



**STUDI ADSORPSI METILEN BIRU MENGGUNAKAN BIOSORBEN SABUT
BUAH SIWALAN TERAKTIVASI KALIUM HIDROKSIDA**
*STUDY OF METHYLENE BLUE ADSORPTION USING SIWALAN FIBER BIOSORBENT ACTIVATED BY
POTASSIUM HYDROXIDE*

Yoaclina D. Ninu¹, Anselmus Boy Baunsele^{2*}

^{1,2}Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Katolik Widya Mandira, Kupang, NTT.

DOI: 10.20414/spin.v5i1.6807

History Article

Accepted:
February 14, 2023

reviewed:
June 02, 2023

Published:
June 30, 2023

Kata Kunci:
adsorpsi, isotermal,
kinetika, metilen biru,
siwalan

Keywords:
*adsorption, borassus
flabellifer L.,
isotherm, kinetic,
methylene blue*

© 2023 CC:BY

ABSTRAK

Penelitian ini melaporkan tentang adsorpsi metilen biru memanfaatkan sabut buah siwalan teraktivasi KOH. Aktivasi menggunakan KOH untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi. Sabut buah siwalan dipreparasi menggunakan variasi ukuran partikel 80, 100 dan 120 mesh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran partikel adsorben 100 mesh memiliki kapasitas adsorpsi tertinggi. Parameter adsorpsi metilen biru yang diuji diantaranya pH, waktu kontak, dan variasi konsentrasi. Hasil yang diperoleh secara berturut-turut yaitu pH 7, waktu kontak optimum 75 menit dan konsentrasi maksimum 60 ppm. Model kinetika adsorpsi yang sesuai untuk adsorpsi metilen biru menggunakan sabut buah siwalan teraktivasi basa yaitu pseudo orde dua dengan nilai $R^2=0,999$. Sedangkan isotermal adsorpsi yang sesuai adalah model isotermal Langmuir, yang berarti bahwa adsorpsi terjadi secara kimia dan menyebabkan pembentukan monolayer pada permukaan adsorben. Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa sabut buah siwalan dapat dijadikan sebagai adsorben metilen biru.

ABSTRACT

This study reports the adsorption of methylene blue using KOH-activated siwalan fruit coir. The KOH activated to increase the adsorption capacity. The Siwalan fruit coir was prepared using a variation of particle sizes of 80, 100 and 120 mesh. The results showed that the highest adsorption capacity of adsorbent by 100 mesh particle size. Parameters of methylene blue adsorption tested included pH, contact time, and variations in concentration. The results obtained were pH 7, 75 minutes and 60 ppm respectively. The adsorption kinetics model for the adsorption of methylene blue using base-activated siwalan fruit coir according to the pseudo second order with a value of $R^2=0.999$. The adsorption isotherms occur according to Langmuir isothermal model, that means adsorption chemically and causes the formation of a monolayer on the surface of the adsorbent. Based on the results of the study, it can be concluded that siwalan coir can be used as an adsorbent for methylene blue.

How to Cite

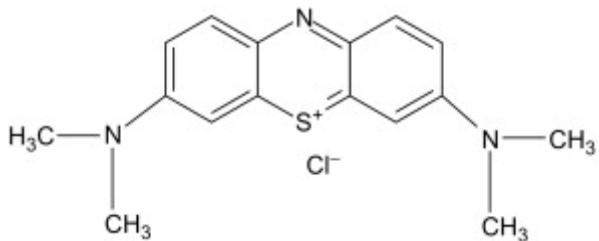
Ninu, Y. D., & Baunsele, A. B. (2023) Studi Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Biosorben Sabut Buah Siwalan Teraktivasi Kalium Hidroksida. *SPIN-Jurnal Kimia & Pendidikan Kimia*. 5(1). 50-66.

*Correspondence Author:
Email: boybaunsele@gmail.com

PENDAHULUAN

Peningkatan populasi dan aktivitas industri menyebabkan berbagai permasalahan di lingkungan. Bertambahnya jumlah fasilitas industri menyebabkan berkurangnya lahan untuk pertanian (Niandyti, dkk., 2019). Pemasalahan lain yang disebabkan oleh pertumbuhan jumlah industri yaitu adanya permasalahan banjir akibat kurangnya area resapan air dan pencemaran lingkungan diantaranya polusi tanah, suara, udara dan air (Ainuurrahmah dan Sudarti, 2021). Pencemaran lingkungan akuatik dapat disebabkan oleh dua polutan yang berbahaya diantaranya logam berat dan zat warna. Permasalahan kesehatan yang dialami oleh manusia jika terpapar akumulasi logam berat diantaranya keterbelakangan mental, kanker, gangguan pada ginjal, gangguan endokrin dan efek neurologis (Mahurpawar, 2015). Berbagai zat warna sintetis memiliki dampak negatif bagi manusia karena beracun dan bersifat karsinogenik, sehingga menyebabkan

