

OPTIMASI ADSORPSI METILEN BIRU MEMANFAATKAN SABUT BUAH LONTAR TERAKTIVASI ASAM

Lucia Moniz, Anselmus Boy Baunsele*, Ery G. Boelan, Aloisius M. Kopon, Maria A. U. Leba, Maria B. Tukan, Faderina Komisia

Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Katolik Widya Mandira, Kota Kupang, NTT

*boybaunselel@mail.com

ABSTRAK: Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah sabut buah lontar sebagai adsorben metilen biru. Sabut buah lontar dihaluskan hingga ukuran 100 mesh kemudian diaktivasi menggunakan asam sulfat 1M selama 24 jam. Biosorben yang dihasilkan kemudian dicuci dengan aquades hingga pH netral. Biosorben digunakan untuk adsorpsi metilen biru dengan parameter uji variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi awal adsorbat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pH optimum 7, waktu kontak 50 menit dan konsentrasi maksimum 50 ppm. Model kinetika adsorpsi adalah pseudo orde dua dengan nilai R^2 adalah 1 dan isothermal adsorpsi yang berlaku adalah isothermal Freundlich yang mengindikasikan bahwa proses adsorpsi terjadi secara *multilayer*. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa metilen biru dapat diadsorpsi menggunakan sabut buah lontar teraktivasi asam.

Kata Kunci: adsorpsi; isothermal; kinetika; metilen biru; sabut buah lontar

ABSTRACT: This research aims to using the lontar fiber as methylene blue adsorbent. The palm fruit fiber was prepared to particle size of 100 mesh then activated using 1M of sulphuric acid for 24 hours. The biosorbent washed with distilled water until the pH was neutral. Biosorbent was used for methylene blue adsorption with parameters tested included pH, contact time and variations in concentration. The test results show that the optimum pH is 7, the contact time is 50 minutes and the maximum concentration is 50 ppm. The adsorption kinetic models following pseudo second order with an R^2 value of 1 and the adsorption isothermal is the Freundlich isothermal which indicates that the adsorption process occur in a multilayer manner. From these results it can be concluded that methylene blue can be adsorbed using acid-activated palm fiber.

Keywords: adsorption; borassus flabellifer L.; isotherm; kinetic; methylene blue

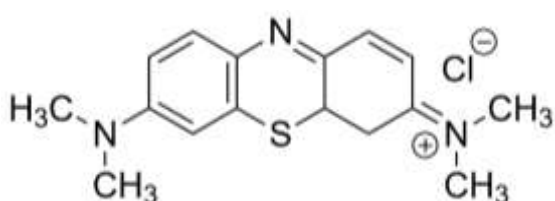
1. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi memberikan keuntungan bagi segala aspek kehidupan manusia, namun disisi lain perkembangan tersebut dapat memberikan dampak negatif bagi lingkungan salah satu contohnya adalah pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan dapat disebabkan oleh limbah industri yang di buang ke lingkungan tanpa melalui tahapan penanganan terlebih dahulu. Limbah yang dihasilkan dapat berupa logam berat maupun zat warna. Logam berat sulit untuk terdegradasi atau

terurai ketika mencemari lingkungan [1], sehingga dapat menyebabkan akumulasi dengan makhluk hidup, makanan maupun air. Mekanisme ini bisa menyebabkan berbagai penyakit pada manusia misalnya kerusakan otak, kejang-kejang bahkan kematian [2]. Efek lain yang dapat disebabkan oleh logam berat adalah karena memiliki toksisitas yang tinggi [3]. Selain logam berat, zat warna merupakan komponen pencemar yang sangat berbahaya bagi lingkungan karena dapat mencegah masuknya sinar matahari ke badan air sehingga mempengaruhi proses

fotosintesis di air, mengurangi kandungan oksigen terlarut, bersifat toksik, mutagenik dan karsinogenik [4]. Dalam bidang pertanian, kehadiran pencemar zat warna pada tanah dapat mengurangi populasi bakteri maupun zat organik sehingga kualitas tanah akan semakin berkurang [5].

Zat warna merupakan komponen penting dalam industri tekstil, namun sekitar 20 % polutan di lingkungan perairan berasal dari limbah industri tekstil [6]. Zat warna yang sering digunakan dalam berbagai industri dan memiliki efek buruk terhadap kesehatan manusia dan lingkungan diantaranya rhodamin B [7], kongo merah [8], *azure* B [9], *Reactive Red-120* dan *Reactive Blue-198* [10], dan metilen biru [11]. Metilen biru merupakan zat warna kationik yang sering digunakan dalam industri tekstil memiliki struktur molekul yang disajikan pada Gambar 1. Metilen biru dapat menyebabkan berbagai penyakit diantaranya syok, mual, muntah, penyakit kuning dan sianosis jika tertelan [12], selain itu dapat menyebabkan nekrosis jaringan dan peningkatan denyut jantung serta menghambat pertumbuhan tanaman melalui mekanisme reduksi protein [13]. Hal ini menjadi dasar perlu dilakukan penanganan terhadap zat warna metilen biru yang ada di lingkungan.



Gambar 1. Struktur molekul metilen biru

Upaya penghilangan metilen biru di alam telah banyak dikembangkan diantaranya pemanfaatan perak nanopartikel [14] dan nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ [15] sebagai katalis untuk proses fotodegradasi, flokulasi ion [16], elektroflotasi [17], degradasi secara elektrokimia [18] dan adsorpsi [19]. Adsorpsi merupakan metode analisis yang mudah dalam proses aplikasi dan memakan

biaya yang tergolong murah. Proses adsorpsi tergantung pada interaksi antara adsorbat dan adsorben, luas permukaan adsorben, rasio antara ketersediaan situs aktif pada adsorben dengan komponen adsorbat dan ukuran partikel dari adsorben [20]. Adsorpsi metilen biru dapat dikembangkan dengan memanfaatkan berbagai adsorben misalnya arang aktif [21] dan biosorben dari limbah pertanian [22]

Kelimpahan bahan alam yang dibuang sebagai limbah dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk meningkatkan kualitas lingkungan khususnya lingkungan abiotik. Berbagai bahan alam yang dijadikan sebagai adsorben adalah daun genjer [23], sekam padi dan ampas tebu [1], serat kulit papaya [20], tongkol jagung [24], daun cengkeh [25], kulit kacang tanah [26], limbah serai [27], sabut kelapa [28], daging buah semangka [29], kulit kayu putih [30], limbah kapas [31] dan karaginan [32]. Penelitian terdahulu yang telah dilakukan yaitu memanfaatkan biosorben dari limbah sabut buah lontar [19] dan sabut buah lontar teraktivasi basa KOH [11]. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan yaitu dengan melakukan aktivasi asam terhadap limbah sabut buah lontar untuk adsorpsi metilen biru (MB). Tujuan aktivasi asam adalah untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi MB dengan menghilangkan pengotor yang berada pada permukaan biosorben sehingga mempermudah interaksi antara situs aktif pada biosorben teraktivasi asam dengan adsorbat [24]. Pada penelitian ini akan dilakukan kajian kinetika dan isothermal adsorpsi MB pada biosorben sabut buah lontar teraktivasi asam (BSLA).

