

Alotrop

Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia

p-ISSN2252-8075 e-ISSN2615-2819

PENGARUH pH DAN WAKTU KONTAK TERHADAP ADSORPSI METILEN BIRU MENGGUNAKAN SERBUK GERGAJI KAYU JATI

Anselmus Boy Baunsele^{1*}, Aloisius Masan kopon¹, Erly Grizca Boelan¹, Maria A. U. Leba¹, Maximus M. Taek², Gerardus D. Tukan², Hildegardis Missa³, Rahayu⁴

¹Program Studi Pendidikan Kimia, FKIP, Universitas Katolik Widya Mandira, Kupang-NTT

²Proram Studi Kimia, FMIPA, Universitas Katolik Widya Mandira, Kupang-NTT

³Program Studi Pendidikan Biologi, FKIP, Universitas Katolik Widya Mandira, Kupang-NTT

⁴Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Pattimura, Ambon-Maluku

[*boybaunsele@gmail.com](mailto:boybaunsele@gmail.com)

ABSTRACT

Methylene blue is a dye used in the textile industry, especially in fabric dyeing, but it has a negative impact on the environment. Various methods have been taken to reduce or even eliminate these pollutants in the environment. This research aims to examine the ability of teak sawdust to act as an adsorbent for methylene blue dye. So far, teak wood sawdust as waste that has only been burned has not been used properly and can be used as an adsorbent for the adsorption of methylene blue. This research using the adsorption method uses an 80 mesh adsorbent. The results showed that adsorption of methylene blue occurred optimally at pH 6, with an adsorption percentage of 99.26% and an optimum contact time of 30 minutes for adsorption with an adsorption percentage of 99.4% and an adsorption capacity of 2.045 mg g⁻¹.

Keywords: Adsorption; Adsorbent; Methylene blue; pH; Contact time

ABSTRAK

Metilen biru merupakan zat warna yang digunakan dalam industri tekstil khususnya pewarnaan kain, namun memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Berbagai cara telah dilakukan untuk mengurangi bahkan menghilangkan polutan tersebut di lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan serbuk gergaji kayu jati sebagai adsorben zat warna metilen biru. Serbuk gergaji kayu jati selama ini sebagai limbah yang hanya dibakar dari belum dimanfaatkan secara baik dapat dijadikan adsorben untuk adsorpsi metilen biru. Penelitian menggunakan metode adsorpsi ini menggunakan adsorben berukuran 80 mesh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi metilen biru terjadi secara optimal pada pH 6 dengan persentase adsorpsi sebesar 99,26% dan waktu kontak optimum selama 30 menit adsorpsi dengan persentase adsorpsi sebesar 99,4% dan kapasitas adsorpsi 2,045 mg g⁻¹.

Kata kunci: Adsorpsi; Adsorben; Metilen biru; pH; Waktu kontak



PENDAHULUAN

Pertumbuhan aktivitas industri belakangan ini membawa berbagai dampak bagi lingkungan. Kerusakan lingkungan menjadi permasalahan yang tak bisa dipandang sebelah mata. Permasalahan lingkungan yang disebutkan ini merupakan konsekuensi dari perilaku pembuangan limbah yang secara terus menerus dilakukan oleh manusia. Hal yang seharusnya dilakukan oleh para pelaku usaha khususnya industri adalah mengolah limbah industri menjadi bahan yang lebih ramah sebelum dibuang ke alam, namun tidak banyak pelaku industri menjalankan protokol dimaksud. Pengolahan limbah harus menjadi aktivitas wajib bagi semua pelaku industri agar bisa menjaga ekosistem lingkungan. Limbah yang sering ditemui di alam dapat berupa logam berat maupun zat warna biasanya ditemukan sebagai bahan buangan dari aktivitas industri baik dalam skala besar maupun skala menengah [1]. Limbah logam berat memberikan pengaruh buruk bagi lingkungan disebabkan karena logam berat yang melalui mekanisme bioakumulasi dapat menyebabkan terjadinya berbagai penyakit misalnya kanker, kerusakan saraf maupun kematian [2]. Selain logam berat, salah satu limbah industri yang sering ditemui khususnya industri tekstil adalah zat warna.

Zat warna yang sering digunakan dalam industri bervariasi, misalnya metilen biru, metil oranye, dan rhodamin B. Zat warna dapat menyebabkan berbagai macam masalah di lingkungan misalnya zat warna dapat mencegah masuknya sinar matahari ke dalam badan air permukaan sehingga akan mengurangi aktivitas fotosintesis tumbuhan air serta dapat menyebabkan kematian pada biota air lainnya [3]. Zat

warna dapat menyebabkan kanker, beracun dan bersifat mutagenik karena memiliki sifat karsinogenik [4] serta menyebabkan gejala muntah, kerusakan saraf, peningkatan detak jantung dan sianosis [5]. Zat warna dapat membentuk senyawa kompleks sehingga akan sulit terdegradasi [6]. Contoh zat warna anionik kongo merah, jika terakumulasi dalam tubuh manusia, dapat menyebabkan gangguan pernafasan, kinerja hati, ginjal, sistem saraf, dan iritasi kulit [7]. Sedangkan contoh zat warna kationik yaitu metilen biru. Walaupun berperan sebagai pewarna kain namun efek negatif metilen biru yaitu menyebabkan iritasi kulit maupun kerusakan permanen pada mata [8]. Zat warna kationik ini juga memiliki efek terhadap kesehatan manusia jika terakumulasi misalnya mampu meningkatkan detak jantung, mual, sianosis dan mempengaruhi kinerja jaringan saraf [9]. Akibat berbagai permasalahan lingkungan ini, maka perlu dilakukan tindakan penanganan terhadap limbah metilen biru sebelum zat warna ini dilepaskan secara bebas ke alam.

