsorbat (metilen biru) dalam larutan dengan situs permukaan biochar yang bertindak sebagai adsorben (Chopra & Singh, 2020).

Pengaruh perbedaan konsentrasi awal larutan metilen biru yang digunakan dalam penelitian ini divariasikan sebesar, 10, 20, 30, 40, dan 50 ppm. Gambar 2 (b) memperlihatkan kapasitas adsorpsi metilen biru dari adsorben semakin meningkat dengan meningkatnya konsentrasi awal larutan metilen biru. Peningkatan kapasitas adsorpsi metilen biru oleh adsorben kemungkinan karena semakin tingginya konsentrasi maka jumlah metilen biru dalam larutan juga semakin banyak. Apabila konsentrasi metilen biru dinaikan maka akan terjadi peningkatan jumlah metilen biru yang terikat pada biochar, mengakibatkan semakin banyak molekul yang bertumbukan dan berinteraksi dengan adsorben sehingga meningkatkan nilai kapasitas adsorpsi (Wijayanti & Kurniawati, 2019).

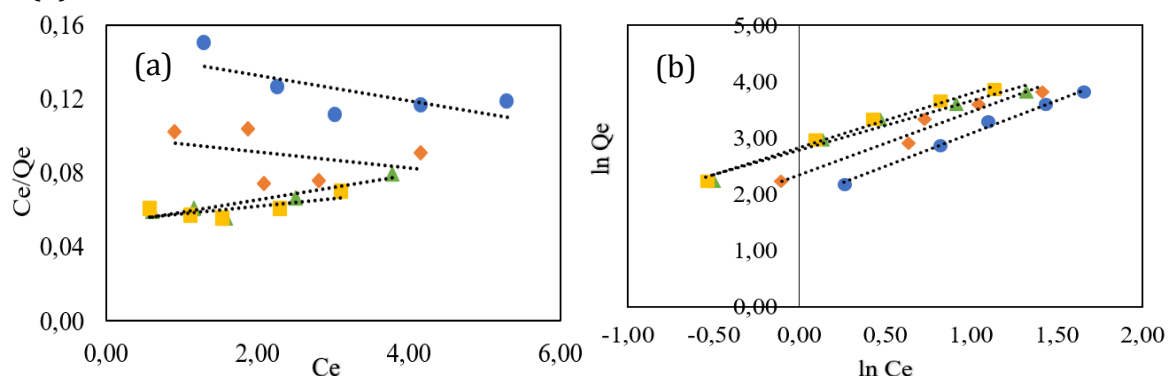


Gambar 2. Pengaruh perbedaan (a) waktu kontak (b) konsentrasi awal

3. Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi digunakan untuk mendeskripsikan interaksi adsorben-adsorbat serta cara pola distribusi molekul adsorbat antara fase padat dan cair setelah mencapai keadaan kesetimbangan (Quedrhiri *et al.*, 2022). Isoterm adsorpsi yang dipelajari dalam adsorpsi metilen biru pada penelitian ini yaitu model isoterm Langmuir dan Freundlich. Pengujian model isoterm ini dilakukan untuk menentukan model kesetimbangan adsorpsi yang sesuai dengan hasil eksperimental. Persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich diubah menjadi kurva kesetimbangan linear untuk menentukan model kesetimbangan yang dapat dilihat dari nilai koefisien determinan (R^2) mendekati nilai 1.

Grafik isoterm Langmuir dan Freundlich yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 3 (a) dan (b).



Gambar 3. Grafik isoterm (a) Langmuir (b) Freundlich pada biochar (●) Kontrol, (◆) 500°C, (▲) 600°C, dan (■) 700°C

Isoterm Langmuir menunjukkan proses bio-sorpsi terjadi secara monolayer dan bersifat homogen pada permukaan adsorben dengan situs spesifik yang meningkat (Mousavi *et al.*, 2018). Grafik isoterm Langmuir merupakan hubungan antara nilai C_e dengan C_e/Q_e , di mana C_e merupakan konsentrasi akhir yang diperoleh sedangkan C_e/Q_e adalah konsentrasi akhir dibagi dengan banyaknya zat yang teradsorp. Isoterm Freundlich diterapkan untuk adsorpsi tidak ideal pada permukaan heterogen karena ada lebih dari satu lapisan permukaan, sehingga menyebabkan terjadinya perubahan energi ikatan pada tiap-tiap sisi. Grafik isoterm Freundlich merupakan hubungan antara $\ln C_e$ dengan $\ln Q_e$.

