

KINETIKA ADSORPSI METILEN BIRU MEMANFAATKAN SERBUK GERGAJI KAYU JATI TERAKTIVASI ASAM SULFAT

Anselmus Boy Baunsele^{1*}, Erly G. Boelan¹, Aloisius M. Kopon¹, Maria A. U. Leba¹,
Hildegardis Missa², Rahayu³, Merpiseldin Nitsae⁴, Dwi Siswanta⁵

¹Program Studi Pendidikan Kimia, FKIP, Universitas Katolik Widya Mandira
Jl. San Juan, No. 1. Penfui, Kabupaten Kupang, Provinsi NTT, Indonesia, 85229.

²Program Studi Pendidikan Biologi, FKIP, Universitas Katolik Widya Mandira
Jl. San Juan, No. 1. Penfui, Kabupaten Kupang, Provinsi NTT, Indonesia, 85229.

³Program Studi Kimia, FMIPA, Universitas Pattimura
Jl. Ir. M. Putuhena, Poka, Ambon, Maluku, Indonesia, 97233.

⁴Program Studi Pendidikan Biologi, FKIP, Universitas Kristen Artha Wacana
Jl. T. J. T. Latuconsina No. 1, Kupang, Nusa Tenggara Timur, Indonesia. 85001

⁵Departemen Kimia, FMIPA, Universitas Gadjah Mada
Jl. Colombo No. 1, Sekip Utara, Yogyakarta, Indonesia, 55281.

*Email: boybaunsele@gmail.com

Abstrak

Peningkatan kapasitas industri memberikan dampak positif bagi masyarakat namun meninggalkan jejak kerusakan bagi lingkungan. Tujuan penelitian ini untuk membantu menangani limbah metilen biru yang sering menjadi bahan buangan dari aktivitas industri. Metilen biru menjadi salah satu masalah karena mencemari lingkungan. Berbagai penyakit misalnya kanker maupun perubahan genetik bisa terjadi karena bioakumulasi bahan ini. Penanganan masalah pencemaran lingkungan akibat metilen biru telah banyak dilakukan misalnya menggunakan metode adsorpsi, karena metode ini cukup sederhana dan mudah diterapkan. Berbagai bahan alam digunakan sebagai adsorben, salah satu contoh limbah yang bisa dijadikan sebagai adsorben yaitu serbuk gergaji kayu jati. Serbuk gergaji kayu jati pada penelitian ini diaktivasi menggunakan larutan asam sulfat. Selanjutnya dilakukan karakterisasi menggunakan FTIR, SEM-EDX dan pH_{zpc}. Setelah dikarakterisasi lalu dilakukan analisis adsorpsi metilen biru secara batch. Variabel penelitian yaitu variasi pH dan waktu kontak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi maksimal pada pH 6 dengan kapasitas adsorpsi 1,96 mg g⁻¹ (99,3%) dan waktu kontak maksimum yaitu 30 menit dengan nilai Q_e adalah 1,97 mg g⁻¹ (99,7%).

Kata kunci: Aktivasi, adsorpsi, kinetika, kayu jati.

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan kegiatan industri berdampak positif terhadap kesejahteraan manusia karena mampu menciptakan lapangan kerja yang dapat meningkatkan kualitas hidup manusia (Desore and Narula, 2018). Sebaliknya, kegiatan industri menghasilkan limbah yang berisiko merusak lingkungan. Sejatinya, limbah dari industri harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan, namun tidak banyak pelaku industri memperhatikan hal tersebut. Polutan dari limbah industri dapat berupa zat warna dan logam berat (Zhu et al., 2023). Logam berat memiliki dampak yang buruk bagi lingkungan, terutama manusia, karena bersifat karsinogenik dan susah terurai secara alami (Qasem et al., 2021). Jika terjadi bioakumulasi logam berat di dalam tubuh manusia, maka dapat menyebabkan berbagai penyakit, misalnya kerusakan jaringan saraf, kebutaan,

mempengaruhi kerja organ hati, gangguan mental, berbagai jenis kanker seperti kanker hati dan bahkan kematian (Andarista et al., 2023). Selain logam berat, zat warna merupakan polutan yang sering dihasilkan oleh industri tekstil, terutama pada tahap pewarnaan kain dan pemrosesan akhir serat tekstil (Doğan-Sağlamtimur et al., 2017).

Industri tekstil umumnya menggunakan berbagai macam zat warna, termasuk anilin biru, biru alsian, jingga metil, rhodamin B, biru metilen, kristal violet, biru toluidin, dan merah kongo (Oladoye et al., 2022). Pewarna dapat memicu berbagai masalah lingkungan, termasuk penurunan oksigen terlarut dalam sistem perairan dan meningkatkan nilai COD, mengurangi penetrasi sinar matahari ke lingkungan laut dan mengurangi aktivitas fotosintesis tanaman air (Lellis et al., 2019). Pewarna sintetik bersifat toksik dan karsinogenik; melalui bioakumulasi, pewarna