Telah dilakukan berbagai cara penanganan terhadap limbah metilen biru. Metode yang telah dikembangkan diantaranya metode fotokatalitik [10], elektroflotasi [11], degradasi zat warna memanfaatkan bakteri [4], degradasi elektrokimia memanfaatkan elektroda karbon-PVC [12] dan adsorpsi menggunakan adsorben [13]. Adsorpsi dikatakan sebagai salah satu metode penanganan zat warna yang cukup mudah untuk diaplikasikan karena cukup efektif, biaya yang dikeluarkan relatif murah dan mudah untuk dikerjakan [14]. Banyak bahan alam berupa limbah di lingkungan sekitar bisa dimanfaatkan sebagai adsorben misalnya ampas tebu

[15], sabut kelapa [16], [17], sabut buah lontar [18] [19], limbah daun teh [20], daun cengkeh [21] dan kulit kacang tanah [22].

Salah satu bahan alam yang dapat dimanfaatkan untuk adsorpsi metilen biru adalah serbuk gergaji kayu jati. Hal ini karena limbah ini banyak ditemukan di Kota Kupang khususnya di meubel-meubel yang tidak dimanfaatkan tetapi hanya dibakar saja tanpa diperlakukan tertentu. Tumbuhan jati telah dimanfaatkan untuk keperluan adsorpsi metilen biru misalnya daun sebagai adsorben [23], dan batangnya yang dijadikan karbon aktif [24] [25]. Pada bidang kesehatan, ekstrak daun jati dijadikan sebagai obat anti bakteri dan anti kanker [26], selain itu kayu jati dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan karbon [27]. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan adsorpsi metilen biru (MB) oleh limbah serbuk gergaji kayu jati (SGKJ) yang dipengaruhi oleh variasi pH larutan dan waktu adsorpsi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan dilakukan melalui beberapa tahapan diantaranya preparasi alat dan bahan yang akan digunakan, preparasi biosorben SGKJ, proses adsorpsi, penentuan kinetika reaksi dan isothermal adsorpsi, dan karakterisasi biosorben SGKJ.

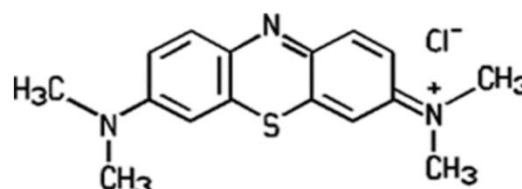
Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pendidikan Kimia Universitas Katolik Widya Mandira terhitung mulai tanggal 25 November 2023 hingga 10 Desember 2023.

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk gergaji kayu

jati, Natrium Hidroksida (NaOH), Asam Klorida (HCl), akuades dan metilen biru dari Merck. Adsorbat pada penelitian ini adalah metilen biru ($C_{16}H_{18}N_3SCl$) dengan massa molekul relatif 319,85g/mol. Struktur molekul tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur molekul metilen biru

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Spektrofotometer Infra Merah (*Thermo Scientific Nicolet iS10*), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Merk JSM-6510LA. Peralatan laboratorium, pH meter (*Mettler Toledo dan PH-009 (I) A*), Indikator Universal, Ayakan 100 mesh, Neraca analitik (metter AE 200 dan Acis AD 300H) dan Oven.

Preparasi Biosorben

Serbuk gergaji kayu jati diambil dari bengkel meubel kemudian dibersihkan dari pengotor, selanjutnya dihaluskan menggunakan lumpang atau mortar. Serbuk yang dihasilkan selanjutnya diayak menggunakan ayakan berukuran 80 Mesh. Ukuran ini sesuai dengan penelian awal yang pernah dilakukan menggunakan sabut kelapa [28]. Serbuk halus yang telah diayak selanjutnya dicuci dengan akuades hingga bersih dan dikeringkan pada suhu kamar. Serbuk gergaji kayu jati yang telah bersih tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk adsorpsi metilen biru.

Karakterisasi Biosorben

Karakterisasi terhadap biosorben dilakukan melalui beberapa cara diantaranya penentuan pH *zero point charge* (pH_{zpc}). pH_{zpc} dilakukan dengan cara menyiapkan sebanyak delapan wadah berisi masing-masing 20 mL larutan NaCl 0,1 M. Wadah berisi larutan NaCl kemudian diatur pH larutan dari 3 sampai 10 menggunakan NaOH dan HCl. Sebanyak masing-masing 0,1g SGKJ dimasukkan ke dalam tiap wadah, dan dilakukan pengadukan selama 30 menit dan didiamkan selama 24 jam. Setelah 24 jam maka pH larutan akhir dari tiap wadah diukur. Nilai pH_{zpc} diperoleh dengan membuat kurva antara pH awal (pH_i) dan selisih pH awal-pH akhir (ΔpH). Nilai pH_{zpc} adalah nilai dimana $pH_i = \Delta pH$ [29].