kanker, selain itu ada gejala iritasi kulit, gangguan pernapasan, gejala asma dan dermatitis (Akarslan dan Demiralay, 2015), (Hassaan, dkk., 2017). Salah satu jenis zat warna tekstil yang banyak digunakan yaitu metilen biru. Metilen biru merupakan zat warna kationik yang memiliki rumus molekul $C_{16}H_{18}N_3SCl$ yang ditunjukkan pada Gambar 1. Penggunaan metilen biru sebagai obat untuk perawatan vasoplegia pasca operasi transplantasi dan obat untuk neutralisasi herapin adalah fungsi lain metilen biru selain sebagai pewarna tekstil. Walau memiliki manfaat positif, namun efek negatif metilen biru adalah dapat menyebabkan sianosis, nekrosis jaringan, pembentukan tubuh Heinz, mual, muntah, penyakit kuning bahkan dapat meningkatkan denyut jantung. Bagi tumbuhan, metilen biru dapat menyebabkan pertumbuhan menjadi lambat, mengurangi kandungan zat warna dan mereduksi kandungan protein pada alga (Oladoye, dkk., 2022).



Gambar 1. Struktur molekul metilen biru

Upaya penanggulangan pencemaran lingkungan akibat limbah zat warna telah banyak dikembangkan. Penggunaan komposit karbon (C-PVC) sebagai elektroda melalui metode elektrolisis dilaporkan mampu untuk mendegradasi limbah zat warna (Riyanto, 2019). Elektroflotasi merupakan metode pemisahan polutan dalam cairan dengan cara mengapungkan polutan ke permukaan campuran. Elektroflotasi dikatakan mampu mengurangi jumlah polutan zat warna

(Haryono, dkk., 2018). Metode fotokatalitik sering digunakan untuk mengurangi polutan di air dengan memanfaatkan katalis TiO_2 dan sinar ultra violet untuk proses degradasi zat warna (dkk., 2014), (Erwanto, dkk., 2020), (Naimah, dkk., 2014). Metode lain yang sering digunakan untuk mengurangi jumlah polutan zat warna di lingkungan akuatik yaitu metode adsorpsi. Metode adsorpsi memiliki kemudahan dalam pengeraannya, biaya yang dikeluarkan

tergolong murah, dan desain penggerjaan sederhana (Akporie, dkk., 2015).

Adsorpsi dapat dilakukan menggunakan adsorben limbah bahan alam atau hasil sintesis. Adsorben yang disintesis misalnya nanofiber kombinasi PVA dan ZnO (Hallaji, dkk., 2015), sedangkan adsorben dari bahan alam misalnya sabut kelapa (Baunsele dan Missa, 2020). Bahan alam yang dijadikan sebagai adsorben disebut sebagai biosorben, memiliki kelimpahan yang tinggi di alam (Bagda, dkk., 2017). Berbagai bahan alam yang telah digunakan untuk adsorpsi metilen biru diantaranya limbah tumbuhan mint (Ainane, dkk., 2014), kulit buah tin (Pathania, dkk., 2017), karbon aktif (Khuluk, dkk., 2019), (Geçgel, dkk., 2013), kulit kacang (Lim, dkk., 2017), limbah daun cengkeh (Kusuma, dkk., 2023), limbah kulit buah pisang (Fitriani, dkk., 2015), rumput laut (Daneshvar, dkk., 2017) dan kulit buah persik (Markovi, dkk., 2015).

Bahan alam yang cukup melimpah di Provinsi Nusa Tenggara Timur adalah tumbuhan siwalan atau siwalan. Tumbuhan ini tumbuh berkelompok sehingga jumlah populasinya tinggi dan mampu bertahan hidup di daerah tropis maupun di daerah yang tandus. Tumbuhan ini bersifat multifungsi karena semua bagian tumbuhan tersebut memiliki manfaat bagi masyarakat (Sancayaningsih, dkk., 2016). Pemanfaatan lain siwalan diantaranya sebagai bahan dasar pembuatan alkohol dengan memanfaatkan nira siwalan (Ceunfin, 2021), limbah kulit sebagai bahan dasar pembuatan briket (Chofifa, dkk., 2021), arang aktif sabut siwalan sebagai adsorben logam timbal (Rahmawati dan Yuanita, 2013) dan batok siwalan yang bisa dijadikan sebagai bahan baku kerajinan lokal (Apriyanti, 2018). Menurut Solo, dkk., (2018), sabut buah siwalan mengandung selulosa yang

memiliki gugus fungsional parsial negatif sehingga mampu berinteraksi dengan kation. Hal ini menjadi dasar dilakukannya penelitian ini, dimana sabut buah siwalan akan diaktivasi menggunakan aktivator basa kalium hidroksida, kemudian dijadikan sebagai biosorben untuk adsorpsi metilen biru. Tujuan aktivasi dengan KOH adalah untuk menghilangkan berbagai pengotor di biosorben serta membantu memperbesar pori-pori biosorben sehingga mampu meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap metilen biru (Nurfitria, dkk., 2019).

METODE

Alat dan Bahan

Bahan dan Peralatan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini akuades, sabut buah siwalan, metilen biru (Merck), HNO₃ (Merck, 65%), NaOH (Merck, 99%), dan HCl (Merck, 37%).