dapat menyebabkan kanker dan mutagenesis (Hassaan and Nemr, 2017) dan menyebabkan berbagai masalah kesehatan. Pewarna sintetik dapat membentuk senyawa kompleks ketika terakumulasi sehingga dapat meningkatkan ketahanan terhadap cahaya dan panas (Zhu et al., 2023), dan memiliki struktur kompleks sehingga sangat sulit terdegradasi (Teixeira et al., 2022). Salah satu zat warna yang sering digunakan dalam industri adalah metilen biru. Zat tersebut adalah pewarna yang dapat menyebabkan iritasi kulit dan kerusakan jaringan mata (Hardian et al., 2021). Berbagai efek metilen biru menjadi alasan untuk mengolah pewarna tersebut menjadi lebih aman bagi lingkungan. Banyak strategi telah dikembangkan untuk mengurangi dampak lingkungan dari limbah metilen biru. Metode yang telah dikembangkan meliputi metode fotokatalitik menggunakan katalis nanopartikel perak yang disintesis dari tumbuhan *Gymnema Sylvestre* (Kumar et al., 2019) dan nanopartikel $\text{CaO-MnFe}_2\text{O}_4$ dari daun jati (Rodiah and Ramadhani, 2023), biodegradasi pewarna menggunakan mikroorganisme jamur *Pleurotus ostreatus*, *Armillaria tabescens*, dan *Morchella conica* (Yildirim and Acay, 2020) degradasi elektrokimia menggunakan elektroda karbon-PVC (Riyanto and Mawazi, 2015) dan adsorpsi menggunakan adsorben yang merupakan metode yang mudah dan murah untuk diterapkan dalam penanganan zat warna metilen biru (Baunsele and Missa, 2020). Limbah pertanian dan rumah tangga telah banyak digunakan sebagai adsorben, misalnya daun serai (Zein et al., 2023), rumput laut (Nurlette, 2023), sabut kelapa (Baunsele et al., 2022, 2023, 2024b; Baunsele and Missa, 2021) serat buah siwalan (Banamtuan et al., 2023; Moniz et al., 2024; Ninu and Baunsele, 2023), ampas teh (Asiah et al., 2022), kulit buah jeruk (Rosanti et al., 2022), serat kulit papaya (Nipa et al., 2023), ampas tebu (Utomo et al., 2015), dan serbuk gergaji kayu jati tanpa modifikasi (Baunsele et al., 2024). Serbuk gergaji kayu jati merupakan bahan limbah pertanian yang dapat dijadikan sebagai adsorben untuk menghilangkan metilen biru. Limbah ini melimpah di Kota Kupang, terutama pada industri rumah tangga mebel. Tanaman jati telah banyak digunakan sebagai adsorben metilen biru dengan menggunakan serbuk gergaji kayu jati (Baunsele et al., 2024), dan daun jati (Mishra, 2015). Batangnya dijadikan sebagai karbon aktif untuk adsorben zat warna (Firdaus Mohamad Yusop et al.,

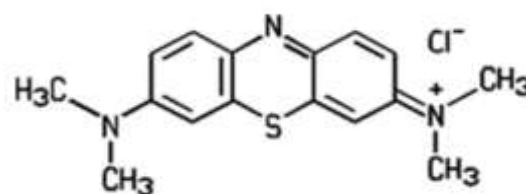
2022) maupun ion Pb(II) (Saputro et al., 2018). Dalam bidang kesehatan, ekstrak daun jati digunakan sebagai obat antibakteri dan antikanker (Younis et al., 2023a). Adsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi dapat berupa biosorben maupun biosorben teraktivasi. Tujuan suatu adsorben diaktivasi untuk menghilangkan pengotor pada permukaannya dan meningkatkan kapasitas adsorpsinya terhadap adsorbat. Pengotor yang dimaksud dapat berupa mineral logam yang tertempel pada suatu adsorben misalnya biomasa (Yulianti et al., 2018). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas adsorpsi metilen biru (MB) menggunakan limbah serbuk gergaji jati yang diaktivasi dengan asam sulfat. Kajian adsorpsi dalam penelitian ini meliputi penentuan model kinetika.

2. METODOLOGI

2.1. Alat dan bahan

Peralatan yang digunakan dalam riset ini yaitu peralatan laboratorium kaca, instrumen FTIR (*IRPrestige-21 SHIMADZU*), SEM (*brand JSM-6510LA*), pH meter (*Metler Toledo and PH-009 (I) A*), neraca analitik (*Meter AE 200 and Acis AD 300H*), pengaduk magnetik, oven, dan indikator universal.

Bahan yang digunakan yaitu serbuk gergaji kayu jati, larutan NaOH, larutan HCl, akuades, dan metilen biru (*merck*). Adsorbat yang digunakan dalam penelitian ini adalah metilen biru ($\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{SCl}$), dengan massa molekul $319,85 \text{ g mol}^{-1}$, dan struktur molekulnya disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur molekul metilen biru

2.2. Preparasi biosorben

Serbuk gergaji kayu jati dari mebel dicuci dengan air untuk menghilangkan kotoran, kemudian digiling dengan lumpang. Serbuk serbuk gergaji jati kemudian diayak dengan ayakan 80 Mesh. Serbuk yang diayak selanjutnya dibilas dengan akuades dan dikeringkan pada suhu 80°C selama empat jam. Bahan yang dikeringkan direndam dalam 1 liter larutan asam sulfat 0,5 M dan diaduk selama 2 jam (Tarmidzi et al., 2021), kemudian dibilas dengan akuades hingga pH netral. Aktivasi

asam dimaksudkan untuk menghilangkan kotoran dari adsorben dan dapat meningkatkan kapasitas adsorpsinya (Su et al., 2021). Serbuk gergaji jati yang diaktivasi dengan asam sulfat (SKJA) dapat digunakan sebagai adsorben untuk adsorpsi metilen biru.

2.3. Karakterisasi SKJA

Karakterisasi biosorben SKJA menggunakan analisis FTIR dan SEM. Karakterisasi dengan FTIR merupakan salah satu cara yang digunakan untuk menentukan berbagai kandungan gugus fungsional yang terdapat pada permukaan adsorben (Hikmawati and Haqiqi, 2019), sedangkan untuk mengetahui penampakan bentuk pada permukaan biosorben digunakan instrumen SEM (Pasang et al., 2018).

Penentuan pH *zero point charge* (pH_{zpc}) menjadi salah satu jenis karakterisasi SKJA. Analisis pH_{zpc} bertujuan untuk mengetahui sebaran muatan yang terdapat pada permukaan SKJA. Pekerjaan ini memberikan informasi tambahan terkait berbagai kondisi yang memungkinkan terjadinya adsorpsi pada permukaan adsorben. Pelaksanaan dilakukan dengan cara menyiapkan sebanyak delapan wadah berisi masing-masing 25 mL larutan NaCl 0,1 M dan diatur pH dengan rentang 3 sampai 10 menggunakan larutan natrium hidroksida dan asam klorida. Dalam wadah yang telah disiapkan tersebut ditambahkan masing-masing 0,1 g SKJA dan diaduk selama 30 menit kemudian didiamkan selama 24 jam. Setelah waktu tersebut, setiap wadah diukur pH larutannya. Penentuan nilai pH_{zpc} didapat dengan membuat kurva plot antara pH awal (pH_i) dan selisih pH awal-pH akhir (Δ pH). Nilai pH_{zpc} adalah nilai dimana pH_i = Δ pH (Al-Maliky et al., 2021).