Cara lain melakukan karakterisasi biosorben SGKJ adalah dengan melakukan analisis FTIR dan SEM. FTIR bertujuan untuk mengetahui kandungan gugus fungsional yang terdapat pada permukaan biosorben SGKJ [30], sedangkan analisis SEM untuk mengetahui morfologi dari permukaan biosorben [31].

Persiapan Larutan

Larutan stok MB 100 ppm dibuat dengan melarutkan 100 mg serbuk MB dengan aquades kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL dan dikocok hingga larutan menjadi homogen. Larutan baku MB 100 ppm yang dihasilkan kemudian digunakan untuk keperluan adsorpsi. Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan dengan mengencerkan larutan MB baku menjadi MB 5 ppm. Larutan diukur serapan maksimumnya pada panjang gelombang 600-700 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Kurva kalibrasi diperoleh dengan cara mengencerkan larutan stok MB

menjadi larutan berkonsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm dan diukur serapannya menggunakan panjang gelombang maksimum yang telah diperoleh. Nilai data absorbansi yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan persamaan garis lurus.

Penentuan pH Adsorpsi Optimum

Sebanyak 8 wadah disiapkan dan dimasukkan masing-masing 20 mL MB 10 ppm. Setiap wadah diatur pHnya secara berurutan 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10. Kemudian ke dalam tiap wadah itu dimasukkan masing-masing 0,1 g biosorben dan dikocok selama 75 menit, merujuk pada penelitian sebelumnya [28]. Setelah 75 menit dilakukan filtrasi untuk mengambil filtratnya dan dianalisis menggunakan UV-Vis, untuk mengetahui jumlah MB teradsorpsi. Berdasarkan data hasil analisis maka akan diperoleh kondisi pH larutan MB dengan kapasitas adsorpsi yang terbesar.

Penentuan Waktu Kontak Optimum

Sebanyak 8 wadah disiapkan dan diisi masing-masing 20 mL larutan MB berkonsentrasi 10 ppm. Setiap wadah diatur nilai pH larutan sesuai pH optimum yang diperoleh. Ke dalam tiap wadah dimasukkan sebanyak 0,1 g biosorben dan dikocok dengan variasi waktu kontak berturut-turut 5, 10, 20, 30, 45, 60, 75, dan 90 menit. Filtrat dari tiap wadah diukur menggunakan UV-Vis untuk memperoleh kapasitas adsorpsi pada variasi waktu kontak. Besaran nilai MB yang terserap pada biosorben dapat ditentukan menggunakan Persamaan 1 [13] untuk mengukur persentase MB terserap dan Persamaan 2 [32] untuk mengukur kapasitas adsorpsi.

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

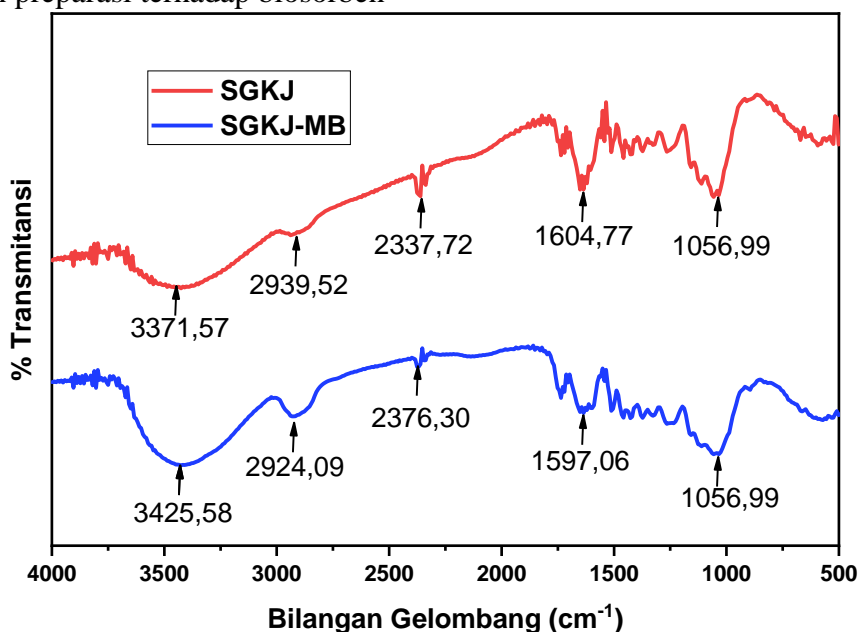
$$q = \frac{(C_0 - C_t)v}{m} \quad (2)$$

dengan C_0 adalah konsentrasi awal sebelum adsorpsi dan C_e adalah konsentrasi setelah adsorpsi. C_t merupakan konsentrasi pada saat tertentu, sedangkan v dan m adalah volume MB dan m adalah massa SGKJ. Selain itu, q adalah kapasitas adsorpsi adsorbat oleh adsorben (mg g^{-1}).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini diawali dengan melakukan preparasi terhadap biosorben