2. PERCOBAAN

2.1 Bahan dan Peralatan

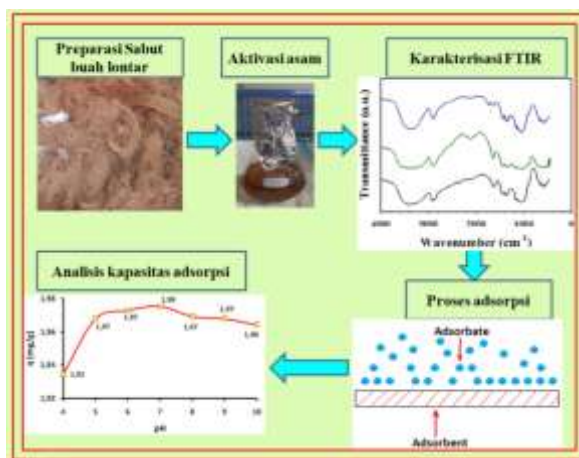
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sabut buah lontar, H_2SO_4 (Merck, 99%), NaOH (Merck, 99%), aquades, HCl (Merck, 99%) dan metilen biru (Merck). Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah oven (*Memmert Universal UNB 400*), *magnetic stirrer*, neraca analitik, ayakan (80, 100 dan 120

mesh), shaker, peralatan gelas (*duran* dan *pirex*), kertas saring (*whatman*), *aluminium foil*, pH meter (*Hanna instrument*), spektrofotometri UV-Vis (*Thermos Scientific*), dan instrumen FTIR (*Shimadzu*).

2.2 Metode

2.2.1 Preprasi sampel

Mekanisme penelitian dideskripsikan pada Gambar 2. Limbah buah lontar yang diperoleh dari wilayah pesisir Pantai Oesapa Kota Kupang dibersihkan dan dipisahkan antara serat kasarnya dengan kulit buahnya. Kemudian dicuci dengan air bersih dan dikeringkan. Sabut lontar yang sudah kering dipotong menjadi bagian-bagian terkecil lalu dihaluskan menggunakan mortar. Serbuk Sabut lontar selanjutnya diayak dengan ayakan berukuran 80, 100 dan 120 mesh. Serbuk sabut lontar siap untuk digunakan pada tahapan aktivasi.



Gambar 2. Prosedur penelitian

2.2.2 Aktivasi dan karakterisasi biosorben

Serbuk sabut lontar berukuran 80, 100 dan 120 mesh, masing-masing diambil sejumlah 100 g direndam dalam H_2SO_4 1 M dengan rasio (1:10) dan campuran diaduk selama 24 jam [33]. Campuran kemudian dipisahkan menggunakan kertas saring dan residunya dicuci dengan akuades sampai dengan pH netral. Residu yang didapat kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu $105^{\circ}C$ sampai dengan berat

konstan. Setelah dilakukan pengeringan, hasil ini diperoleh biosorben sabut buah lontar teraktivasi asam sulfat (BSLA) yang siap digunakan sebagai biosorben MB. Biosorben yang dihasilkan kemudian dianalisis menggunakan FTIR untuk mengetahui kandungan gugus fungsi yang ada pada BSLA.

2.2.3 Pembuatan kurva kalibrasi

Larutan stok metilen biru 100 ppm dibuat dengan cara menimbang sebanyak 100 mg padatan metilen biru kemudian dilarutkan menggunakan aquades sedikit demi sedikit. Jika sudah larut, larutan dipindahkan ke dalam labu ukur bervolume 1 L kemudian ditambahkan aquades hingga volumenya tepat 1 L dan dikocok hingga homogen.

Larutan stok MB 100 ppm diencerkan menjadi 5 ppm, kemudian diambil dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometri UV-Vis dengan panjang gelombang 500-700 nm. Panjang gelombang optimum ditentukan dengan melihat absorbansi tertinggi.

Langkah penelitian selanjutnya adalah dengan menentukan kurva kalibrasi. Larutan standar MB dibuat dengan konsentrasi 1, 2, 3, 4 dan 5 ppm, kemudian diukur absorbansinya pada panjang gelombang optimum yang diperoleh. Data absorbansi versus konsentrasi digunakan untuk membuat kurva standar yang menyatakan hubungan konsentrasi dan absorbansi, diperoleh persamaan garis $y = ax + b$. persamaan garis ini akan digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi tiap parameter.

2.2.4 Penentuan luas permukaan dan massa optimum adsorpsi

Larutan metilen biru 10 ppm sebanyak 20 mL dimasukkan ke dalam 3 labu erlenmeyer masing-masing. Masing-masing wadah diisi 1 g BSLA dan di-shaker selama 60 menit. Setelah itu, dilakukan penyaringan untuk memisahkan residu biosorben dan filtrat. Filtrat yang diperoleh diukur absorbansinya dengan UV-Vis

sehingga didapatkan data luas permukaan optimum.

Setelah mengetahui luas permukaan BSLA dengan kapasitas adsorpsi maksimum, kemudian dilanjutkan dengan menentukan massa adsorben dengan kapasitas adsorpsi tertinggi. Larutan MB 10 ppm 20 mL dimasukkan ke dalam masing-masing 6 wadah dan ditambahkan dengan massa BSLA bervariasi yaitu 0,1; 0,5; 1; 1,5; 2 dan 2,5 g lalu campuran *dishaker* selama 60 menit. Residu biosorben dan filtrat dipisahkan menggunakan kertas saring dan selanjutnya absorbansi filtrat diukur menggunakan UV-Vis untuk mendapatkan data massa adsorpsi optimum.

2.2.5 Penentuan adsorpsi pH maksimum

Sebanyak 20 mL larutan MB berkonsentrasi 10 ppm dimasukkan ke dalam masing-masing 7 wadah kemudian diatur pHnya menggunakan larutan HCl dan NaOH, menghasilkan variasi pH larutan adalah 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8. Masing-masing wadah yang telah diisi MB dan diatur pH kemudian ditambahkan 0,1 g BSLA. Campuran *dishaker* selama 60 menit. Setelah itu, dilakukan penyaringan untuk memisahkan residu biosorben dan filtrat. Filtrat selanjutnya diukur absorbansinya dengan UV-Vis untuk menentukan pH adsorpsi optimum.

2.2.6 Penentuan adsorpsi waktu kontak maksimum

Larutan MB berkonsentrasi 10 ppm dimasukkan ke dalam 6 wadah uji masing-masing sebanyak 20 mL, kemudian diatur pH larutan MB sesuai dengan pH optimum. Setiap wadah yang disiapkan ditambahkan masing-masing 0,1 g BSLA dengan ukuran partikel adsorben yang diperoleh pada langkah sebelumnya. Campuran selanjutnya *dishaker* dengan variasi waktu kontak 5; 10; 30; 40; 50 dan 75 menit. Setelah itu, dilakukan penyaringan untuk memisahkan residu biosorben dan filtrat.

Filtrat yang diperoleh diukur absorbansinya dengan UV-Vis sehingga didapatkan ditentukan waktu kontak optimum. Data waktu kontak optimum yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan kinetika adsorpsi MB pada BSLA, sedangkan kapasitas adsorpsi MB ditentukan menggunakan persamaan 1 dan 2.

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

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

Dimana C_0 adalah konsentrasi awal adsorbat (mg L^{-1}) dan C_e adalah konsentrasi adsorbat setelah adsorpsi (mg L^{-1}). Sedangkan v merupakan volume adsorbat (L), m adalah massa adsorben (g) dan q adalah kapasitas adsorpsi adsorbat oleh adsorben [34].

2.2.7 Penentuan adsorpsi konsentrasi maksimum

Larutan MB 10 ppm sebanyak 20 mL masing-masing dimasukkan ke dalam 8 wadah kemudian diatur pH sesuai pH adsorpsi optimum. Setiap wadah dimasukkan BSLA sebanyak 0,1 g dengan ukuran partikel yang ditentukan sebelumnya kemudian *dishaker* selama waktu kontak optimum yang telah diperoleh. Setelah itu, dilakukan penyaringan untuk memisahkan residu biosorben dan filtrat. Filtrat yang diperoleh diukur absorbansinya dengan UV-Vis sehingga didapatkan ditentukan konsentrasi adsorpsi optimum.