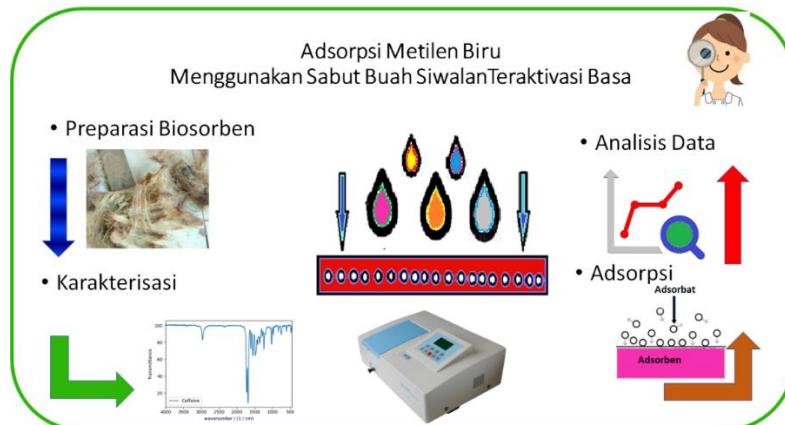
Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas (duran dan pirex), tisu dan kertas saring (*whatman* 150 mm), *magnetic stirer*, mortar, cawan porselin, neraca analitik, ayakan 80, 100 dan 120 mesh, spektrofotometer UV-Vis (*Thermos Scientific*), Oven (*Memmert Universal UNB 400*), pH Meter (*Hanna instrument*) dan instrumen FTIR (*Shimadzu*).

Preparasi Bioserben

Sabut buah siwalan diambil dan dibersihkan, dilanjutkan dengan memisahkan serat sabut buah siwalan dari kulit buahnya. Serat kasar yang telah diperoleh lalu dihaluskan menggunakan lumpang atau mortar. Serat halus yang diperoleh selanjutnya diayak menggunakan ayakan berukuran 80, 100 dan 120 Mesh. Serbuk halus yang telah diayak selanjutnya dicuci dengan akuades hingga bersih dan dikeringkan. Sampel kering diaktivasi menggunakan larutan KOH berkonsentrasi

1,5 M selama 24 jam. Setelah itu, disaring dan dicuci sambil diukur pH hingga pH campuran netral. Residu kemudian dikeringkan dengan pada suhu kamar

dengan diangin-anginkan. Setelah kering, biosorben sabut buah siwalan teraktivasi basa (BSB) siap digunakan sebagai biosorben untuk adsorpsi metilen biru (MB)



Gambar 2. Alur kerja adsorpsi MB pada BSB

Preparasi Bioserben

Sabut buah siwalan diambil dan dibersihkan, dilanjutkan dengan memisahkan serat sabut buah siwalan dari kulit buahnya. Serat kasar yang telah diperoleh lalu dihaluskan menggunakan lumpang atau mortar. Serat halus yang diperoleh selanjutnya diayak menggunakan ayakan berukuran 80, 100 dan 120 Mesh. Serbuk halus yang telah diayak selanjutnya dicuci dengan akuades hingga bersih dan dikeringkan. Sampel kering diaktivasi menggunakan larutan KOH berkonsentrasi 1,5 M selama 24 jam. Setelah itu, disaring dan dicuci sambil diukur pH hingga pH campuran netral. Residu kemudian dikeringkan dengan pada suhu kamar dengan diangin-anginkan. Setelah kering, biosorben sabut buah siwalan teraktivasi basa (BSB) siap digunakan sebagai biosorben untuk adsorpsi metilen biru (MB).

Karakterisasi Biosorben

Karakterisasi terhadap biosorben BSB menggunakan instrumen FTIR. Sampel BSB dianalisis menggunakan FTIR untuk mengetahui kandungan gugus fungsional atau situs aktif yang terdapat dalam BSB. Setelah data gugus aktif diperoleh maka akan dapat dijelaskan mengenai interaksi

elektrotatis yang dapat terjadi antara BSB dan MB. Biosorben sabut buah siwalan teraktivasi basa yang telah dihasilkan kemudian diuji daya serap air.

Pengujian daya serap air dilakukan dengan cara diambil sebanyak 0,1 g dan dimasukan kedalam 6 wadah berisi masing-masing 20 mL akuades kemudian direndam dengan variasi waktu 0,5; 1; 3; 4; 6; dan 10 jam. Dengan memperhitungkan massa wadah maka dapat ditentukan besaran persentase daya serap air yang dimiliki adsorben.

Pembuatan Larutan dan Penentuan Kurva Kalibrasi

Larutan stok (MB) dibuat dengan menimbang 100 mg serbuk metilen biru kemudian secara perlahan dilarutkan dalam gelas kimia. Larutan dimasukkan ke dalam labu ukur bervolume 1L sambil ditambahkan akuades sedikit demi sedikit hingga mencapai tanda batas. Larutan kemudian dikocok hingga larutan menjadi homogen. Larutan yang dihasilkan ini adalah baku metilen biru 100 ppm. Larutan MB 5 ppm dibuat dengan mengencerkan larutan baku MB 100 ppm sesuai dengan kebutuhan kemudian digunakan untuk menentukan panjang gelombang serapan maksimum menggunakan spektrofotometer

UV-Vis. Variasi panjang gelombang yang digunakan adalah 500-700 nm. Kurva kalibrasi ditentukan dengan membuat plot garis konsentrasi versus absorbansi. Variasi konsentrasi yang digunakan yaitu 1, 2, 3, 4, dan 5 ppm. Persamaan garis linear yang diperoleh akan digunakan untuk menentukan parameter uji adsorpsi selanjutnya.