2.4. Preparasi larutan

Sebanyak 100 mg serbuk metilen biru diambil dan dilarutkan pada labu takar berukuran 1 L dan ditambahkan air secara perlahan. Setelah larutan diaduk hingga homogen maka larutan tersebut menjadi larutan MB 100 ppm yang dijadikan sebagai larutan stok untuk digunakan pada proses analisis adsorpsi selanjutnya. Penentuan panjang gelombang pada penelitian ini menggunakan data pada penelitian sebelumnya yaitu pada panjang gelombang 665 nm (Baunsele and Missa, 2020). Selanjutnya dilakukan penentuan kurva kalibrasi yang diawali dengan

mengencerkan larutan stok menjadi larutan MB berkonsentrasi 2, 4, 6, 8 dan 10 ppm. Menggunakan lamda serapan maksimum yang telah diperoleh kemudian ditentukan absorbansi untuk tiap konsentrasi. Data absorbansi versus konsentrasi akan dibuatkan kurva persamaan garis lurus.

2.5. Pengaruh pH

Delapan wadah disiapkan dan diisi dengan larutan MB 10 ppm sebanyak 20 mL untuk setiap wadah. Selanjutnya tiap larutan diatur pH larutan dengan rentang 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10. Kedalam setiap wadah yang dimaksud kemudian dimasukkan sebanyak 0,1 g biosorben SKJA diaduk selama 75 menit. Setelah waktu yang ditentukan itu kemudian dilakukan penyaringan untuk memisahkan residunya. Filtrat dari tiap wadah dianalisis menggunakan spektroskopi UV-Vis untuk mengidentifikasi kapasitas adsorpsi tertinggi pada rentang pH larutan MB yang telah ditentukan tersebut.

2.6. Pengaruh variasi waktu

Penentuan pengaruh waktu kontak terhadap kemampuan adsorpsi ditentukan dengan menyiapkan 8 buah botol vial dan diisi masing-masing larutan MB 10 ppm sebanyak 20 mL. Larutan pada setiap wadah diatur tingkat keasamannya menggunakan larutan asam klorida dan natrium hidroksida, sesuai nilai pH optimum yang diperoleh pada tahapan sebelumnya. Setiap wadah berisi larutan kemudian ditambahkan sebanyak 0,1 g SKJA dan dikocok dengan variasi waktu selama 5, 10, 20, 30, 45, 60, 75, dan 90 menit. Setelah proses tersebut, residu dipisahkan dan dianalisis filtratnya untuk mengetahui nilai absorbansinya. Nilai absorbansi dianalisis menggunakan persamaan garis linear untuk menentukan konsentrasi filtrat. Jumlah MB yang teradsorpsi SKJA dapat dihitung menggunakan Persamaan 1 (Wirawan et al., 2023), sedangkan besaran persentase MB terserap dimaksudkan dapat dianalisis menggunakan Persamaan 2 (Etim et al., 2016).

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

$$q = \frac{(C_o - C_t)t}{m} \quad (2)$$

Data variasi waktu kontak akan digunakan untuk analisis kinetika. Kajian

kinetika akan diuji menggunakan dua model matematika yaitu kinetika orde satu semu dan kinetika orde dua semu dengan persamaan yang tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Model kinetika adsorpsi MB

Model Kinetika	Bentuk Linear	Plot grafik
Orde satu semu	$\ln(qe - qt) = \ln qe - kt$	$t \text{ vs } \ln(qe - qt)$
Orde dua semu	$\frac{t}{qt} = \frac{1}{kqe^2} + \frac{t}{qe}$	$t \text{ vs } \frac{t}{qt}$

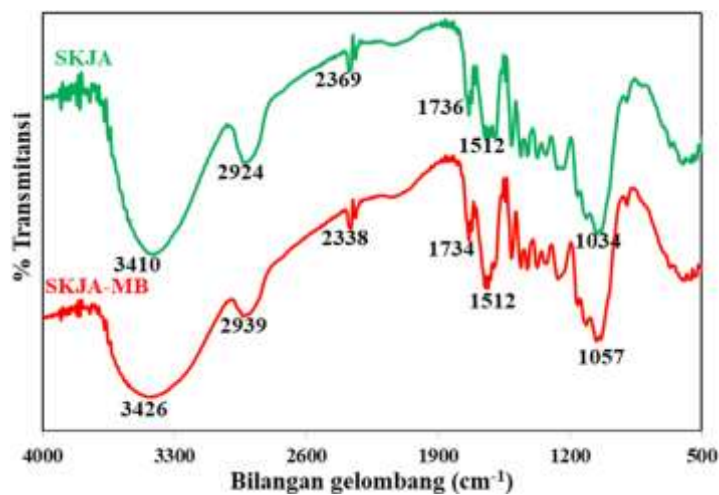
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakterisasi biosorben