Data variasi konsentrasi MB dengan kapasitas adsorpsi maksimum kemudian digunakan untuk menentukan model isotermal adsorpsi yang sesuai untuk adsorpsi MB pada BSLA. Model isotermal adsorpsi yang digunakan yaitu model isotermal Langmuir dan Freundlich. Data persamaan garis lurus dari kedua model matematika ini dapat ditentukan dengan

Tabel 1. Model Matematika Isotermal Adsorpsi

Model isotermal	Bentuk linear	Plot	Sumber
Langmuir	$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{q_m K_L C_e}$	$\frac{1}{C_e}$ vs $\frac{1}{q_e}$	[35]
Feundlich	$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$	$\log q_e$ vs $\log C_e$	[8]

membuat plot data yang tersedia pada Tabel 1.

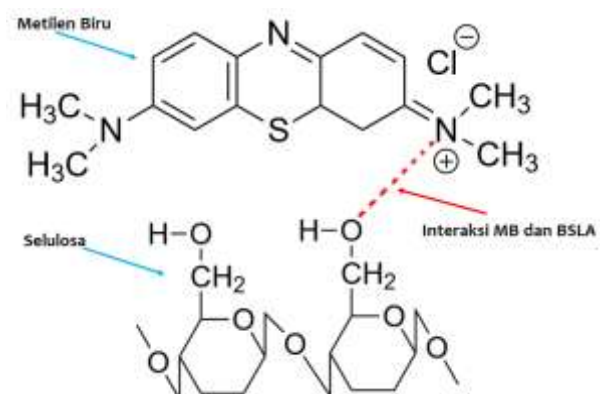
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi Biosorben Sabut Buah Lontar

Biosorben merupakan suatu komponen adsorben yang dihasilkan dari berbagai bahan alam yang memiliki kandungan karbon yang bertujuan untuk bisa menyerap berbagai komponen dalam fasa fluida [36]. Buah lontar memiliki komponen kimia yaitu 45-70% selulosa, 14-32 % hemiselulosa dan 5-21% berupa lignin [37]. Selain itu, data komponen ini diperkuat dengan hasil karakterisasi FTIR yang menunjukkan adanya gugus aktif O-H, C-H dan C-O [38], sehingga hal ini menjadi dasar sabut buah lontar dapat dijadikan sebagai biosorben. Kehadiran berbagai gugus aktif tersebut dapat memudahkan interaksi antara atom oksigen (O) yang bersifat elektronegatif dengan parsial positif dari atom nitrogen (N) yang terdapat pada molekul MB, seperti yang disajikan pada Gambar 3.

Tumbuhan lontar telah banyak digunakan untuk berbagai keperluan misalnya batang dan daunnya sebagai bahan bangunan, serta hasil sadapan bunganya berupa nira bisa diolah menjadi minuman tradisional beralkohol yang dinamakan sopi [39]. Salah satu bagian yang dapat dimanfaatkan untuk kepentingan lingkungan adalah sabut buah lontar sebagai adsorben zat warna MB. Sabut buah lontar yang akan dijadikan sebagai biosorben diambil dari limbah

sabut buah lontar yang ada di pesisir pantai Lasiana Kota Kupang. Buah lontar kering diambil kemudian dipisahkan antara sabut lontar dari tempurungnya. Sabut lontar tersebut dicuci menggunakan air bersih untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang menempel pada sabut lontar. Sabut lontar yang telah dicuci bersih dikeringkan dibawah sinar matahari hingga benar-benar kering. Sabut lontar yang sudah kering dipotong menjadi kecil dan dihaluskan menggunakan mortal, selanjutnya diayak dengan ayakan berukuran 80, 100 dan 120 mesh. Tujuan penghalusan sampel sabut buah lontar adalah untuk menghasilkan ukuran partikel yang lebih bervariasi serta memperbesar luas permukaan interaksi antara biosorben dan adsorbat (Bangun dkk., 2016).



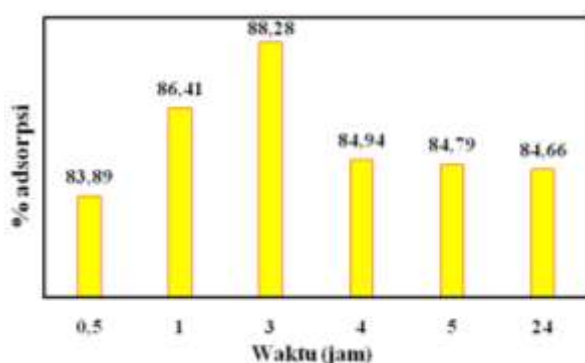
Gambar 3. Prediksi interaksi MB dengan BSLA

Biosorben yang telah dihasilkan selanjutnya diaktivasi menggunakan aktivator asam sulfat berkonsentrasi 1 M. Proses aktivasi bertujuan untuk dapat

meningkatkan kapasitas adsorpsi MB karena aktivasi asam dapat menyebabkan terjadinya pertukaran kation H^+ pada larutan dengan kation yang ada pada biosorben sehingga mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi [41], selain itu proses aktivasi dapat menghilangkan pengotor yang menempel pada biosorben sehingga tidak terjadi penutupan pada gugus aktif biosorben dan interaksi antara biosorben dan adsorbat akan semakin meningkat [42].

Karakterisasi Biosorben

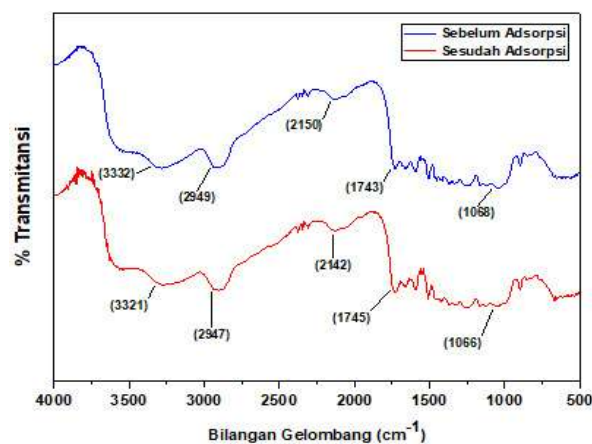
Biosorben teraktivasi asam sulfat memiliki daya serap terhadap air cukup tinggi. Berdasarkan data pada Gambar 4, daya serap BSLA terendah yaitu 83,89% dengan waktu perendaman 0,5 jam. Terjadi kenaikan penyerapan air yaitu ketika waktu perendaman 3 jam terjadi perubahan kenaikan sebesar 88,28%. Setelah itu, dari waktu 4-24 jam terlihat daya serap air BSLA menurun menjadi konstan yaitu 84,94; 84,79 dan 84,66%. Daya serap air menurun disebabkan oleh peningkatan ikatan silang dan adanya kesetimbangan komponen hidrofilik pada BSLA karena semakin banyak ikatan silang yang terbentuk, memungkinkan semakin sedikit ruang yang tersedia untuk pengikatan molekul air [43].



Gambar 4. Kapasitas daya serap air BSLA

Karakterisasi BSLA selain uji penyerapan air adalah penentuan gugus fungsi BSLA menggunakan instrumen FTIR. Spektrum gugus fungsi BSLA dapat dilihat pada Gambar 5. Puncak lebar yang

muncul pada bilangan gelombang 3332 cm^{-1} dan 3321 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi yang dihasilkan oleh gugus O-H baik itu pada molekul alkohol atau pada gugus fenol. Terlihat bahwa sebelum dan sesudah BSLA menyerap MB vibrasi O-H tidak ada perbedaan signifikan. Vibrasi lain yang terjadi pada bilangan gelombang 2949 dan 2949 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan CH pada alkana. Munculnya tekukan pada bilangan gelombang 1068 dan 1066 cm^{-1} mengindikasikan adanya vibrasi yang dihasilkan oleh ikatan CH-OH. Muncul daerah serapan dengan bilangan gelombang 1743 dan 1745 cm^{-1} menandakan adanya gugus C=O aldehyd/ keton/ asam karboksilat/ester. Adanya gugus fungsi OH dan C-O pada BSLA memungkinkan terjadinya interaksi antara gugus fungsi BSLA dengan parsial positif nitrogen (N) dari metilen biru sehingga terjadi proses adsorpsi. Terlihat pada Gambar 5, walaupun MB terserap ke BSLA, namun tidak menyebabkan pergeseran puncak yang signifikan pada BSLA sebelum dan sesudah adsorpsi.