Penentuan Luas Permukaan Optimum

Luas permukaan optimum dari BSB dilakukan dengan menyiapkan 3 buah labu erlenmeyer berukuran 100 mL. Selanjutnya ke dalam masing-masing labu erlenmeyer dimasukkan larutan metilen biru 10 ppm sebanyak 20 mL dan ditambahkan masing-masing wadah 0,1 gram BSB dengan ukuran 80, 100 dan 120 mesh. Setelah bercampur maka dilakukan pengocokan selama 60 menit. Hasil dari masing-masing luas permukaan akan disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan filtratnya. Kemudian filtrat masing-masing luas permukaan akan diambil untuk dilakukan pengujian menggunakan alat Spektrofotometri UV-Vis. Data absorbansi yang diperoleh kemudian dihitung konsentrasi adsorpsi maksimum BSB.

Penentuan pH Adsorpsi Maksimum

Sebanyak 1L wadah disiapkan dan dimasukkan masing-masing 20 mL MB 10

$$\% = \frac{Co - Ce}{Co} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan Co adalah konsentrasi awal sebelum adsorpsi dan Ce adalah konsentrasi setelah adsorpsi. Ct merupakan konsentrasi larutan pada saat t , sedangkan v adalah volume MB dan m adalah masa BSB. q adalah kapasitas adsorpsi adsorbat oleh adsorben (mg g^{-1}).

Penentuan Konsentrasi Adsorpsi Maksimum

Sebanyak 9 wadah diisi masing-masing 20 mL larutan MB dengan variasi konsentrasi berturut-turut yaitu 5, 10, 20,

ppm. Setiap wadah diatur pHnya secara berurutan 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10. Selanjutnya ke dalam tiap wadah itu dimasukkan masing-masing 0,1 g BSB dan dikocok selama 60 menit. Setelah 60 menit, filtrat dan residu dipisahkan untuk dianalisis filtratnya menggunakan UV-Vis. Data absorbansi yang diperoleh kemudian ditentukan pH larutan MB dengan kapasitas adsorpsi yang tertinggi.

Penentuan Waktu Kontak Optimum

Larutan MB berkonsentrasi 10 ppm diambil sebanyak 20 mL dan dimasukkan masing-masing ke dalam 9 wadah berbeda. Wadah-wadah yang telah diisi MB kemudian diatur pH larutannya sesuai pH adsorpsi maksimum. Wadah yang telah diisi dengan larutan kemudian ditambahkan masing-masing 0,1 mg BSB dan campuran tersebut dikocok. Proses adsorpsi divariasikan waktu kontaknya berturut-turut yaitu 5, 10, 20, 40, 50, 75, dan 95 menit. Setelah memperoleh data adsorpsi pada variasi waktu kontak, selanjutnya diukur kapasitas MB yang terserap pada BSB, dimana Persamaan 1 untuk mengukur persentase MB terserap (Baunsele & Missa, 2021) dan Persamaan 2 untuk mengukur kapasitas adsorpsi (Arancibia-Miranda, dkk., 2015).

$$q = \frac{(Co - Ct)v}{m} \quad (2)$$

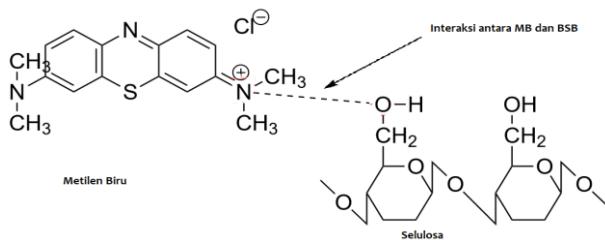
30, 50, 60, 75, 90 dan 100 ppm. Setiap wadah kemudian diatur kondisi larutannya disesuaikan dengan pH optimum. Pada masing-masing wadah dimasukkan sebanyak 0,1 BSB untuk dilakukan reaksi adsorpsi sesuai dengan waktu kontak adsorpsi maksimum. Filtrat dan residu dipisahkan melalui penyaringan. Filtrat dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui konsentrasi zat MB yang terserap pada biosorben.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi biosorben sabut buah siwalan teraktivasi basa

Biosorben merupakan adsorben yang dihasilkan dari komponen bahan organik yang mengandung karbohidrat sehingga dapat menyerap komponen tertentu pada suatu fasa fluida. Komponen padat disebut adsorben sedangkan zat yang hendak diserap oleh adsorben disebut adsorbat (Siswarni, dkk., 2017). Telah dilaporkan pada penelitian terdahulu bahwa kandungan selulosa pada kulit buah siwalan adalah 29,24% dari total massa kulit buah dengan kandungan gugus fungsi C-O, O-H dan C-H (Fariha, dkk., 2020), sehingga dapat dimanfaatkan sebagai biosorben untuk zat warna metilen biru yang bersifat

kationik. Sabut buah siwalan yang telah dibersihkan kemudian diaktivasi menggunakan larutan KOH. Aktivasi basa terhadap biosorben menggunakan KOH bertujuan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap metilen biru. Telah dilaporkan bahwa adsorben karbon aktif dapat mengalami peningkatan luas pori-pori karena zat pengotor yang ada pada karbon aktif menjadi larut dan mampu dihilangkan dengan menggunakan aktivator basa KOH, sehingga kapasitas adsorpsi adsorbat oleh adsorben dikatakan meningkat (Nurfitria, dkk., 2019). Setelah diaktivasi maka BSB diharapkan mampu berinteraksi dengan MB, dengan dugaan interaksi elektrostatik yang terjadi sesuai dengan yang ditampilkan pada Gambar 3.