SGKJ. Data penelitian yang pernah dilakukan menunjukkan bahwa batang jati memiliki kandungan selulosa sebesar 39,99%, hemiselulosa sebesar 29,66% dan lignin sebanyak 30,35% [33]. Kandungan ini menjadi dasar pemanfaatan SGKJ untuk dijadikan sebagai adsorben MB karena selulosa yang terkandung pada material organik seperti pada tumbuhan alang-alang dapat dijadikan sebagai adsorben MB [34].



Gambar 2. Spektra FTIR serbuk gergaji kayu jati (SGKJ) dan serbuk gergaji kayu jati setelah adsorpsi metilen biru (SGKJ-MB)

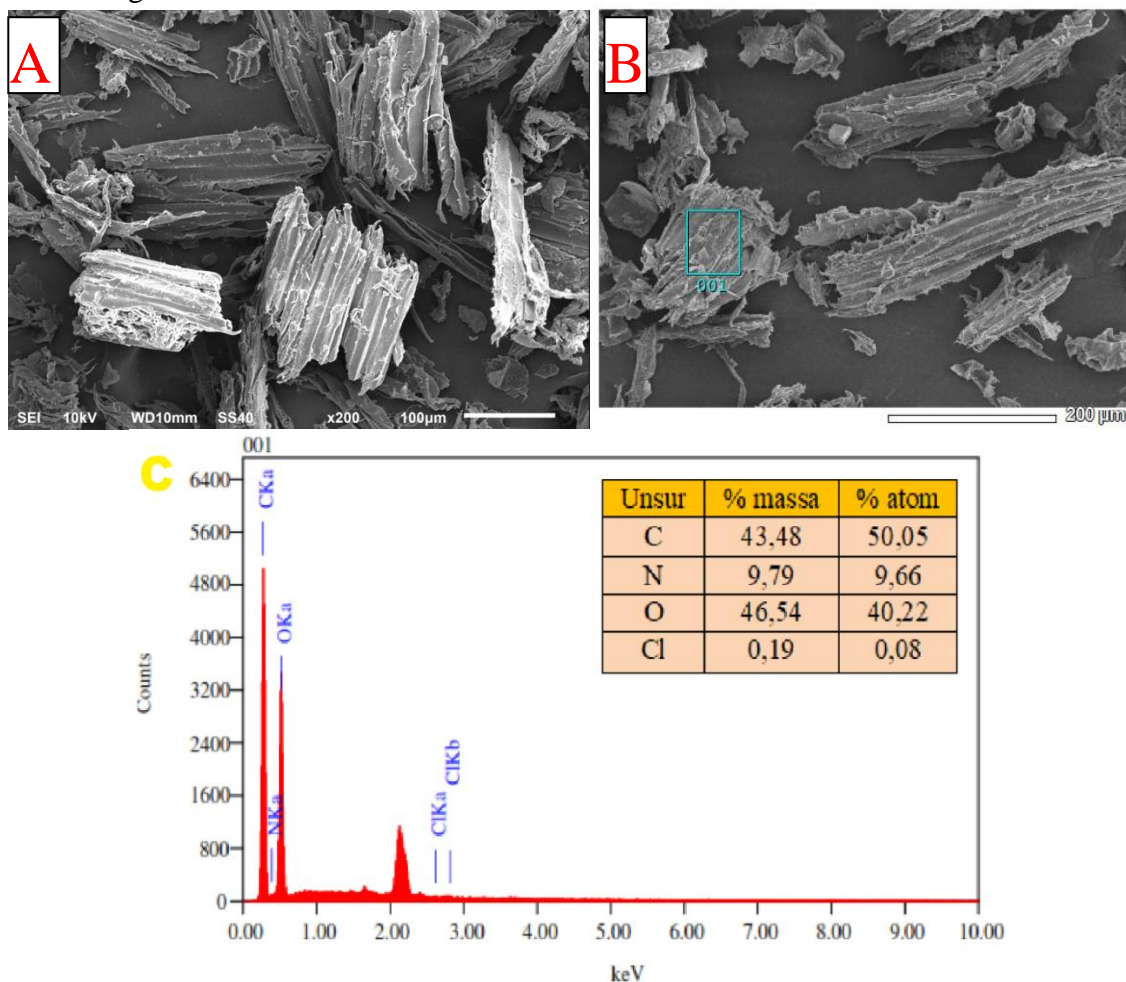
Karakterisasi Biosorben SGKJ

Setelah diperoleh SGKJ selanjutnya dilakukan karakterisasi menggunakan FTIR. Hasil analisis FTIR tersaji pada Gambar 2. Jika diperhatikan, puncak yang tampak pada bilangan gelombang $3425,58 \text{ cm}^{-1}$ (SGKJ) dan $3371,57 \text{ cm}^{-1}$ (SGKJ-MB) merupakan vibrasi yang disebabkan oleh kehadiran gugus -OH. Gugus OH ini bisa berasal dari senyawa alkohol maupun fenol. Vibrasi lain gugus aktif -OH terlihat pada bilangan gelombang $2376,30$ dan $2337,72 \text{ cm}^{-1}$. Terjadi perubahan intensitas vibrasi -OH sebelum dan sesudah mengadsorpsi