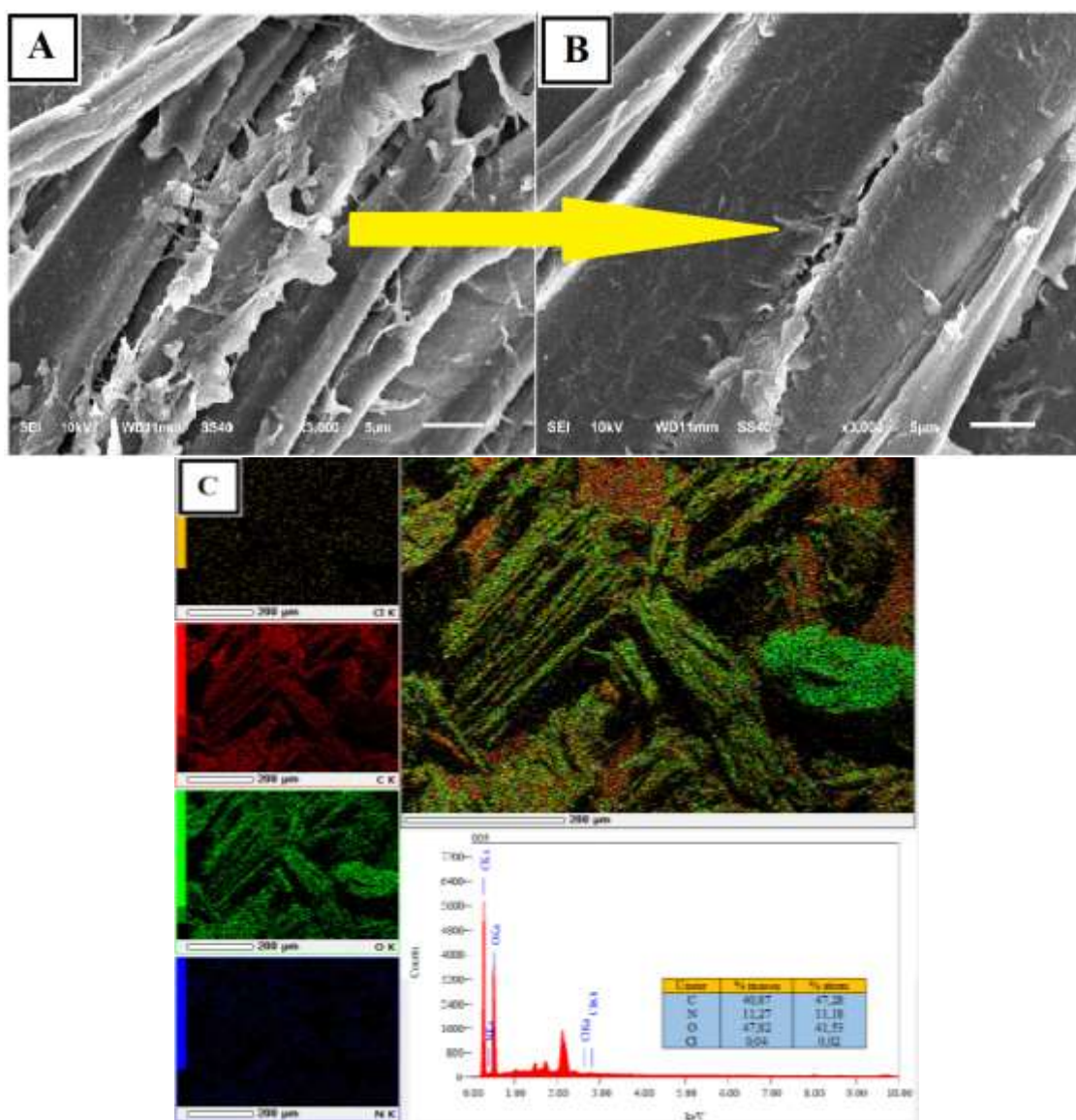
Adsorben SKJA yang diperoleh melalui tahapan preparasi dapat digunakan untuk proses adsorpsi terhadap zat warna metilen biru. Hal ini karena kayu jati mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin (Vega-Hernández et al., 2024). Selulosa merupakan adsorben yang baik untuk metilen biru (Aldosari et al., 2023). Hasil karakterisasi FTIR SKJA tersaji pada Gambar 2. Data analisis pada Gambar 2 ini jika dibandingkan dengan data FTIR serbuk gergaji kayu jati sebelum teraktivasi terlihat bahwa setelah dilakukan aktivasi maka akan terjadi sedikit perubahan pada puncak-puncak yang ada pada spektrum garis FTIR yang dimaksud. Hal ini disebabkan jika masih banyak terdapat pengotor pada adsorben maka vibrasi yang dihasilkan akan sangat rendah intensitasnya sehingga jika dilakukan aktivasi maka vibrasi molekul akan sangat bebas (Baunsele et al., 2024). Berdasarkan data tersebut, puncak pada bilangan gelombang 3426 dan 3410 cm^{-1} merupakan puncak yang mengindikasikan adanya gugus fungsional -OH yang bisa berasal dari molekul alkohol maupun fenol (Souhoka and Latupeirissa, 2018). Gugus fungsional C-H yang berasal dari alkana menghasilkan vibrasi yang nampak pada puncak dengan bilangan gelombang 2939 dan 2924 cm^{-1} (Aktar et al., 2023). Puncak yang muncul pada bilangan gelombang 2369 dan 2338 cm^{-1} merupakan

puncak karena vibrasi yang disebabkan oleh kehadiran gugus fungsional C=O (Tiwow et al., 2021). Tampilan puncak tajam pada bilangan gelombang 1736 dan 1734 cm^{-1} merupakan puncak akibat vibrasi dari gugus fungsional C=O (Singh et al., 2023). Adanya vibrasi pada bilangan gelombang 1512 cm^{-1} menjelaskan adanya gugus fungsional C=C yang terdapat pada struktur aromatik (Younis et al., 2023b). Gugus C-O di dalam senyawa selulosa terdeteksi dengan adanya vibrasi pada bilangan gelombang 1034 dan 1057 cm^{-1} (Yang et al., 2024). Data pada Gambar 2 menunjukkan adanya perubahan puncak untuk SKJA maupun setelah mengikat atau menyerap metilen biru. Perubahan bilangan gelombang menunjukkan bahwa setelah terjadi pengikatan terhadap zat warna metilen biru maka akan mempengaruhi intensitas vibrasi.

Data pada Gambar 3 menunjukkan hasil karakterisasi SEM untuk SKJA sebelum dan sesudah mengadsorpsi MB. Gambar 3A dan 3B menunjukkan penampakan permukaan adsorben pada pembesaran 3000 kali. Terlihat permukaan adsorben terdiri dari partikel lonjong dengan ukuran yang tidak seragam. Data lain yang menguatkan kondisi permukaan adsorben sebelum dan sesudah adsorpsi MB adalah data SEM EDX yang tersaji pada Gambar 3C. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat sekitar 47,28% massa atom C, sedangkan persentase massa untuk atom N, O dan Cl berturut-turut adalah 11,18%, 41,53%, dan 0,02%. Data tersebut menunjukkan bahwa adsorbat MB benar-benar teradsorpsi ke permukaan adsorben SKJA. Adanya unsur C sudah terkonfirmasi melalui hasil FTIR bahwa pada SKJA terdapat ikatan -CH , C=C , dan C=O . Sedangkan untuk unsur O berasal dari gugus -OH yang terdapat dalam bentuk alkohol maupun fenol. Unsur N dan Cl yang terdeteksi dalam analisis tersebut memperkuat kehadiran senyawa MB pada adsorben.