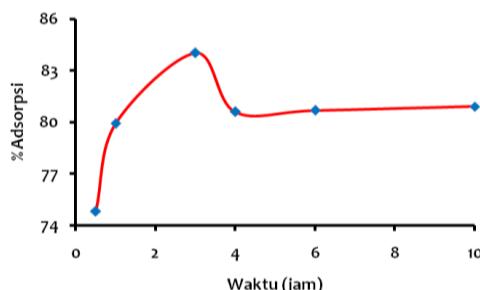


Gambar 3. Interaksi MB dan situs aktif BSB

Karakterisasi Biosorben

Karakterisasi terhadap BSB dilakukan melalui dua cara yaitu analisis daya serap air dan penentuan kandungan gugus fungsional. Kapasitas adsorpsi air yang tersaji pada Gambar 4 bertujuan untuk memberikan informasi terkait kemampuan air terserap ke dalam biosorben. Semakin banyak air terserap maka diduga akan semakin banyak metilen biru terlarut yang ikut terserap oleh biosorben sehingga nilai kapasitas adsorpsi semakin besar. Data pada Gambar 4 menunjukkan bahwa pada waktu perendaman 3 jam, terlihat kapasitas penyerapan air mencapai 84% sedangkan

jika lebih besar dari waktu 3 jam, terlihat ada kondisi persentase serapan air konstan. Hal ini menunjukkan bahwa pori-pori biosorben BSB telah terisi oleh molekul air. Biosorben BSB memiliki kemampuan penyerapan air yang baik sehingga dicurigai akan banyak molekul MB yang ikut tertarik dan berinteraksi dengan gugus aktif pada biosorben. Setelah dilakukan karakterisasi kapasitas penyerapan air, analisis gugus fungsional pada BSB sangatlah penting karena dapat memberi informasi terkait gugus aktif yang berpeluang untuk berinteraksi dengan MB.

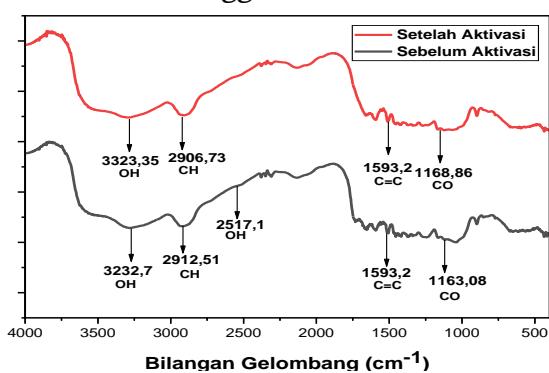


Gambar 4. Grafik daya serap air

Gugus Karakterisasi BSB menggunakan FTIR memperoleh hasil berupa adanya gugus aktif yang terkandung pada sabut buah siwalan. Data yang tersaji pada Gambar 5 menunjukkan adanya gugus –OH berupa vibrasi ikatan hidrogen dari molekul alkohol dan fenol. Vibrasi –OH pada biosorben sebelum aktivasi terjadi pada bilangan gelombang $3232,7\text{ cm}^{-1}$ dan mengalami perubahan vibrasi pada puncak $3323,35\text{ cm}^{-1}$ setelah dilakukan aktivasi. Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa sebelum dan sesudah dilakukan aktivasi basa terlihat terjadi sedikit pergeseran puncak dengan intensitas yang berbeda. Untuk –OH sebelum aktivasi intensitasnya tinggi namun menjadi berkurang setelah dilakukan aktivasi. Masih tentang molekul –OH, sebelum aktivasi muncul puncak pada area serapan $2517,1\text{ cm}^{-1}$ kemudian setelah aktivasi basa tidak tampak puncak pada bilangan gelombang tersebut. Hal ini dicurigai karena –OH yang terdapat pada gugus asam karboksilat mengalami penguraian. Data ini menjadi bukti bahwa melalui proses aktivasi, akan banyak pengotor yang terlarut sehingga

menyebabkan permukaan biosorben menjadi lebih homogen (Hasan, dkk., 2017). Adanya gugus –OH pada sabut buah siwalan inilah yang menyebabkan adanya interaksi elektrostatik antara kation MB dan situs aktif berupa atom oksigen yang bersifat elektronegatif. Fenomena interaksi yang terjadi antara parsial positif pada adsorbat MB dan parsial negatif pada BSB dapat diperhatikan pada Gambar 3.