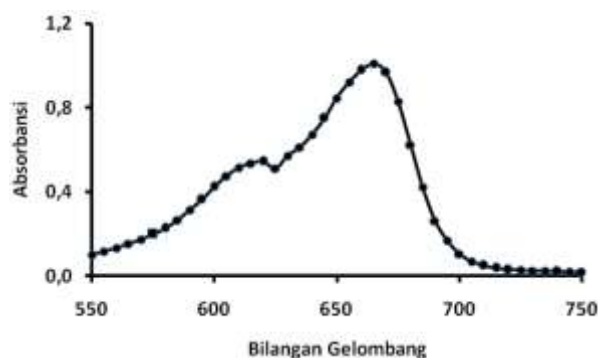


Gambar 5. Spektra FTIR BSLA

Penentuan panjang gelombang optimum

Penentuan panjang gelombang optimum dilakukan dengan mengukur absorbansi larutan MB 5 ppm menggunakan UV-Vis pada panjang gelombang 500-700 nm. Data yang diperoleh pada proses ini disajikan pada Gambar 6 menunjukkan bahwa serapan

maksimum metilen biru berada pada bilangan gelombang (λ) 665 nm sebesar 1,008.



Gambar 6. Kurva serapan optimum larutan metilen biru

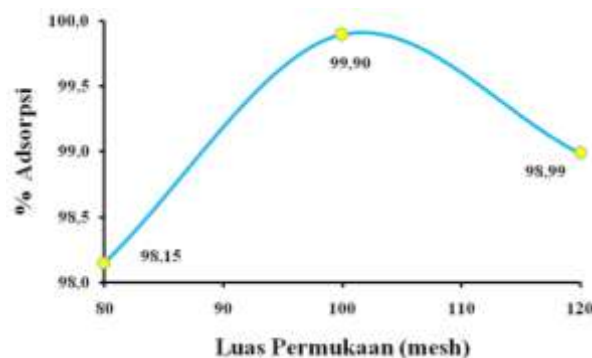
Bilangan gelombang dengan absorbansi optimum metilen biru yang diperoleh pada penelitian ini sama dengan hasil penelitian dengan yang telah dilakukan menggunakan biosorben sabut kelapa [44], bentonit [45] serta menggunakan selulosa dari alang-alang [46], untuk adsorpsi metilen biru memperoleh panjang gelombang optimum metilen biru berada pada 665 nm.

Pengaruh Luas Permukaan Terhadap Adsorpsi

Pengukuran daya serap BSLA terhadap MB untuk variasi luas permukaan atau ukuran partikel adsorben menggunakan BSLA berukuran 80, 100 dan 120 mesh. Hasil pengujian adsorpsi menggunakan lamda maksimum (665 cm^{-1}) diperoleh hasil bahwa BSLA 80, 100 dan 120 mesh memiliki persentase kemampuan adsorpsi MB secara berturut-turut yaitu 98,15; 99,90 dan 98,99 %, tersaji pada Gambar 7.

Berdasarkan ukuran partikel, semakin besar luas permukaan maka laju reaksi akan semakin meningkat sehingga ukuran partikel 120 mesh akan memiliki luas permukaan reaksi dan laju reaksi lebih besar dibanding 80 dan 100 mesh. Namun kenyataan pada penelitian ini, kapasitas adsorpsi MB tertinggi terjadi pada BSLA berukuran 100 mesh. Hal ini diduga karena

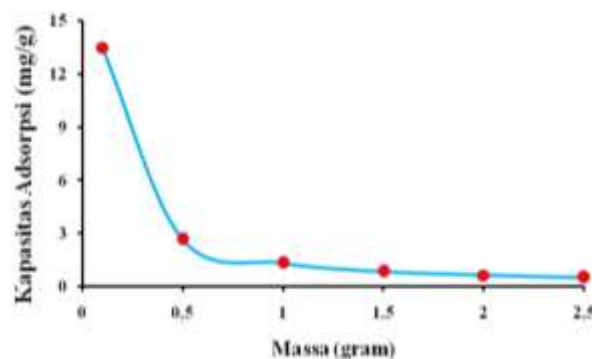
proses aktivasi pada ukuran partikel adsorben paling kecil (120 mesh), kemungkinan terjadi kerusakan pada struktur BSLA dan terjadi pengurangan situs aktif sehingga sangat sedikit MB yang bisa terserap pada ukuran BSLA 120 mesh tersebut.



Gambar 7. Pengaruh luas permukaan terhadap kapasitas adsorpsi

Pengaruh Massa Biosorben

Massa biosorben merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi. Semakin banyak massa biosorben yang digunakan maka ketersediaan situs-situs aktif semakin banyak sehingga adsorpsi terhadap adsorbat oleh biosorben semakin meningkat [47]. Pengaruh massa biosorben terhadap kapasitas adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengaruh massa biosorben terhadap kapasitas adsorpsi.

Pada Gambar 8 kurva pengaruh massa BSLA terhadap kapasitas adsorpsi dapat dilihat bahwa kapasitas adsorpsi

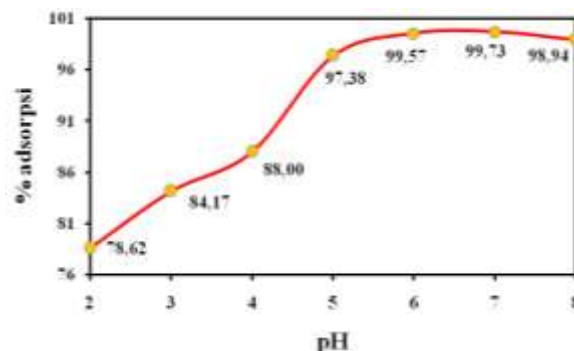
metilen biru memberikan hasil adsorpsi maksimal pada penggunaan massa BSLA 0,1 gram dengan nilai kapasitas adsorpsi 13,485 mg g⁻¹. Hal ini dikarenakan biosorben yang teraktivasi asal sulfat mempunyai situs-situs aktif yang lebih banyak, sehingga massa biosorben yang kecil memberikan hasil adsorpsi secara maksimal. Tetapi untuk massa BSLA 0,5 sampai 2,5 gram terjadi penurunan adsorpsi dicurigai karena jumlah situs aktif biosorben tidak seimbang dengan biosorbat yaitu metilen biru sehingga terjadi tumpang tindih antar gugus aktif sehingga adsorpsi metilen biru semakin menurun

Pengaruh pH Terhadap Kapasitas Adsorpsi

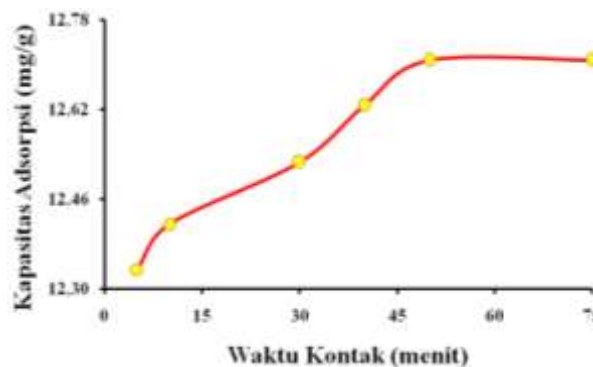
Kondisi pH larutan MB merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi proses adsorpsi. Pada penelitian ini digunakan pH 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8. Pengaruh pH terhadap kapasitas disajikan pada Gambar 9. Adsorpsi metilen biru sudah mulai terjadi pada pH 2, dan mengalami kenaikan hingga pH 7. Kondisi pH MB < 7 diketahui memiliki kapasitas adsorpsi MB a rendah, hal ini karena pada kondisi asam jumlah ion H⁺ sangat banyak sehingga akan memprotonasi MB. Saat proses adsorpsi berlangsung, akan terdapat persaingan antara ion H⁺ dari asam dan parsial positif (N) pada MB untuk berinteraksi dengan gugus aktif yang elektronegatif yaitu OH maupun CO dari biosorben. Kondisi jumlah ion H⁺ yang banyak ini akan dapat menutup situs aktif –OH dan C=O pada BSLA, akibatnya metilen biru semakin sulit berinteraksi dengan BSLA sehingga MB sulit diadsorpsi dan kapasitas adsorpsi yang dihasilkan pada kondisi pH 2-5 kecil.