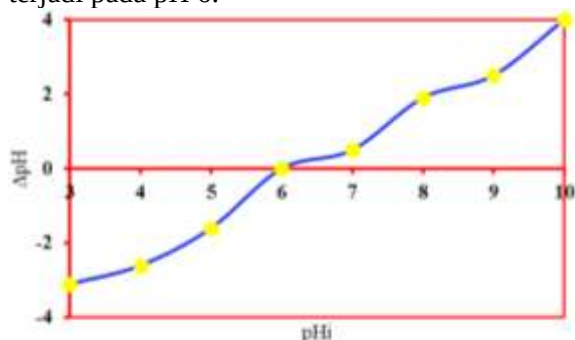


Gambar 2. Spektrum FTIR serbuk gergaji kayu jati



Gambar 3. Karakterisasi SEM SKJA, A) SKJA; B) SKJA-MB; C) Hasil analisis SEM EDX SKJA-MB

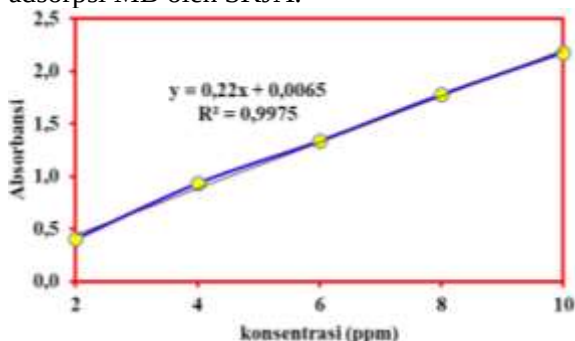
Analisis pH *point zero charge* (pHpzc) digunakan untuk mengetahui karakter muatan yang ada di permukaan SKJA. Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4 diketahui bahwa kondisi permukaan SKJA dengan muatan netral adalah pada pH 6. Pada saat pH larutan dibawah pH 6, muatan yang cenderung tersebar merata adalah muatan positif sehingga akan mengalami tolakan dengan muatan positif dari MB. Sedangkan pada saat pH diatas 6 maka sebaran muatan adalah negatif sehingga cenderung berinteraksi dengan muatan positif. Hal ini yang menyebabkan kondisi adsorpsi maksimum SKJA terhadap MB cenderung terjadi pada pH 6.



Gambar 4. Grafik pHpzc SKJA

3.2. Kajian adsorpsi MB

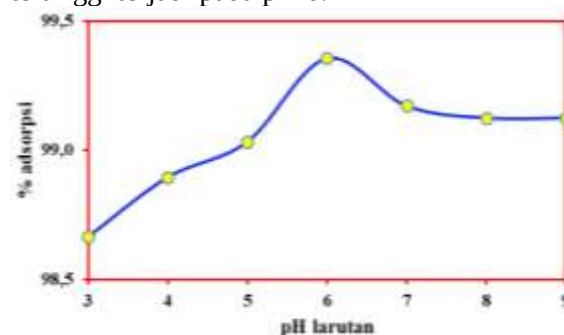
Studi adsorpsi diawali dengan menentukan kurva standar. Data pada Gambar 5 menunjukkan bahwa persamaan garis lurus yang diperoleh adalah $y = 0,22x + 0,0065$. Persamaan linear ini selanjutnya akan digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi MB oleh SKJA.



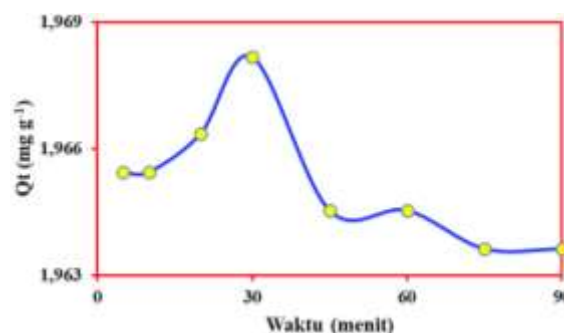
Gambar 5. Kurva standar

Kajian adsorpsi MB oleh SKJA meliputi dua variabel utama yaitu pengaruh pH dan pengaruh waktu kontak. Hasil riset menunjukkan bahwa adsorpsi MB oleh SKJA terjadi secara maksimal pada kondisi pH larutan adalah 6. Gambar 6 menampilkan bahwa terjadi peningkatan persentase adsorpsi pada pH 6 adalah 99,3% dengan kapasitas adsorpsi sebesar

1,96 mg g⁻¹. Kondisi penyerapan meningkat dari pH 3 menuju ke pH 6 disebabkan karena pada kondisi ini permukaan SKJA yang mengandung banyak gugus hidroksil maupun karbonil akan memiliki parsial negatif sehingga akan mudah berinteraksi dengan muatan positif yang terdapat pada MB. Selanjutnya pada kondisi pH 6 diketahui bahwa tidak ada muatan pada permukaan adsorben sehingga tidak ada kompetisi antara MB dengan kation lain dalam sistem adsorpsi tersebut. Setelah pH 6 terlihat bahwa terjadi kondisi stabil terhadap kemampuan penangkapan MB. Hal ini diduga karena sudah banyak ion OH⁻ di dalam larutan sehingga akan cenderung berinteraksi dengan kation MB sehingga MB tidak akan terserap ke permukaan SKJA. Kondisi ini yang menyebabkan kemampuan adsorpsi MB tertinggi terjadi pada pH 6.