Gugus C-H alkana tampak pada bilangan gelombang $2906,73\text{ cm}^{-1}$ dan $2912,51\text{ cm}^{-1}$. Gugus C=C aromatik ditunjukkan pada bilangan gelombang $1593,2\text{ cm}^{-1}$. Berdasarkan data pada Gambar 5, gugus C=C tidak mengalami perubahan walaupun adsorben BSB sudah mengalami perendaman menggunakan larutan basa KOH. Puncak yang muncul pada daerah serapan $1163,08\text{ cm}^{-1}$ dan $1168,86\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C-O yang berasal dari alkohol, asam karboksilat dan ester. Tidak ada perbedaan signifikan puncak serapan antara sabut buah siwalan sebelum dan sesudah diaktivasi menggunakan KOH.



Gambar 5. Spektrum FTIR BSB

Optimasi Adsorpsi MB oleh BSB

Kurva kalibrasi yang digunakan pada penelitian ini dihasilkan dengan membuat plot konsentrasi versus absorbansi dengan data yang tertera pada Tabel 1. Persamaan garis lurus yang diperoleh dari plot data

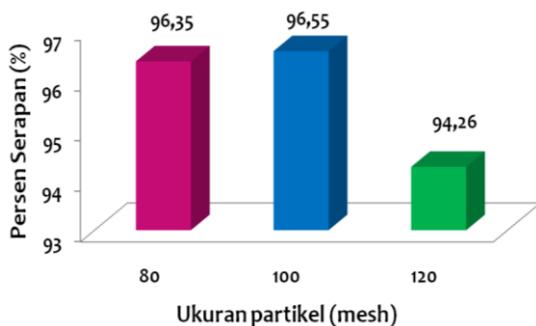
Tabel 1 yaitu $y = 0,123x + 0,067$ dengan nilai R^2 adalah 0,968. Persamaan linear ini kemudian dipakai untuk menentukan parameter penelitian lainnya seperti variasi ukuran partikel adsorben, pH, waktu kontak, dan konsentrasi.

Tabel 1. Data penentuan kurva standar

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0	0,003
1	0,239
2	0,353
3	0,45
4	0,549
5	0,662

Ukuran partikel BSB dianalisis kapasitas adsorpsi maksimumnya menggunakan 3 ukuran yaitu 80, 100 dan 120 mesh. Setelah pengujian MB menggunakan BSB dengan variasi ukuran adsorben, diperoleh data bahwa ukuran BSB 100 mesh memiliki kapasitas adsorpsi terbesar. Hal ini dapat dilihat pada data Gambar 6. Berdasarkan penelitian sebelumnya, dikatakan bahwa ukuran partikel adsorben yang terkecil akan menyebabkan luas permukaan lebih besar, sehingga kontak antara adsorbat dan adsorben akan semakin banyak dan akan banyak adsorbat terserap ke adsorben (Ferama, dkk., 2020). Namun pada penelitian ini, ukuran biosorben BSB 100 mesh mampu menyerap adsorbat dengan jumlah terbanyak. Fenomena ini mirip dengan penelitian yang telah dilaporkan mengenai adsorpsi limbah zat warna

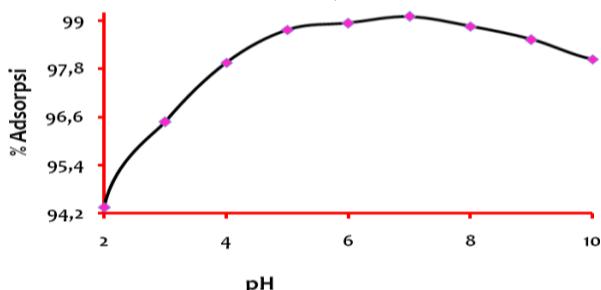
industri menggunakan karbon aktif, dimana adsorpsi terbesar justru dialami oleh adsorben berukuran 20-35 mesh dibandingkan 35-60 mesh (Asih, dkk., 2015). Dugaan terhadap hasil adsorpsi ini karena ukuran molekul partikel BSB yang makin kecil (120 mesh), jika diaktivasi menggunakan KOH akan mengalami kerusakan molekul dan pelarutan terhadap pengotor. Akibatnya banyak selulosa ikut terlarut bersama lignin sehingga situs aktif yang tersedia untuk proses adsorpsi tidak sebanyak jumlah gugus aktif pada MB. Ada hipotesa lain terkait rendahnya kapasitas adsorpsi MB pada BSB berukuran 120 mesh karena luas permukaan dan pori-pori BSB yang semakin besar, memungkinkan ada zat lain yang ikut teradsorpsi ke adsorben sehingga nilai MB yang terserap sedikit dibanding pada 100 mesh.