Pada pH basa (pH > 7), kapasitas adsorpsi semakin menurun karena pada kondisi ini, ion OH⁻ dari larutan akan berinteraksi dengan parsial positif (atom N) pada MB, sehingga peluang gugus aktif –OH dan C=O untuk berinteraksi dengan parsial positif pada MB semakin sulit. Adsorpsi optimum MB terjadi pada

pH 6 dan 7 dengan persen adsorpsi 99,57 dan 99,73%. Hal ini dikarenakan pada pH 6 dan 7 terjadi kesetimbangan jumlah ion OH⁻ dan H⁺ sehingga tidak ada gangguan terhadap interaksi antara situs aktif pada BSLA dengan parsial positif pada MB, akibatnya MB dapat terserap secara maksimal di permukaan BSLA.



Gambar 9. Pengaruh pH Terhadap Kapasitas Adsorpsi.



Gambar 10. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi.

Kinetika reaksi adsorpsi MB oleh BSLA

Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi MB menggunakan variasi waktu 5, 10, 30, 40, 50 dan 75 menit. Data penelitian yang diperoleh disajikan pada Gambar 10. Semakin lama waktu kontak reaksi maka semakin besar kapasitas adsorpsi. Hasil penelitian menunjukkan BSLA mengadsorpsi metilen biru secara optimal terjadi pada waktu kontak 50 menit dengan kapasitas adsorpsi 12,708 mg g⁻¹. Pada waktu kontak 5 sampai

50 menit terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi, diduga karena masih banyak situs aktif dari BSLA yang memungkinkan terjadinya interaksi antara adsorben dan adsorbat. Namun pada menit ke 75 tidak terjadi peningkatan dengan nilai Q_e sama dengan menit 50 yaitu sebesar $12,708 \text{ mg g}^{-1}$, hal ini dicurigai bahwa situs aktif dari BSLA sudah tertutup oleh molekul MB. Keadaan ini menggambarkan biosorben dalam keadaan jenuh serta adsorpsi telah mencapai titik kesetimbangan.

Data variasi waktu kontak yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan kinetika adsorpsi MB oleh BSLA. Model matematika kinetika adsorpsi yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari empat model diantaranya pada Persamaan 3 (kinetika orde satu), Persamaan 4 (kinetika orde dua), Persamaan 5 (kinetika pseudo orde satu), dan Persamaan 6 (kinetika pseudo orde dua).

$$\ln C_e = \ln C_o - kt \quad (3)$$

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_o} + kt \quad (4)$$

$$\ln(q_e - qt) = \ln q_e - kt \quad (5)$$

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{kq_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (6)$$

Dimana: C_o dan C_e merupakan konsentrasi adsorbat sebelum dan sesudah proses adsorpsi (mg L^{-1}), qt menggambarkan konsentrasi adsorbat pada satuan waktu tertentu (mg g^{-1}), k merupakan konstanta laju (menit^{-1}), dan q_e menggambarkan jumlah adsorbat pada saat kesetimbangan (mg g^{-1}). Penentuan nilai k diperoleh dengan membuat grafik hubungan tiap model matematika kinetika adsorpsi serta hasil analisis kinetika adsorpsi MB oleh BSLA tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan hasil analisis kinetika adsorpsi menggunakan empat model matematika. Kinetika orde satu menunjukkan bahwa laju adsorpsi adsorbat terjadi sebesar 0,02 bagian per menit, sedangkan untuk kinetika orde dua

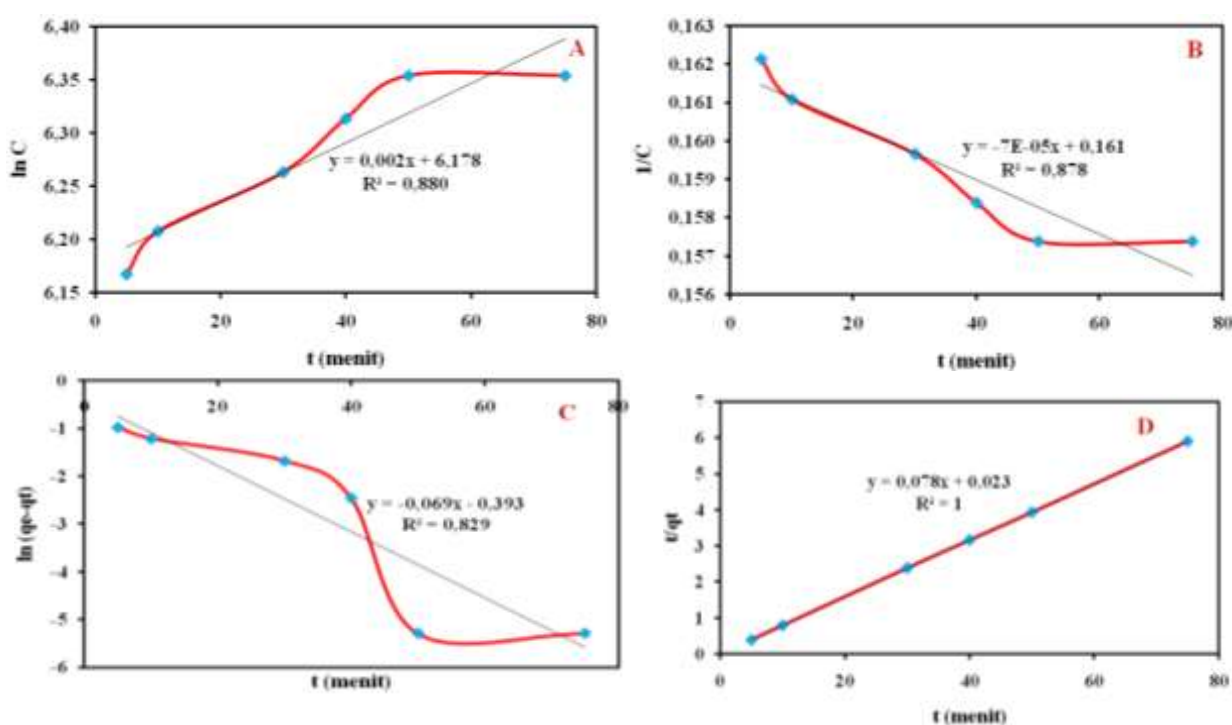
diperoleh nilai $7 \times 10^{-5} \text{ L mol}^{-1} \text{ menit}^{-1}$ yang berarti setiap satu menit proses adsorpsi berlangsung maka akan terjadi penyerapan sebesar 7×10^{-5} liter mol^{-1} adsorbat. Kinetika adsorpsi pseudo orde satu diperoleh konstanta adsorpsi 0,069 menit^{-1} yang berarti bahwa terjadi penyerapan MB sebesar 0,069 bagian per satu menit. Kinetika adsorpsi pseudo orde dua memiliki konstanta adsorpsi senilai 2,645 $\text{g mg}^{-1} \text{ menit}^{-1}$ yang berarti bahwa setiap satu menit berlangsungnya proses adsorpsi maka akan terjadi penyerapan sebesar 2,645 g adsorbat per mg adsorben. Berdasarkan nilai R^2 pada Tabel 2, maka dapat dijelaskan bahwa proses adsorpsi MB oleh BSLA terjadi menurut kinetika adsorpsi pseudo orde dua karena memiliki nilai R^2 paling mendekati satu atau satu, sedangkan 3 model kinetika adsorpsi yang lain bernilai < 1 .