Gambar 6. Kurva pengaruh pH MB



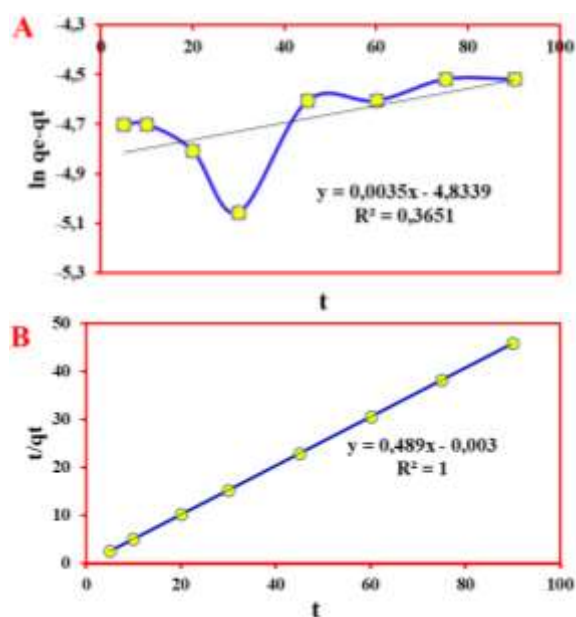
Gambar 7. Kurva Pengaruh variasi waktu

Studi mengenai variasi waktu kontak adsorpsi MB dilakukan dengan beberapa variasi waktu dengan rentang dari 5 menit hingga 90 menit. Berdasarkan Gambar 7, diketahui bahwa peningkatan kemampuan adsorpsi meningkat dari 5 hingga 30 menit. Kondisi ini menggambarkan adanya situs aktif pada yang berpeluang mengikat MB sehingga tercapai kondisi optimum waktu kontak dengan kapasitas adsorpsi adalah 1,97 mg g⁻¹. Hasil ini memiliki besaran kapasitas adsorpsi yang mirip dengan kapasitas adsorpsi pada variasi pH yaitu

1,96 mg g⁻¹. Setelah 30 menit adsorpsi, terlihat terjadi penurunan kapasitas adsorpsi. Hal ini dicurigai sebagai kondisi desorpsi akibat tidak ada interaksi kuat antara situs aktif pada adsorben dengan adsorbat. Hasil analisis variasi waktu digunakan untuk menentukan kinetika adsorpsi MB oleh SKJA disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 8.

Tabel 2. Nilai parameter kinetika

Model Kinetika	Parameter
Orde satu semu	$y = 0,0035x - 4,8339$ $k = 0,000004 \text{ g mg}^{-1} \text{ menit}^{-1}$ $R^2 = 0,36$ $Q_e = 18,52 \text{ mg g}^{-1}$
Orde dua semu	$y = 0,489x - 0,003$ $k = 79,70 \text{ g mg}^{-1} \text{ menit}^{-1}$ $R^2 = 1$ $Q_e = 2,045 \text{ mg g}^{-1}$



Gambar 8. Kinetika reaksi, A) orde satu semu, B) orde dua semu

Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa adsorpsi metilen biru pada SKJA terjadi menurut kinetika reaksi orde dua semu. Hal ini karena nilai R^2 untuk orde tersebut adalah 1 sedangkan untuk orde satu semu hanya 0,36. Data ini menjelaskan bahwa ada hubungan erat antara nilai t/q_t dengan perubahan waktu. Dapat dijelaskan pula bahwa laju reaksi adsorpsi tergantung pada jumlah adsorbat, dimana semakin lama waktu adsorpsi maka semakin banyak adsorbat terserap ke permukaan adsorben. Namun pada saat tertentu, laju adsorpsi akan semakin berkurang karena situs aktif yang ada sudah berkurang jumlahnya karena sudah terisi penuh oleh adsorbat

sehingga laju adsorpsinya menjadi berkurang. Berdasarkan data hasil penelitian ini bahwa kapasitas adsorpsi MB oleh SKJA adalah 2,045 mg g⁻¹ yang berarti bahwa dalam penggunaan satu gram adsorben mampu diserap sebanyak 2,045 mg MB dengan persentase penyerapan sebesar 99,7%. Selain itu konstanta kinetika yang diperoleh yaitu 79,70 g mg⁻¹ menit⁻¹ menjelaskan bahwa dalam satu menit adsorpsi dengan bantuan satu gram adsorben mampu menyerap sekitar 79,70 gram adsorbat.

4. KESIMPULAN

Adsorpsi zat warna metilen biru menggunakan SKJA secara maksimal terjadi pada kondisi pH 6 dengan persentase 99,3% dan kemampuan adsorpsi sebesar 1,96 mg g⁻¹. Adsorpsi maksimum terjadi pada waktu 30 menit, yang ditunjukkan dengan persentase adsorpsi sebesar 99,7% dengan kapasitas adsorpsi 1,97 mg g⁻¹. Adsorpsi ini terjadi menurut kinetika reaksi orde dua semu yang menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi tergantung pada jumlah situs aktif pada adsorben dan banyaknya adsorbat.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan limpah terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat (LPPM) Universitas Katolik Widya Mandira yang menyediakan dana penelitian khusus untuk skema Hibah Reguler Unwira Tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Aktar, M.S., Shakil, M.S.R., Tuj-Zohra, F., 2023. Potentials of bio-adsorbent prepared from coconut fibre in mitigation of pollution from tanning effluent. *Cleaner Engineering and Technology* 17, 100687. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100687>
- Aldosari, O.F., Jabli, M., Morad, M.H., 2023. Chemical extraction of cellulose from Ligno-cellulosic Astragalus armatus pods: Characterization, and application to the biosorption of methylene blue. *Arabian Journal of Chemistry* 16, 105019. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105019>
- Al-Maliky, E.A., Gzar, H.A., Al-Azawy, M.G., 2021. Determination of Point of Zero