Gambar 6. Kapasitas adsorpsi MB dengan variasi ukuran BSB

Data ukuran partikel BSB dengan adsorpsi MB terbanyak digunakan untuk menentukan adsorpsi maksimum pada variasi pH. Larutan MB yang disiapkan kemudian diatur pH larutannya dari pH 2-10. Proses adsorpsi dilakukan dan dilanjutkan pengukuran absorbansi filtrat yang sudah dipisahkan dengan residu BSB. Data analisis menunjukkan pH 7 merupakan kondisi larutan MB diserap secara maksimal oleh BSB dengan persen penyerapannya 99,09%. Data adsorpsi variasi pH larutan MB dapat dilihat pada Gambar 7. Data Gambar 7 dapat dijelaskan bahwa pada saat $pH < 7$, akan banyak ion H^+ menutup situs aktif O-H dan C=O pada BSB sehingga sangat sedikit MB terserap ke BSB. Pada kondisi $pH > 7$, larutan MB akan

membentuk zwitter ion sehingga memudahkan molekul MB membentuk molekul dimer dengan ukuran yang lebih besar. Semakin besar ukuran molekul akan menyebabkan MB sulit berinteraksi dengan situs aktif dari BSB sehingga pada kondisi pH MB basa, akan sangat sedikit jumlah MB terserap BSB (Riwayati, dkk., 2019). Adsorpsi terbesar terjadi pada pH 7, karena jumlah ion hidrogen dan ion hidroksida seimbang sehingga tidak ada ion yang menghalangi interaksi MB dengan situs aktif BSB. Data pH optimum penelitian ini sama dengan penelitian terdahulu terkait adsorpsi metilen biru menggunakan sabut kelapa teraktivasi basa, dimana pH optimum adsorpsi yaitu pada pH 7 (Baunsele, dkk., 2023).

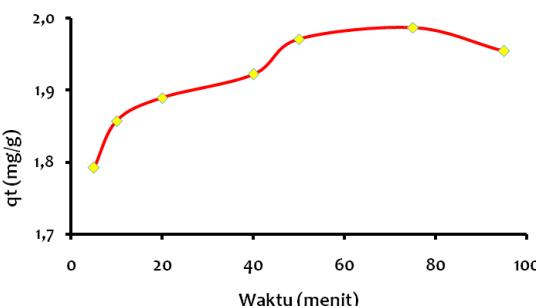


Gambar 7. Grafik serapan MB pada BSB dengan variasi pH larutan MB

Kinetika reaksi adsorpsi MB oleh BSB

Variasi waktu adsorpsi dilakukan dengan memvariasikan waktu kontak 5, 10, 20, 40, 50, 75 dan 95 menit. Berdasarkan hasil analisis kapasitas adsorpsi pada Gambar 8, diketahui bahwa adsorpsi maksimal terjadi pada waktu 75 menit. Penelitian ini sejalan dengan beberapa penelitian yang sejenis dengan biosorben yang berbeda misalnya penggunaan biosorben sabut kelapa tanpa perlakuan (Baunsele & Missa, 2021) dan sabut kelapa teraktivasi basa ($NaOH$) (Baunsele, dkk., 2021). Diketahui bahwa adsorpsi metilen biru diketahui waktu kontak optimum

adalah 75 menit. Adsorpsi yang dilakukan dari menit ke 5 hingga 75 menunjukkan peningkatan penyerapan terhadap adsorbat. Dapat dijelaskan bahwa saat waktu adsorpsi kurang dari 75 menit, masih banyak situs aktif O-H dan C=O yang belum mengikat MB sehingga masih terjadi peningkatan adsorpsi. Pada waktu adsorpsi lebih dari 75 menit, tidak terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi diduga karena situs aktif pada BSB sudah terpenuhi oleh MB yang berinteraksi secara elektrostatik. Pada waktu adsorpsi menit ke 75 tercapai kondisi adsorpsi maksimum karena semua situs aktif pada BSB sudah terisi penuh oleh MB.

**Gambar 8. Variasi waktu kontak**

Data variasi waktu kontak digunakan untuk menentukan kinetika adsorpsi MB pada biosorben BSB. Terdapat empat persamaan yang akan digunakan dalam

penentuan model kinetika adsorpsi yang sesuai untuk adsorpsi MB oleh BSB yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Model kinetika adsorpsi untuk adsorpsi MB oleh BSB

Model Kinetika	Persamaan reaksi	Plot
kinetika orde satu	$\ln Ce = \ln Co - kt$	$t \text{ vs } \ln Ce$
kinetika orde dua	$\frac{1}{Ce} = \frac{1}{Co} + kt$	$t \text{ vs } \frac{1}{Ce}$
kinetika Pseudo orde satu	$\ln(qe - qt) = \ln qe - kt$	$t \text{ vs } \ln(qe - qt)$
kinetika Pseudo orde dua	$\frac{t}{qt} = \frac{1}{kqe^2} + \frac{t}{qe}$	$t \text{ vs } \frac{t}{qt}$

Dengan keterangan, Co adalah konsentrasi awal MB (mg L^{-1}), sedangkan Ce menunjukkan konsentrasi saat kesetimbangan (mg L^{-1}). qt menunjukkan jumlah adsorbat yang terserap saat waktu

tertentu (mg g^{-1}), qe menggambarkan jumlah adsorbat pada saat kesetimbangan (mg g^{-1}) dan k merupakan konstanta laju (menit^{-1}) (Osman, dkk., 2020).

Tabel 3. Data perhitungan kinetika adsorpsi MB oleh BSB.