Berdasarkan Gambar 3 (a) dan (b) diperoleh perbandingan nilai-nilai R^2 untuk mengetahui isoterm yang lebih cocok mewakili proses adsorpsi pada biochar. Perbandingan nilai koefisien determinan (R^2) pada Tabel 1 menunjukkan model isoterm Freundlich memiliki nilai R^2 lebih besar atau mendekati nilai 1 daripada model isoterm Langmuir. Oleh karena itu, adsorpsi metilen biru pada permukaan biochar dalam penelitian ini lebih cocok mengikuti model isoterm Freundlich sehingga dapat diasumsikan bahwa adsorpsi yang terjadi adsorpsi non-ideal, *multilayer*, dan reversibel pada permukaan heterogen (Sahoo & Prelot, 2020).

Tabel 1. Perbandingan nilai isoterm Langmuir dan Freundlich

Biochar	R^2 Langmuir	R^2 Freundlich	Q_e (mg/g)	K_F (L/g)	$1/n$
Kontrol	0,483	0,990	44,70	6,719	0,853
500°C	0,126	0,952	45,86	10,392	0,894
600°C	0,792	0,967	46,22	16,151	1,032
700°C	0,447	0,989	46,90	16,895	1,138

Isoterm Freundlich nilai K_F dan $1/n$ menunjukkan keseimbangan antara adsorben dan adsorbat. Apabila nilai yang diperoleh bermuatan positif, mengindikasikan kesetimbangan itu ada dan terjadi. Namun jika nilai tersebut negatif, maka tidak terjadi kesetimbangan antara adsorben dengan adsorbat. Nilai K_F yang diperoleh pada penelitian ini adalah 6,719; 10,392; 16,151 dan 16,895 L/g. Nilai K_f pada penelitian ini terus meningkat seiring bertambahnya suhu perlakuan selama proses pirolisis

mengindikasikan semakin besar kemampuan biochar dalam mengadsorpsi zat warna metilen biru. Semakin besar nilai K_F maka semakin besar kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi (Tahad & Sanjaya, 2017). Kapasitas adsorpsi pada waktu 60 menit menggunakan konsentrasi awal 50 mg/L pada masing-masing sampel yaitu 44,70; 45,86; 46,22 dan 46,90 mg/g. Penelitian oleh Khuluk *et al.* (2019) menyatakan bahwa nilai kapasitas adsorpsi maksimum tidak bisa ditentukan karena nilai grafik isoterm yang diperoleh lebih baik dengan isoterm Freundlich. Nilai $1/n$ juga terjadi peningkatan seiring meningkatnya suhu perlakuan selama pirolisis sehingga dapat dikatakan bahwa faktor heterogenitas juga terus menurun seiring bertambahnya suhu. Nilai $1/n$ pada isoterm Freundlich merupakan faktor heterogenitas dan intensitas adsorpsi, semakin kecil $1/n$ akan semakin besar heterogenitas yang didapat (Zhu *et al.*, 2018).

D. SIMPULAN DAN SARAN

Proses pirolisis limbah kulit sagu menghasilkan biochar dan mengubah karakteristik dan kemampuan adsorpsi terhadap metilen biru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi metilen biru pada biochar dari kulit sagu mengikuti model isoterm Freundlich dengan kecenderungan terjadinya interaksi *multilayer* pada permukaan biochar. Kapasitas adsorpsi biochar terhadap metilen biru meningkat seiring dengan peningkatan suhu pirolisis yaitu sebesar 45,86; 46,22 dan 46,90 mg/g untuk suhu pirolisis 500°C, 600°C dan 700°C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan, dana, dan tempat penelitian kepada *Workshop Forestchem*, Balai Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri, serta Laboratorium Kimia Instrumentasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru.