- Charge (PZC) of Concrete Particles Adsorbents. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1184, 012004. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1184/1/012004>
- Andarista, F.F., Huda, M.M., Dewati, R., 2023. Adsorpsi Logam Timbal Pada Limbah Cair Artifisial Menggunakan Arang Aktif Eceng Gondok. Jurnal Teknik Kimia 18, 33–39. https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v18i1.4122
- Asiah, N., Sylvia, N., Bahri, S., 2022. Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue Menggunakan Adsorben Dari Ampas Teh Pada Kolom. Chemical eng. j. Storage 2, 75. <https://doi.org/10.29103/cejs.v2i2.7030>
- Banamtuan, T.E., Baunsele, A.B., Kopon, A.M., 2023. Studi Adsorpsi Metilen Biru Memanfaatkan Sabut Buah Lontar. Jurnal Inovasi Teknik Kimia 8, 108–116. <https://doi.org/10.31942/inteka.v8i2.8065>
- Baunsele, A.B., Boelan, E.G., Kopon, A.M., Rahayu, R., Siswanta, D., 2022. Kinetic Study of Blue Methylene Adsorption Using Coconut Husk Base Activated. Indo. J. Chem. Res. 10, 110–116. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2022.10-ans>
- Baunsele, A.B., Boelan, E.G., Kopon, A.M., Taek, M.M., Tukan, G.D., Missa, H., 2023. Penggunaan Sabut Kelapa Teraktivasi NaOH sebagai Adsorben Metilen Biru: Utilization of Coconut Fiber NaOH-Activated as Blue Methylene Adsorbent. Kovalen 9, 43–54. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2023.v9.i1.16274>
- Baunsele, A.B., Kopon, A.M., Boelan, E.G., Leba, M.A.U., Taek, M.M., Tukan, G.D., Missa, H., Rahayu, 2024a. Pengaruh pH Dan Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Serbuk Gergaji Kayu Jati. Alo 8, 1–11. <https://doi.org/10.33369/alov8i1.32235>
- Baunsele, A.B., Missa, H., 2021. Langmuir and Freundlich Equation Test on Methylene Blue Adsorption by Using Coconut Fiber Biosorbent. WJC 4, 131–138. <https://doi.org/10.21580/wjc.v4i2.8941>
- Baunsele, A.B., Missa, H., 2020. Kajian Kinetika Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Adsorben Sabut Kelapa. Akta Kimia Indonesia 5, 76. <https://doi.org/10.12962/j25493736.v5i2.7791>
- Baunsele, A.B., Tukan, M.B., Taek, M.M., Tukan, G.D., Kopon, A.M., Boelan, E.G., Leba, M.A.U., Komisia, F., Missa, H., Siswanta, D., Naat, J.N., Rahayu, R., 2024b. Adsorption of Methylene Blue using the Biosorbent of Coconut Fiber Activated by Nitric Acid. Molekul 19. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2024.19.1.9443>
- Desore, A., Narula, S.A., 2018. An overview on corporate response towards sustainability issues in textile industry. Environ Dev Sustain 20, 1439–1459. <https://doi.org/10.1007/s10668-017-9949-1>
- Doğan-Sağlamtimur, N., Turaç, E., Arabacıoğlu, R., Çivioğlu, T., 2017. Production of Dye from Green and Brown Walnut Shells for Leather Coloration. PEN 5. <https://doi.org/10.21533/pen.v5i2.135>
- Etim, U.J., Umoren, S.A., Eduok, U.M., 2016. Coconut coir dust as a low cost adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solution. Journal of Saudi Chemical Society 20, S67–S76. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.09.014>
- Firdaus Mohamad Yusop, M., Aziz, A., Azmier Ahmad, M., 2022. Conversion of teak wood waste into microwave-irradiated activated carbon for cationic methylene blue dye removal: Optimization and batch studies. Arabian Journal of Chemistry 15, 104081. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104081>
- Hardian, A., Rosidah, R., Budiman, S., Syarif, D.G., 2021. Preparation of Composite Derived from Banana Peel Activated Carbon and MgFe₂O₄ as Magnetic Adsorbent for Methylene Blue Removal. J. Kim. Sains Apl. 23, 440–

448.
<https://doi.org/10.14710/jksa.23.12.440-448>
- Hassaan, M.A., Nemr, A.E.N., 2017. Health and Environmental Impacts of Dyes: Mini Review. *AJESE* 1, 64–67.
- Hikmawati, D.I., Haqiqi, E.R., 2019. Surface Chemical Structure and Morphological Analysis of Fallen Teak Leaves (*Tectona grandis*) Powder for Methylene Blue Adsorption. *CHEESA* 2, 42.
<https://doi.org/10.25273/cheesa.v2i1.4334>
- Kumar, M., S., N, S., E, D., 2019. Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Using Silver Nanoparticles Synthesized from *Gymnema Sylvestre* and Antimicrobial Assay. *NRS* 2.
<https://doi.org/10.31031/NRS.2019.02.000532>
- Lellis, B., Fávaro-Polonio, C.Z., Pamphile, J.A., Polonio, J.C., 2019. Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. *Biotechnology Research and Innovation* 3, 275–290.
<https://doi.org/10.1016/j.biori.2019.09.001>
- Mishra, Y., 2015. Adsorption Studies of Basic Dyes Onto Teak (*Tectona Grandis*) Leaf Powder. *Journal of Urban and Environmental Engineering* 9, 102–108.
<https://doi.org/10.4090/juee.2015.v9n2.102108>
- Moniz, L., Tukan, M.B., Komisia, F., 2024. Optimasi Adsorpsi Metilen Biru Memanfaatkan Sabut Buah Lontar Teraktivasi Asam. *Journal of Applied Chemistry* 12.
- Ninu, Y.D., Baunsele, A.B., 2023. Study of Methylene Blue Adsorption Using Siwalan Fiber Biosorbent Activated by Potassium Hydroxide. *SPIN* 5, 50–66.
<https://doi.org/10.20414/spin.v5i1.6807>
- Nipa, S.T., Shefa, N.R., Parvin, S., Khatun, M.A., Alam, M.J., Chowdhury, S., Khan, M.A.R., Shawon, S.M.A.Z., Biswas, B.K., Rahman, M.W., 2023. Adsorption of methylene blue on papaya bark fiber: Equilibrium, isotherm and kinetic perspectives. *Results in Engineering* 17, 100857.
<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100857>
- Nurlette, S., 2023. The Effect of Contact Time and Optimum pH on The Adsorption of Methylene Blue Dye by Alginate-Chitosan Polyelectrolyte Complex Films.
<https://doi.org/10.33019/jstk.v5i2.4371>
- Oladoye, P.O., Ajiboye, T.O., Omotola, E.O., Oyewola, O.J., 2022. Methylene blue dye: Toxicity and potential elimination technology from wastewater. *Results in Engineering* 16, 100678.
<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100678>
- Pasang, P.M., Yuniata, Estiasih, T., Harijono, 2018. Structure And Morphology Of Cellulose From Coconut Coir Fibers. *RJOAS* 80, 452–462.
<https://doi.org/10.18551/rjoas.2018-08.61>
- Qasem, N.A.A., Mohammed, R.H., Lawal, D.U., 2021. Removal of heavy metal ions from wastewater: a comprehensive and critical review. *npj Clean Water* 4, 36.
<https://doi.org/10.1038/s41545-021-00127-0>
- Riyanto, Mawazi, M., 2015. Electrochemical Degradation of Methylen Blue Using Carbon Composite Electrode (C-PVC) in Sodium Chloride. *IOSR Journal of Applied Chemistry* 8, 31–40.
<https://doi.org/10.9790/5736-081113140>
- Rodiah, S., Ramadhani, E., 2023. Highly Efficient Removal of Methylene Blue Dye from Wastewater Using CaO-MnFe₂O₄ Nanoparticles Prepared with Teak Leaf Extract. *AK* 9, 62–67.
<https://doi.org/10.15575/ak.v9i2.20068>
- Rosanti, A.D., Kusumawati, Y., HiDayat, F., Fadlan, A., Wardani, A.R. k., Anggraeni, H.A., 2022. Adsorption of Methylene Blue and Methyl Orange from Aqueous Solution using Orange Peel and CTAB-Modified Orange Peel. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry* 9, 237–246.
<https://doi.org/10.18596/jotcsa.1003132>