MB. Data ini dicurigai adanya pengurangan intensitas -OH karena setelah mengadsorpsi MB vibrasinya menjadi berkurang sehingga puncak yang muncul tidak tajam. Indikasi adanya gugus C-H dari senyawa alkana terlihat pada puncak yang muncul pada bilangan gelombang $2924,09$ dan $2939,52 \text{ cm}^{-1}$. Perubahan intensitas vibrasi dialami oleh -CH setelah mengadsorpsi MB. Gugus C=C aromatik mengalami vibrasi yang nampak pada bilangan gelombang $1597,06$ dan $1604,77 \text{ cm}^{-1}$. Vibrasi yang menyebabkan munculnya puncak pada

bilangan gelombang $1056,99\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya komponen gugus fungsi C-O yang berasal dari senyawa alkohol dan eter yang terdapat pada molekul selulosa. Data yang tersaji pada Gambar 2 menunjukkan adanya perubahan intensitas vibrasi dari setiap gugus fungsional yang dimiliki SGKJ sebelum dan sesudah adsorpsi MB. Hal ini dicurigai bahwa ketika MB sudah

terserap oleh SGKJ maka akan terjadi interaksi antara gugus aktif pada SGKJ dengan MB. Kondisi ini menyebabkan penurunan intensitas vibrasi tiap gugus aktif sehingga ada kecenderungan puncak yang muncul setelah proses adsorpsi menjadi kurang tajam jika dibanding kondisi sebelum adsorpsi terjadi.



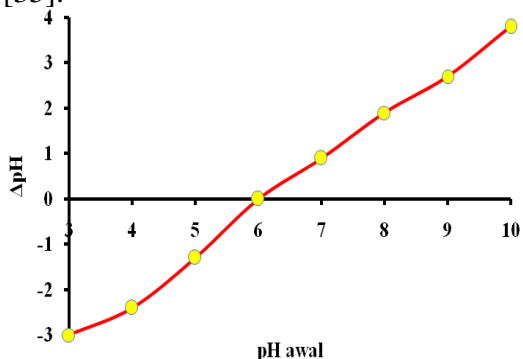
Gambar 3. Karakterisasi SEM SGKJ. (A) SGKJ, (B) SGKJ-MB, (C) Hasil Analisis SEM-EDX SGKJ-MB

Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 3 menjelaskan karakterisasi yang dilakukan menggunakan SEM-EDX. Untuk Gambar 3.A, diketahui bahwa permukaan SGKJ terdiri dari partikel-partikel berbentuk lonjong dengan ukuran yang mirip. Setelah

mengalami proses adsorpsi MB seperti yang terlihat pada Gambar 3.B, tidak tampak ada perubahan yang mencolok pada permukaan SGKJ-MB. Namun data yang ditunjukkan melalui analisis SEM-EDX pada Gambar 3.C menjelaskan bahwa metilen biru terserap

pada permukaan biosorben. Unsur hasil analisis SEM-EDX yang terdapat pada permukaan biosorben adalah C dengan persentase 43,48% yang diduga berasal dari selulosa dan MB, sedangkan N dengan komposisi 9,79% dan Cl sebanyak 0,19% merupakan unsur yang terdapat pada senyawa MB. Dugaan terhadap kehadiran unsur O dengan persentase cukup tinggi yaitu 46,54% menunjukkan keberadaan unsur O yang berasal dari SGKJ.

Jenis karakterisasi yang lain yaitu pH *zero point charge* (pH_{pzc}). Tujuan dilakukannya analisis ini adalah untuk mengetahui muatan yang ada pada permukaan biosorben. Berdasarkan data pada Gambar 4, diperoleh data bahwa pH dimana permukaan SGKJ bermuatan nol atau tidak bermuatan adalah pada pH 6. Berdasarkan data pada Gambar 4, dapat disampaikan bahwa pada $pH < pH_{pzc}$ akan cenderung menyerap atau berinteraksi dengan anion karena pada kondisi tersebut permukaan SGKJ bermuatan positif [30], sedangkan pada kondisi $pH > pH_{pzc}$, permukaan SGKJ bermuatan negatif sehingga akan cenderung berinteraksi dengan kation [35].