Pengaruh konsentrasi metilen biru

Berdasarkan data penelitian yang tersaji pada Gambar 12, terlihat bahwa kapasitas adsorpsi tertinggi terjadi pada konsentrasi awal adsorbat 50 ppm dengan persentase adsorpsi sebesar 99,99% dan kapasitas adsorpsi (q_e) sebesar 99,99 mg g^{-1} . Kenaikan persentase serapan terjadi dari konsentrasi 5, 10, 20 dan 30 ppm, disebabkan oleh adanya situs aktif yang kosong yang dimiliki oleh BSLA, ketika konsentrasi yang digunakan adalah 60, 75 dan 90 ppm terlihat konstan dan tidak terjadi perubahan jumlah adsorpsi. Hal ini dikarenakan telah tercapai kesetimbangan antara jumlah situs aktif dan MB. Dapat dijelaskan pula bahwa pada kondisi kesetimbangan permukaan adsorben sudah tertutup oleh lapisan MB. Terdapat kecenderungan peningkatan adsorpsi pada konsentrasi rendah ke konsentrasi tinggi karena adanya peluang interaksi antara paserial positif pada MB dan situs aktif elektronegatif pada BSLA. Peluang interaksi akan terus terjadi hingga saat dimana situs aktif sudah tertutup oleh molekul adsorbat.

Tabel 2. Data Perhitungan Kinetika Adsorpsi MB oleh BSLA

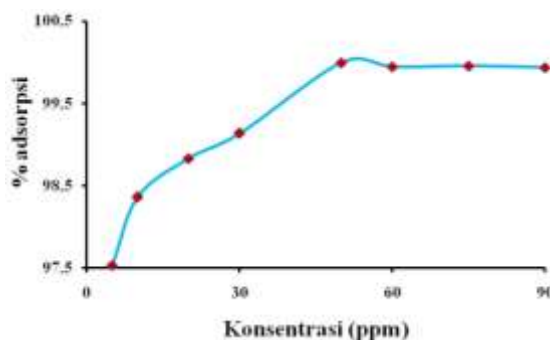
Model kinetika	Plot grafik	Satuan	Konstanta	R ²
Orde satu	$t \text{ vs } \ln C_e$	menit ⁻¹	0,02	0,880
Orde dua	$t \text{ vs } \frac{1}{C_e}$	L mol ⁻¹ menit ⁻¹	7 x 10 ⁻⁵	0,878
Pseudo orde satu	$t \text{ vs } \ln (q_e - q_t)$	menit ⁻¹	0,069	0,829
Pseudo orde dua	$t \text{ vs } \frac{t}{qt}$	g mg ⁻¹ menit ⁻¹	2,645	1



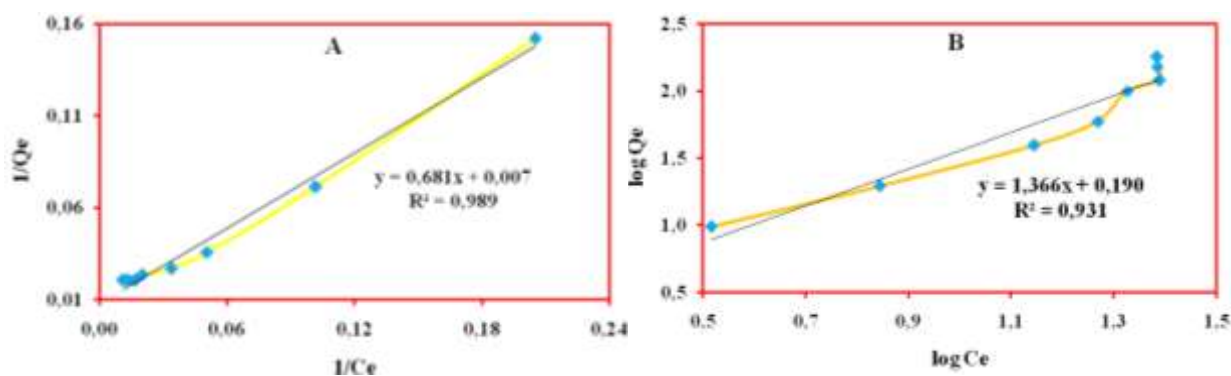
Gambar 11. Kurva kinetika adsorpsi; A) orde satu, B) orde dua, C) pseudo orde satu, D) pseudo orde dua

Setelah diperoleh data variasi konsentrasi adsorpsi MB oleh BSLA kemudian ditentukan model isotermal adsorpsi yang paling sesuai untuk penelitian ini. Penentuan isotermal adsorpsi yang dianalisis yaitu isotermal adsorpsi Langmuir dan Freundlich. Data grafik isotermal adsorpsi ditampilkan pada Gambar 13 sedangkan nilai parameter untuk tiap model isotermal adsorpsi tersaji pada Tabel 3. Berdasarkan data Tabel 3

dapat dijelaskan bahwa isotermal adsorpsi MB pada BSLA terjadi menurut isotermal Freundlich. Berbeda dengan dua penelitian terdahulu yang menggunakan sabut buah lontar [19] dan sabut buah lontar teraktivasi basa (KOH) [11] untuk adsorpsi MB, diketahui isotermal adsorpsi yang diperoleh terjadi menurut Langmuir sedangkan penelitian ini, ketika sabut buah lontar diaktivasi asam maka isotermal adsorpsi terjadi menurut isotermal Freundlich. Hal



Gambar 12. Pengaruh konsentrasi metilen biru terhadap kapasitas adsorpsi



Gambar 13. Grafik isoterm adsorpsi; A) Langmuir, dan B) Freundlich

ini diduga bahwa ketika aktivasi asam dilakukan, terjadi kerusakan pada situs aktif biosorben sehingga interaksi kimia yang terjadi antara situs aktif pada BSLA dan MB berkurang. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi yang terjadi bersifat multilayer karena adsorbat terperangkap dalam pori-pori adsorben sehingga memungkinkan interaksi kedua komponen bersifat lemah. Selain itu isotermal Freundlich mengindikasikan bahwa adsorpsi monolayer tidak tergantung pada konsentrasi adsorbat [48].