REFERENSI

- Aktar, J. (2021). Batch Adsorption Process in Water Treatment. *Intelligent Environmental Data Monitoring for Pollution Management*, 1-24.
- Alam, S., Khan, M. S., Bibi, W., Zekker, I., Burlakovs, J., Ghangrekar, M. M., Bhowmick, G. D., Kallistova, A., Pimenov, N., & Zahoor, M. (2021). Preparation of Activated Carbon From the Wood of *Paulownia tomentosa* as an Efficient Adsorbent For the Removal of Acid Red 4 and Methylene Blue Present in Wastewater. *Water*, 1(13), 1452-1453.
- Chopra, I., & Singh, S. B. (2020). Kinetics and Equilibrium Study for Adsorptive Removal of Cationic Dye Using Agricultural Waste-raw and Modified Cob Husk. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1-22.
- Ehara, H., Toyoda, Y., Johnson, D. V., & Okazaki, M. (2018). *Sago Palm—Multiple Contributions to Food Security and Sustainable Livelihoods*. Singapore: Springer Nature.
- Guimaraes, T., Luciano, V. A., Silva, M. S. V., Teixeira, A. P. C., Costa, M. M., & Lopes, R. P. (2022). Biochar-iron composites: an efficient material for dyes removal. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 44(17), 3310-3322.
- Gulec, F., Williams, O., Kostas, E. T., Samson, A., Stevens, L. A., & Lester, E. (2022). *Fuel*, 330, 1-15.

- Jin, Y., Zhang, M., Jin, Z., Wang, G., Li, R., Zhang, X. U., Liu, X., Qu, J., & Wang, H. (2021). Characterization of biochars derived from various spent mushroom substrates and evaluation of their adsorption performance of Cu (II) ions from aqueous solution. *Environmental Research*, 196, 110-323.
- Khuluk, R. H., & Rahmat, A. (2019). *Indonesian Journal of Science & Technology Removal of Methylene Blue by Adsorption onto Activated Carbon From Coconut Shell (Cocos Nucifera L.)*, 4(2), 229-240.
- Kuntari & Febi, I. F. (2018). Utilization of bamboo leaves Wastes for methylene blue dye adsorption. *AIP Conference Proceedings*, 2026(020062), 1-8.
- Mousavi, S. M., Hashemi, S. A., Esmaeili, H., Amani, A. M., & Mojoudi, F. (2018). Synthesis of Fe₃O₄ nanoparticles modified by oak shell for treatment of wastewater containing Ni(II). *Acta Chimica Slovenica*, 65: 750-756.
- Mustaqiman, A. N., Wirosodarmo, R., Suharto, B., Ilham, A., & Suwito, H. (2021). Pengaruh biochar sekam padi dan tongkol jagung terhadap penurunan logam Fe. *Jurnal Envirotek*, 13(2), 1-9.
- Pan, Y., Wang, Y., Zhou, A., Wang, A., Wu, Z., Lv, L., Li, X., Zhang, K., & Zhu, T. (2017). Removal of azo dye in an up-flow membraneless bioelectrochemical system integrated with bio-contact oxidation reactor. *Chemical Engineering Journal*, 326(5), 454-461.
- Quedhrhiri, A., Himi, M. A., Youbi, B., Lghazi, Y., Bahar, J., Haimer, C. E., Aynaou, A., & Bimaghra, I. (2022). Biochar material derived from natural waste with superior dye adsorption performance. *Materials*, 1-9.
- Sahoo, T. R., & Prelot, B. (2020). Adsorption processes for the removal of contaminants from wastewater: the perspective role of nanomaterials and nanotechnology. *Micro and Nano Technologies*, 161-222.
- Siruru, H., Syafii, W., Wistara, I. N. J., & Pari, G. (2019). Characteristics of *Metroxylon rumphii* (pith and bark waste) from Seram Island, Maluku, Indonesia. *Biodiversitas*, 20(12), 3517-3526.
- Sonwani, R. K., Swain, G., Giri, B. S., Singh, R. S. (2020). Biodegradation of Congo red dye in a moving bed biofilm reactor: performance evaluation and kinetic modeling. *Bioresource Technology*, 302(10), 122-811.
- Tahad, A., & Sanjaya, A. S. (2017). Isotherm Freundlich, kinetics model and definition rate adsorption of Fe with activated carbon from coffee waste. *Jurnal Chemurgy*, 1(2), 13-21.
- Wijayanti, I. E., & Kurniawati, E. (2019). Studi kinetika adsorpsi isotherm persamaan Langmuir dan Freundlich pada abu gosok sebagai adsorben. *Jurnal Kimia dan Pendidikan*, 4(2), 175-184.
- Zhu, G., Xing, X., Wang, J., & Zhang, X. (2017). Effect of acid and hydrothermal treatments on the dye adsorption properties of biomass-derived activated carbon. *Journal of Materials Science*, 52(13), 7664-7676.
- Zhue, Y., Yi, B., Yuan, Q., Wu, Y., Wang, M., & Yan, S. (2018). Removal of methylene blue from aqueous solution by cattle manure-derived low temperature biochar. *RSC Advances*, 8(36), 19917-19929.