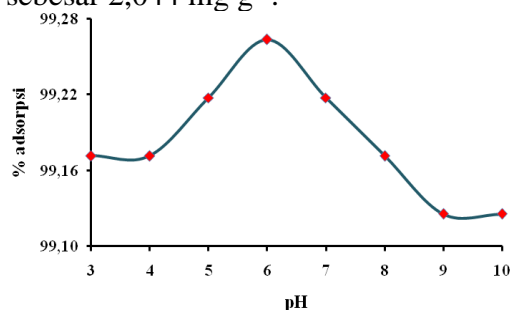


Gambar 4. Plot pH_{pzc} SGKJ

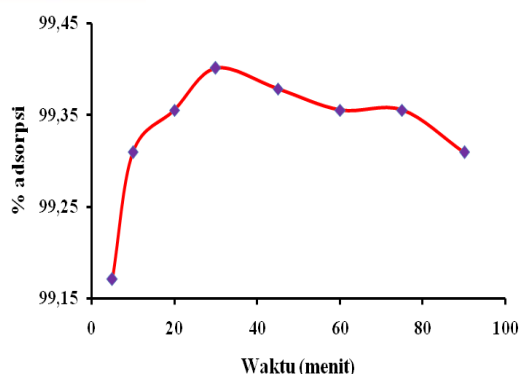
Studi adsorpsi metilen biru

Variabel yang dipelajari dalam adsorpsi MB oleh SGKJ ini adalah pengaruh pH dan waktu kontak. Untuk pengaruh pH, berdasarkan data pada

Gambar 5 diperoleh data bahwa proses adsorpsi secara maksimal terjadi pada pH 6. Hal ini karena berdasarkan data Gambar 4, pada kondisi pH 6 permukaan SGKJ tidak bermuatan sehingga ketika dilakukan adsorpsi maka akan terjadi interaksi yang mungkin terjadi antara situs aktif pada adsorben dan situs aktif pada adsorbat. Pada pH larutan dibawah 6, larutan metilen biru akan dipenuhi oleh kation H^+ sehingga gugus aktif yang bersifat elektronegatif pada SGKJ sulit untuk berinteraksi dengan MB. Alasannya karena akan terjadi persaingan antara ion H^+ dan kation MB sehingga tidak teradsorpsi pada SGKJ [36]. Sedangkan pada kondisi pH larutan MB lebih besar dari 6, terjadi penurunan kapasitas adsorpsi dikarenakan pada kondisi tersebut MB akan cenderung membentuk dimer sehingga ukurannya semakin besar dan akan sulit teradsorpsi pada SGKJ [36]. Pada pH 6, permukaan biosorben tidak terdapat muatan sehingga kation MB akan bebas berinteraksi dengan gugus aktif biosorben sehingga akan banyak MB yang terserap [19]. Hal ini yang menyebabkan pH 6 menjadi pH optimum dengan kapasitas adsorpsi MB sebesar $2,044 \text{ mg g}^{-1}$.



Gambar 5. Kurva variasi pH larutan MB



Gambar 6. Kurva variasi waktu kontak adsorpsi

Studi adsorpsi dengan variasi waktu dilakukan dengan beberapa waktu mengujian. Data yang disajikan pada Gambar 6 menunjukkan bahwa pada saat proses adsorpsi terjadi, akan terjadi kenaikan persentase adsorpsi dari 5 hingga 30 menit. Hal ini diduga karena pada kondisi waktu tersebut, masih banyak situs aktif pada SGKJ yang tersedia sehingga akan terjadi adsorpsi secara meningkat. Setelah 30 menit terlihat terjadi penurunan kapasitas adsorpsi. Perilaku ini menunjukkan adanya kemungkinan desorpsi karena ikatan antara situs aktif biosorben dengan MB tidak terlalu kuat. Namun data pada Gambar 6 menunjukkan pada waktu adsorpsi 30 menit terlihat persentase adsorpsi sebesar 99,4% atau kapasitas adsorpsi MB sebesar 2,045 mg g⁻¹.

SIMPULAN

Pada proses adsorpsi zat warna metilen biru menggunakan serbuk gergaji kayu jati diperoleh kondisi optimum terjadi pada waktu kontak 30 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 2,045 mg g⁻¹ dan pada pH 6 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 2,044 mg g⁻¹.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada LPPM Universitas

Katolik Widya Mandira yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Nurlette, "The Effect of Contact Time and Optimum pH on The Adsorption of Methylene Blue Dye by Alginate-Chitosan Polyelectrolyte Complex Films," 2023.
- [2] J. M. Exley, T. N. Hunter, T. Pugh, and M. R. Tillotson, "Influence of flake size and electrolyte conditions on graphene oxide adsorption of ionic dyes," *Powder Technology*, vol. 421, p. 118387, May 2023, doi: 10.1016/j.powtec.2023.118387.
- [3] B. Lellis, C. Z. Fávoro-Polonio, J. A. Pamphile, and J. C. Polonio, "Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms," *Biotechnology Research and Innovation*, vol. 3, no. 2, pp. 275–290, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.biori.2019.09.001.
- [4] S. Afrin *et al.*, "The degradation of textile industry dyes using the effective bacterial consortium," *Heliyon*, vol. 7, no. 10, p. e08102, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08102.
- [5] R. Zein, J. Satrio Purnomo, P. Ramadhani, Safni, M. F. Alif, and C. N. Putri, "Enhancing sorption capacity of methylene blue dye using solid waste of lemongrass biosorbent by modification method," *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 16, no. 2, p. 104480, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.arabjc.2022.104480.
- [6] S. N. Handayani, I. Irmanto, and N. N. Indriyani, "Determination of