Tabel 3. Nilai Parameter Isotermal Adsorpsi MB pada BSLA

Model isotermal	Parameter
Langmuir	$R^2 = 0,989$ $Q_{\max} = 142,85$ mg g^{-1} $Kl = 3,29 \text{ L mg}^{-1}$
Freundlich	$R^2 = 1$ $n = 1$ $Kf = 1,3 \text{ L mg}^{-1}$

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sabut buah lontar yang teraktivasi asam sulfat dapat digunakan sebagai adsorben azt warna kationik, metilen biru. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi optimum adsorpsi metilen biru terjadi pada pH 7 dengan waktu kontak optimum adalah 50 menit dan konsentrasi awal larutan 50 ppm. Kapasitas adsorpsi maksimum diperoleh sebesar 99,99% dan 99,99 mg g^{-1} . Kinetika reaksi adsorpsi yang terjadi pada penelitian ini yaitu kinetika pseudo orde 2 dan isotermal adsorpsi yang terjadi pada adsorpsi MB oleh BSLA adalah isotermal Freundlich yang mengindikasikan bahwa proses adsorpsi terjadi secara *multilayer*.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang mendukung penelitian, khususnya para dosen Program Studi Pendidikan Kimia yang telah membimbing

penulis hingga menyelesaikan penelitian dan tulisan ini serta untuk Lab. Pendidikan Kimia Universitas Katolik Widya Mandira yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Saxena, M. Bhardwaj, T. Allen, S. Kumar, and R. Sahney. Adsorption of heavy metals from wastewater using agricultural–industrial wastes as biosorbents. *Water Science*, 2017, 31(2), 189–197, doi: 10.1016/j.wsj.2017.09.002.
- [2] J. N. Naat. Adsorpsi Ion Pb(II) Menggunakan Silika Berbasis Pasir Alam Takari-NTT. *KOVALEN Jurnal Riset Kimia*, 2022, 8 (3), 266 - 279 doi: 10.22487/kovalen.2022.v8.i3.16143.
- [3] D. N. A. Rusdiyana, A. E. Purnamawati, D. H. Astuti, and S. Sani. Penentuan Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Adsorpsi Logam Cu(II) di Air Limbah Elektroplating Dengan Silika dari Abu Vulkanik Gunung Bromo. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 2023, 8(2), 83 - 88 doi: 10.31942/inteka.v8i2.8071.
- [4] 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*, 2019, 3(2), 275–290 doi: 10.1016/j.biori.2019.09.001.
- [5] Markandeya, D. Mohan, and S. P. Shukla. Hazardous consequences of textile mill effluents on soil and their remediation approaches. *Cleaner Engineering and Technology*, 2022, 7, 100434 doi: 10.1016/j.clet.2022.100434.
- [6] E. S. Ngankam, L. Dai-Yang, B. Debina, A. Baçaoui, A. Yaacoubi, and A. N. Rahman. Preparation and Characterization of Magnetic Banana Peels Biochar for Fenton Degradation of Methylene Blue. *Materials Sciences and Applications*, 2020, 11(6), 382-400 doi: 10.4236/msa.2020.116026.
- [7] U. Sulaeman, B. I. Ulumuddin, R. Andreas, I. Irmanto, and P. Iswanto. Adsorption of Rhodamine B on Spherical Activated Carbon synthesized from Waste Bagasse Liquid using Hydrothermal Process. *Molekul*, 2023, 18(1), 1-10 doi: 10.20884/1.jm.2023.18.1.5510.
- [8] D. Umaningrum, R. Nurmasari, U. T. Santoso, M. D. Astuti, and H. T. Pradita. Adsorption of Congo Red onto Humic Acid Isolated from Peat Soil Gambut Regency, South Kalimantan. *Molekul*, 2023, 18(2), 330-338 doi: 10.20884/1.jm.2023.18.2.8685.
- [9] N. M. Hosny, I. Gomaa, and M. G. Elmahgary. Adsorption of polluted dyes from water by transition metal oxides: A review. *Applied Surface Science Advances*, 2023, 15, 100395 doi: 10.1016/j.apsadv.2023.100395.
- [10] S. Z. Aisyahlika, M. L. Firdaus, and R. Elvia. Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Cangkang Bintaro (Cerbera odollam) Terhadap Zat Warna Sintesis Reactive Red-120 dan Reactive Blue-198. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, 2028, 2(2), 148-155 doi: 10.33369/atp.v2i2.7483.
- [11] Y. D. Ninu and A. B. Baunsele. Studi Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Biosorben Sabut Buah Siwalan Teraktivasi Kalium Hidroksida. *SPIN*, 2023, 5(1), 50-66 doi: 10.20414/spin.v5i1.6807.
- [12] P. Staroń, J. Chwastowski, and M. Banach. Sorption behavior of methylene blue from aqueous solution by raphia fibers. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 2019, 16(1)2, 8449–8460 doi: 10.1007/s13762-019-02446-9.
- [13] P. O. Oladoye, T. O. Ajiboye, E. O. Omotola, and O. J. Oyewola. Methylene blue dye: Toxicity and potential elimination technology from wastewater. *Results in Engineering*, 2022, 16, 100678

- doi: 10.1016/j.rineng.2022.100678.
- [14] M. Kumar S., Supraja. N, and David. E. Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Using Silver Nanoparticles Synthesized from *Gymnema Sylvestre* and Antimicrobial Assay. *Novel Research in Science*, 2019, 2(2), 1-7
doi: 10.31031/NRS.2019.02.000532.
- [15] O. Długosz, K. Szostak, M. Krupiński, and M. Banach. Synthesis of Fe₃O₄/ZnO nanoparticles and their application for the photodegradation of anionic and cationic dyes. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 2021, 18(3), 561–574
doi: 10.1007/s13762-020-02852-4.
- [16] Y. N. Teixeira, F. J. De Paula Filho, V. P. Bacurau, J. M. C. Menezes, A. Zhong Fan, and R. P. F. Melo, “Removal of Methylene Blue from a synthetic effluent by ionic flocculation,” *Heliyon*, 2022, 8(10), e10868
doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10868.
- [17] A. Talaiekhazani, 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*, 2020, 59(2), 549–563,
doi: 10.1016/j.aej.2020.01.052.
- [18] Riyanto and M. Mawazi. Electrochemical Degradation of Methylene Blue Using Carbon Composite Electrode (C-PVC) in Sodium Chloride. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 2015, 8(11), 31–40
- [19] T. E. Banamtuan, A. B. Baunsele, and A. M. Kopon. Studi Adsorpsi Metilen Biru Memanfaatkan Sabut Buah Lontar. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 2023, 8(2), 108-116
doi: 10.31942/inteka.v8i2.8065.
- [20] S. T. Nipa, N.R. Shefa, S. Parvin, M. A. Khatun, M. J. Alam., S. Chowdhury, M. A. R., Khan, S. M. A. Z. Shawon, B. K., Biswas., M.W. Rahman. Adsorption of methylene blue on papaya bark fiber: Equilibrium, isotherm and kinetic perspectives. *Results in Engineering*, 2023, 17, 100857
doi: 10.1016/j.rineng.2022.100857.
- [21] A. Ahmad, D. Jini, M. Aravind, C. Parvathiraja, R. Ali, M. Z. Kiyani, A., Alothman. A novel study on synthesis of egg shell based activated carbon for degradation of methylene blue via photocatalysis. *Arabian Journal of Chemistry*, 2020, 13(12), 8717–8722,
doi: 10.1016/j.arabjc.2020.10.002.
- [22] A. B. Baunsele and H.- Missa. Langmuir and Freundlich Equation Test on Methylene Blue Adsorption by Using Coconut Fiber Biosorbent. *Walisongo Journal of Chemistry*, 2021, 4(2), 131–138
doi: 10.21580/wjc.v4i2.8941.
- [23] H. Febriani, D. J. Puspitasari, Ruslan, and H. Sosidi. Adsorpsi Ion Logam Cu (II) Menggunakan Biomassa Daun Genjer (*Limnocharis flava*): Adsorption of Cu (II) Ions by Biomass of Genjer Leaves (*Limnocharis flava*). *Kovalen*, 2021, 7(2), 131–136,
doi: 10.22487/kovalen.2021.v7.i2.14009.
- [24] C. Wulandari, F. H. Sofia, and K. Udyani. Pengolahan Limbah Cair Pembuatan Sarung Tenun Menggunakan Biosorben Tongkol Jagung Teraktivasi HNO₃. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN)*, 3, 2020.
- [25] H. S. Kusuma, U.O. Aigbe, K. E. Ukhurebor, R. B. Onyancha, B. Okundaye, I. Simbi, O. M. Ama, H. Darmokoesoemo, B. A. Widyaningrum, O. A., Osibote, V. A. Balogun. Biosorption of Methylene blue using clove leaves waste modified with sodium hydroxide. *Results in Chemistry*, 2023, 5, 100778
doi: 10.1016/j.rechem.2023.100778.
- [26] I. Irdhawati, A. Andini, M. Arsa. Daya Serap Kulit Kacang Tanah Teraktivasi