- Saputro, S., Mahardiani, L., Wulandari, D.A., 2018. Combination of sawdust from teak wood and rice husk activated carbon as adsorbent of Pb(II) ion and its analysis using solid-phase spectrophotometry (sps). IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 333, 012055. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/333/1/012055>
- Singh, P., Pandey, V.K., Chakraborty, S., Dash, K.K., Singh, R., Mukarram Shaikh, A., Béla, K., 2023. Ultrasound-assisted extraction of phytochemicals from green coconut shell: Optimization by integrated artificial neural network and particle swarm technique. Heliyon 9, e22438. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22438>
- Souhoka, F.A., Latupeirissa, J., 2018. Sintesis Dan Karakterisasi Selulosa Asetat (CA). Indonesian Journal of Chemical Research 5, 58–62.
- Su, P., Wan, Q., Yang, Y., Shu, J., Zhao, H., Meng, W., Li, B., Chen, M., Liu, Z., Liu, R., 2021. Hydroxylation of electrolytic manganese anode slime with EDTA-2Na and its adsorption of methylene blue. Separation and Purification Technology 278, 119526. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119526>
- Tarmidzi, F.M., Putri, M.A.S., Novi, A., 2021. Pengaruh Aktivator Asam Sulfat dan Natrium Klorida pada Karbon Aktif Batang Semu Pisang untuk Adsorpsi Fe 5.
- Teixeira, Y.N., De Paula Filho, F.J., Bacurau, V.P., Menezes, J.M.C., Zhong Fan, A., Melo, R.P.F., 2022. Removal of Methylene Blue from a synthetic effluent by ionic flocculation. Heliyon 8, e10868. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10868>
- Tiwow, V.A., Rampe, M.J., Rampe, H.L., Apita, A., 2021. Pola Inframerah Arang Tempurung Kelapa Hasil Pemurnian Menggunakan Asam. chemprog 14, 116. <https://doi.org/10.35799/cp.14.2.2021.37191>
- Utomo, H.D., Phoon, R.Y.N., Shen, Z., Ng, L.H., Lim, Z.B., 2015. Removal of Methylene Blue Using Chemically Modified Sugarcane Bagasse. Natural Resources 6, 209–220. <https://doi.org/10.4236/nr.2015.64019>
- Vega-Hernández, M.Á., Munguía-Quintero, M.F., Rosas-Aburto, A., Alcaraz-Cienfuegos, J., Valdivia-López, M.D.L.Á., Hernández-Luna, M.G., Vivaldo-Lima, E., 2024. Effect of teak wood lignocellulose pretreatment on the performance of cellulose-graft-(net-poly(acrylamide-co-acrylic acid)) for water absorption and dye removal. International Journal of Biological Macromolecules 274, 133482. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133482>
- Wirawan, T., Az, I.W., Hindryawati, N., 2023. Adsorption Of Methylene Blue Using Active Charcoal From Empty Fruit Bunch (EFB). J. Kim. Mul 21, 8. <https://doi.org/10.30872/jkm.v21i1.1013>
- Yang, J., Zhang, K., Chen, D., Zhang, Y., Zhang, X., Yang, Z., 2024. Effect of alkali treatment on water absorption deterioration and mechanism of wheat straw/PVC composites. Polymer Testing 131, 108348. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2024.108348>
- Yildirim, A., Acay, H., 2020. Biosorption studies of mushrooms for two typical dyes. Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry 7, 295–306. <https://doi.org/10.18596/jotcsa.581007>
- Younis, H.M., Hussein, H.A., Khaphi, F.L., Saeed, Z.K., 2023a. Green biosynthesis of silver and gold nanoparticles using Teak (Tectona grandis) leaf extract and its anticancer and antimicrobial activity. Heliyon 9, e21698. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21698>
- Younis, H.M., Hussein, H.A., Khaphi, F.L., Saeed, Z.K., 2023b. Green biosynthesis of silver and gold nanoparticles using Teak (Tectona grandis) leaf extract and its anticancer and antimicrobial activity. Heliyon 9, e21698.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21698>

- Yulianti, E., Mahmudah, R., Royana, I., 2018. Pemanfaatan Biosorben Batang Jagung Teraktivasi Asam Nitrat dan Asam Sulfat untuk Penurunan Angka Peroksida–Asam Lemak Bebas Minyak Goreng Bekas. *Al* 5, 9. <https://doi.org/10.18860/al.v5i1.3685>
- Zein, R., Satrio Purnomo, J., Ramadhani, P., Safni, Alif, M.F., Putri, C.N., 2023. Enhancing sorption capacity of methylene blue dye using solid waste of lemongrass biosorbent by modification method. *Arabian Journal of Chemistry* 16, 104480. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104480>
- Zhu, H., Chen, S., Luo, Y., 2023. Adsorption mechanisms of hydrogels for heavy metal and organic dyes removal: A short review. *Journal of Agriculture and Food Research* 12, 100552. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100552>