- The Adsorption Kinetics for Adsorption Methylene Blue Dye with C-4-Hydroxy-3-Methoxyphenylcalix[4]resorcinarene,” *Molekul*, vol. 18, no. 1, Art. no. 1, Mar. 2023, doi: 10.20884/1.jm.2023.18.1.6768.
- [7] J. Jumaeri, A. Nadiyya, A. T. Prasetya, and W. Sumarni, “Congo Red Dye Adsorption using Magnesium Hydroxide from Seawater Bittern,” *J. Kim. Sains Apl.*, vol. 25, no. 6, pp. 205–211, Jul. 2022, doi: 10.14710/jksa.25.6.205-211.
- [8] A. Hardian, R. Rosidah, S. Budiman, and D. G. Syarif, “Preparation of Composite Derived from Banana Peel Activated Carbon and MgFe₂O₄ as Magnetic Adsorbent for Methylene Blue Removal,” *J. Kim. Sains Apl.*, vol. 23, no. 12, pp. 440–448, Jan. 2021, doi: 10.14710/jksa.23.12.440-448.
- [9] P. Staroń, J. Chwastowski, and M. Banach, “Sorption behavior of methylene blue from aqueous solution by raphia fibers,” *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 16, no. 12, pp. 8449–8460, Dec. 2019, doi: 10.1007/s13762-019-02446-9.
- [10] M. Kumar S., S. N, and D. E, “Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Using Silver Nanoparticles Synthesized from *Gymnema Sylvestre* and Antimicrobial Assay,” *NRS*, vol. 2, no. 2, Sep. 2019, doi: 10.31031/NRS.2019.02.000532.
- [11] A. Talaiekhosani, M. Reza Mosayebi, M. A. Fulazzaky, Z. Eskandari, and R. Sanayee, “Combination of TiO₂ microreactor and electroflotation for organic pollutant removal from textile dyeing industry wastewater,” *Alexandria Engineering Journal*, vol. 59, no. 2, pp. 549–563, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.aej.2020.01.052.
- [12] Riyanto and M. Mawazi, “Electrochemical Degradation of Methylene Blue Using Carbon Composite Electrode (C-PVC) in Sodium Chloride,” *IOSR Journal of Applied Chemistry*, vol. 8, no. 11, pp. 31–40, 2015.
- [13] T. Azis, L. O. Ahmad, K. Awaliyah, and L. A. Kadir, “Study of Kinetics and Adsorption Isotherm of Methylene Blue Dye using Tannin Gel from *Ceriops tagal*,” *J. Kim. Sains Apl.*, vol. 23, no. 10, pp. 370–376, Oct. 2020, doi: 10.14710/jksa.23.10.370-376.
- [14] A. Al Ashik, Md. A. Rahman, D. Halder, and Md. M. Hossain, “Removal of methylene blue from aqueous solution by coconut coir dust as a low-cost adsorbent,” *Appl Water Sci*, vol. 13, no. 3, p. 81, Mar. 2023, doi: 10.1007/s13201-023-01887-5.
- [15] H. D. Utomo, R. Y. N. Phoon, Z. Shen, L. H. Ng, and Z. B. Lim, “Removal of Methylene Blue Using Chemically Modified Sugarcane Bagasse,” *Natural Resources*, vol. 6, no. 4, Art. no. 4, Mar. 2015, doi: 10.4236/nr.2015.64019.
- [16] A. B. Baunsele and H.- Missa, “Langmuir and Freundlich Equation Test on Methylene Blue Adsorption by Using Coconut Fiber Biosorbent,” *WJC*, vol. 4, no. 2, pp. 131–138, Dec. 2021, doi: 10.21580/wjc.v4i2.8941.
- [17] A. B. Baunsele, E. G. Boelan, A. M. Kopon, R. Rahayu, and D. Siswanta, “Kinetic Study of Blue Methylene Adsorption Using