- Asam Basa Dalam Menyerap Ion Fosfat Secara Bath Dengan Metode Bath. *Jurnal Kimia Riset*, 2016, 1(1), 52 - 57
- [27] 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*, 2023, 16(2), 104480, doi: 10.1016/j.arabjc.2022.104480.
- [28] 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.*, 2022, 10(2), 110–116, doi: 10.30598//ijcr.2022.10-ans.
- [29] C. Chen, Y. Fu, L. Yu, J. Li, and D. Li. Removal of methylene blue by seed-watermelon pulp-based low-cost adsorbent: Study of adsorption isotherms and kinetic models. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 2017, 38(8), 1142–1146 doi: 10.1080/01932691.2016.1225263.
- [30] I. Carrillo-Varela, R. T. Mendonça, M. Pereira, P. Reyes-Contreras, and D. Contreras. Methylene blue adsorption onto hydrogels made from different Eucalyptus dissolving pulps. *Cellulose*, 2022, 29(1), 445–468 doi: 10.1007/s10570-021-04301-y.
- [31] A. N. M. A. Haque, R. Remadevi, O. J. Rojas, X. Wang, and M. Naebe. Kinetics and equilibrium adsorption of methylene blue onto cotton gin trash bioadsorbents. *Cellulose*, 2020, 27(11), 6485–6504 doi: 10.1007/s10570-020-03238-y.
- [32] H. Mittal, A. Al Alili, and S. M. Alhassan. High efficiency removal of methylene blue dye using κ -carrageenan-poly(acrylamide-co-methacrylic acid)/AQSOA-Z05 zeolite hydrogel composites. *Cellulose*, 2020 27(14), 8269–8285 doi: 10.1007/s10570-020-03365-6.
- [33] E. Yulianti, R. Mahmudah, and I. Royana. Pemanfaatan Biosorbent Batang Jagung Teraktivasi Asam Nitrat dan Asam Sulfat untuk Penurunan Angka Peroksida – Asam Lemak Bebas Minyak Goreng Bekas. *Alchemy Journal of Chemistry*, 2016, 5(1), 10 - 18 doi: 10.18860/al.v5i1.3685.
- [34] A. B. Baunsele, E. G. Boelan, A. M. Kopon, M. M. Taek, G. D. Tukan, and H. Missa. Penggunaan Sabut Kelapa Teraktivasi NaOH sebagai Adsorbent Metilen Biru: Utilization of Coconut Fiber NaOH-Activated as Blue Methylene Adsorbent. *Kovalen*, 2023, 9(1), 43–54 doi: 10.22487/kovalen.2023.v9.i1.16274.
- [35] D. Pathania, S. Sharma, and P. Singh. Removal of methylene blue by adsorption onto activated carbon developed from Ficus carica bast. *Arabian Journal of Chemistry*, 2017, 10, S1445–S1451 doi: 10.1016/j.arabjc.2013.04.021.
- [36] Siswarni Mz, Lara Indra Ranita, and Dandri Safitri. Pembuatan Biosorbent dari Biji Pepaya (*Carica papaya* L) Untuk Penyerapan Zat Warna. *J. Teknik Kimia*, 2017, 6(2), 7–13 doi: 10.32734/jtk.v6i2.1576.
- [37] J. K. Singh, A. K. Rout, and K. Kumari. A review on Borassus flabellifer lignocellulose fiber reinforced polymer composites. *Carbohydrate Polymers*, 2021, 262, 1–13
- [38] C. N. Fariha, A. Setiawan, and T. A. Ramadani. Karakterisasi Sabut Siwalan (*Borassus flabellifer*) dan Kulit Pisang Raja (*Musa paradisiaca* var. Raja) dalam Proses Produksi Bioetanol. *Prosiding Sentikuin*, vol. 3, 2020.
- [39] M. Reno Manikin, S. Ceunfin, Y. P. E. S., Agu. Pengaruh Modifikasi Tinggi Sok Penyulingan dan Jenis Bunga Lontar (*Borassus flabellifer* L.) Terhadap Kualitas Produk Sopi Timor (The effect of refineries elevation and palm (*Borassus flabellifer*L.) flower

- types on the quality of Timor Sopi Products). *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 2021, 5(2), 132–143
doi: 10.20886/jpkf.2021.5.2.132-143.
- [40] T. A. Bangun, T. A. Zaharah, and A. Shofiyani. Pembuatan Arang Aktif dari Cangkang Buah Karet Untuk Adsorpsi Ion Besi (II) Dalam Larutan. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 2016, 5(3), 18 - 24
- [41] I. W. Sudiarta, N. P. Diantariani, D. A., Yulihastuti. Biosorpsi Cr(III) pada Biosorbent Serat Sabut Kelapa Hijau Teraktivasi Asam Nitrat. *Chemistry Progress*, 2012, 5(1), 25 - 30
- [42] I. W. Sudiarta, A. D A. . Prameswari, I. M. Suthanegara. Biosorpsi Cr(III) Oleh Biosorbent Kulit Kapuk (Ceiba pentandra (L.) Gaertn) Teraktivasi Asam Nitrat. *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry)*, 2022, 16(1), 93–100
doi: 10.24843/JCHEM.2022.v16.i01.p12.
- [43] D. Hermanto, M. Mudasir, D. Siswanta, B. Kuswandi. Synthesis of Alginate-Chitosan Polyelectrolyte Complex (PEC) Membrane and Its Physical-Mechanical Properties. *J. Kim. Sains Apl.*, 2019, 22(1), 11–16
doi: 10.14710/jksa.22.1.11-16.
- [44] A. B. Baunsele and H. Missa. Kajian Kinetika Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Adsorben Sabut Kelapa. *Akta Kimia Indonesia*, 2020, 5(2), 76 - 85
doi: 10.12962/j25493736.v5i2.7791.
- [45] N. Alsubaie, R. Alshamrani, D. Domyati, N. Alahmadi, and F. Bannani. Methylene Blue Dye Adsorption onto Polyoxometalate Ionic Liquid Supported on Bentonite: Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic Studies. *Open Journal of Physical Chemistry*, 2021, 11(2), 106 - 127
doi: 10.4236/ojpc.2021.112006.
- [46] T. Huda and T. K. Yulitaningtyas. Kajian Adsorpsi Methylene Blue Menggunakan Selulosa dari Alang-Alang. *Indonesian Journal of Chemical Analysis (IJCA)*, 2018, 1(1), 9–19
- [47] H. M. Haili, S. Sulistiyana, and E. M. Jayadi. Pemanfaatan Limbah Kulit Bawang Merah (*Allium cepa* L.) dan Ampas Tebu (*Sugarcane bagasse*) sebagai Adsorben pada Pemurnian Minyak Jelantah. *al Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, 2021, 8(1), 28 - 36
doi: 10.15575/ak.v8i1.11685.
- [48] N. S. S. Miri and Narimo. Review : Equation Study of Langmuir and Freundlich Isotherms on Adsorption of Heavy Metal Fe (II) with Zeolite and Activated Carbon from Biomass: Review : Kajian Persamaan Isoterm Langmuir dan Freundlich pada Adsorpsi Logam Berat Fe (II) dengan Zeolit dan Karbon Aktif dari Biomassa. *J.Kireka*, 2022, 2(2), 58–71
doi: 10.31001/jkireka.v2i2.36.