- Coconut Husk Base Activated,” *Indo. J. Chem. Res.*, vol. 10, no. 2, pp. 110–116, Sep. 2022, doi: 10.30598/ijcr.2022.10-ans.
- [18] T. E. Banamtuan, A. B. Baunsele, and A. M. Kopon, “STUDI ADSORPSI METILEN BIRU MEMANFAATKAN SABUT BUAH LONTAR,” *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, vol. 8, no. 2, Art. no. 2, Jun. 2023.
- [19] Y. D. Ninu and A. B. Baunsele, “STUDI ADSORPSI METILEN BIRU MENGGUNAKAN BIOSORBEN SABUT BUAH SIWALAN TERAKTIVASI KALIUM HIDROKSIDA,” *SPIN*, vol. 5, no. 1, Art. no. 1, Jun. 2023, doi: 10.20414/spin.v5i1.6807.
- [20] N. Sylvia, R. Dewi, Z. Zulnazri, H. Setiawan, D. Humaira, and M. Reza, “Optimization of Methylene Blue Dye Adsorption in Fixed Bed Column Packed with Tea Waste via Response Surface Methodology,” *J. Kim. Sains Apl.*, vol. 26, no. 8, pp. 310–317, Nov. 2023, doi: 10.14710/jksa.26.8.310-317.
- [21] H. S. Kusuma *et al.*, “Biosorption of Methylene blue using clove leaves waste modified with sodium hydroxide,” *Results in Chemistry*, vol. 5, p. 100778, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.rechem.2023.100778.
- [22] J. Fang, B. Gao, A. Mosa, and L. Zhan, “Chemical activation of hickory and peanut hull hydrochars for removal of lead and methylene blue from aqueous solutions,” *Chemical Speciation & Bioavailability*, vol. 29, no. 1, pp. 197–204, Jan. 2017, doi: 10.1080/09542299.2017.1403294.
- [23] Y. Mishra, “ADSORPTION STUDIES OF BASIC DYES ONTO TEAK (TECTONA GRANDIS) LEAF POWDER,” *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 2015.
- [24] M. Firdaus Mohamad Yusop, A. Aziz, and M. Azmier Ahmad, “Conversion of teak wood waste into microwave-irradiated activated carbon for cationic methylene blue dye removal: Optimization and batch studies,” *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 15, no. 9, p. 104081, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.arabjc.2022.104081.
- [25] M. F. Mohamad Yusop, M. N. Nasehir Khan, R. Zakaria, A. Z. Abdullah, and M. A. Ahmad, “Mass transfer simulation on remazol brilliant blue R dye adsorption by optimized teak wood Based activated carbon,” *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 16, no. 6, p. 104780, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.arabjc.2023.104780.
- [26] H. M. Younis, H. A. Hussein, F. L. Khaphi, and Z. K. Saeed, “Green biosynthesis of silver and gold nanoparticles using Teak (*Tectona grandis*) leaf extract and its anticancer and antimicrobial activity,” *Heliyon*, vol. 9, no. 11, p. e21698, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e21698.
- [27] P. Chayaporn, N. Sasaki, M. Venkatappa, and I. Abe, “Assessment of the overall carbon storage in a teak plantation in Kanchanaburi province, Thailand – Implications for carbon-based incentives,” *Cleaner Environmental Systems*, vol. 2, p. 100023, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.cesys.2021.100023.
- [28] A. B. Baunsele and H. Missa, “Kajian Kinetika Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Adsorben Sabut Kelapa,” *Akta Kimia*



- Indonesia, vol. 5, no. 2, p. 76, Nov. 2020, doi: 10.12962/j25493736.v5i2.7791.
- [29] O. S. Bello, B. M. Lasisi, O. J. Adigun, and V. Ephraim, "Scavenging Rhodamine B dye using moringa oleifera seed pod," *Chemical Speciation & Bioavailability*, vol. 29, no. 1, pp. 120–134, Jan. 2017, doi: 10.1080/09542299.2017.1356694.
- [30] O. S. Bello, K. A. Adegoke, S. O. Fagbenro, and O. S. Lameed, "Functionalized coconut husks for rhodamine-B dye sequestration," *Appl Water Sci*, vol. 9, no. 8, p. 189, Nov. 2019, doi: 10.1007/s13201-019-1051-4.
- [31] P. Su *et al.*, "Hydroxylation of electrolytic manganese anode slime with EDTA-2Na and its adsorption of methylene blue," *Separation and Purification Technology*, vol. 278, p. 119526, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.seppur.2021.119526.
- [32] Y. A. B. Neolaka *et al.*, "The adsorption of Cr(VI) from water samples using graphene oxide-magnetic (GO-Fe₃O₄) synthesized from natural cellulose-based graphite (kusambi wood or *Schleichera oleosa*): Study of kinetics, isotherms and thermodynamics," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 6544–6556, May 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2020.04.040.
- [33] F. Maulida, K. B. Meiganati, and M. Maslahat, "KOMPONEN KIMIA KAYU TRUBUSAN JATI UNGGUL NUSANTARA (*Tectona grandis* Linn.f.) PADA BAGIAN PANGKAL, TENGAH DAN UJUNG," *Sains Natural*, vol. 10, no. 2, p. 55, Sep. 2020, doi: 10.31938/jsn.v10i2.277.
- [34] T. Huda and T. K. Yulitaningtyas, "Kajian Adsorpsi Methylene Blue Menggunakan Selulosa dari Alang-Alang," *Indonesian Journal of Chemical Analysis (IJCA)*, vol. 1, no. 1, pp. 09–19, 2018.
- [35] E. A. Al-Maliky, H. A. Gzar, and M. G. Al-Azawy, "Determination of Point of Zero Charge (PZC) of Concrete Particles Adsorbents," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 1184, no. 1, p. 012004, Sep. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1184/1/012004.
- [36] A. B. Baunsele, E. G. Boelan, A. M. Kopon, M. M. Taek, G. D. Tukan, and H. Missa, "Penggunaan Sabut Kelapa Teraktivasi NaOH sebagai Adsorben Metilen Biru: Utilization of Coconut Fiber NaOH-Activated as Blue Methylene Adsorbent," *Kovalen*, vol. 9, no. 1, pp. 43–54, Apr. 2023, doi: 10.22487/kovalen.2023.v9.i1.16274.