Model Kinetika	Satuan	Konstanta	R ²
Orde satu	Menit ⁻¹	1×10^{-4}	0,703
Orde dua	L Mol ⁻¹ menit ⁻¹	1×10^{-4}	0,708
Pseudo orde satu	Menit ⁻¹	0,010	0,726
Pseudo orde dua	Gram mg ⁻¹ menit ⁻¹	0,504	0,999

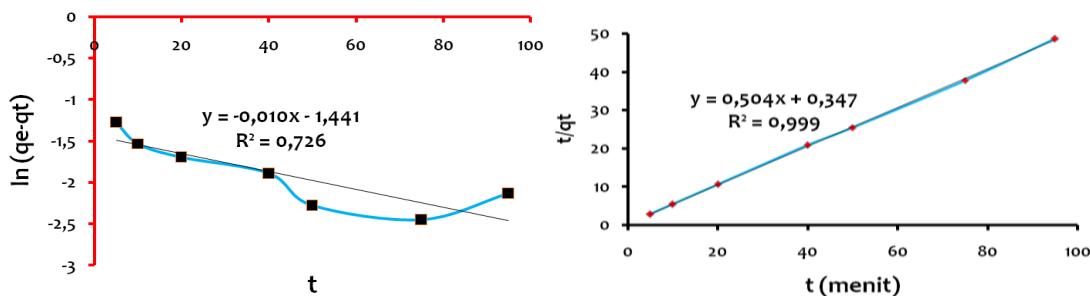
Data analisis yang ditampilkan pada Tabel 3, menunjukkan bahwa proses adsorpsi MB oleh BSB terjadi menurut kinetika reaksi pseudo orde dua. Hal ini karena nilai R² untuk kinetika reaksi pseudo orde dua lebih mendekati angka 1, jika dibandingkan nilai R² dari ketiga model kinetika lainnya. Diketahui bahwa data yang diperoleh pada Tabel 3 merupakan hasil pembuatan kurva masing-masing model kinetika dengan plot variabel seperti yang ditampilkan pada Tabel 2. Nilai konstanta orde satu menjelaskan bahwa,

setiap menit adsorpsi berlangsung terjadi penyerapan sebanyak 0,0004 bagian adsorbat. Data kinetika orde dua, dapat diartikan bahwa pada setiap menit adsorpsi berlangsung akan terjadi penyerapan sebesar 0,0004 L per mol adsorbat.

Kinetika reaksi pseudo orde satu diperoleh dengan grafik korelasi antara $\ln(qe - qt)$ versus t yang menghasilkan nilai konstanta reaksi sebesar -0,010 menit⁻¹ ditampilkan pada Gambar 9a. Nilai konstanta laju reaksi ini berarti bahwa pada saat tercapai kondisi kesetimbangan reaksi

adsorpsi, sebanyak 0,010 bagian dari adsorbat akan terserap ke adsorben tiap satu menit reaksi berlangsung. Gambar 9b menunjukkan grafik kinetika reaksi pseudo orde dua yang terjadi pada saat MB diadsorpsi oleh BSB. Besarnya nilai R^2 pada persamaan garis lurus kinetika pseudo orde dua yaitu 0,999. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan linear antara variabel yang terlibat dalam penentuan nilai R^2 yaitu variabel t dan t/qt . Data ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai t/qt seiring bertambahnya t (waktu adsorpsi) berlangsung. Persamaan garis lurus untuk kinetika reaksi pseudo orde dua

yaitu $y = 0,504x + 0,347$. Konstanta laju reaksi yang diperoleh adalah $0,504 \text{ g mg}^{-1} \text{ menit}^{-1}$, dapat dijelaskan bahwa $0,504 \text{ g}$ adsorbat MB dapat terserap ke setiap mg adsorben pada saat adsorpsi dilakukan selama satu menit. Dapat diartikan bahwa pada satu menit adsorpsi berlangsung, akan terjadi perpindahan $0,504 \text{ g}$ MB dari larutan uji ke setiap mg permukaan adsorben. Secara teori dapat disimpulkan bahwa adsorpsi yang terjadi menurut kinetika reaksi pseudo orde dua menggambarkan bahwa adsorpsi terjadi pada lebih dari satu situs aktif yang ada pada adsorben (Purnaningtyas, dkk., 2020).

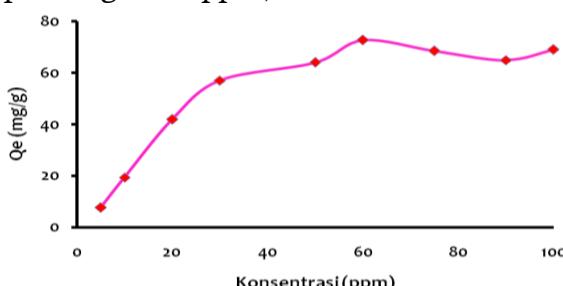


Gambar 9. a. Kurva kinetika reaksi pseudo orde satu (kiri) & b. kinetika reaksi pseudo orde dua (kanan)

Isotermal reaksi adsorpsi MB oleh BSB

Optimasi adsorpsi untuk parameter variasi konsentrasi MB yang disajikan pada Gambar 10 menunjukkan bahwa adsorpsi maksimum terjadi pada konsentrasi larutan MB 60 ppm. Pada konsentrasi 5 hingga 50 ppm, terjadi peningkatan nilai adsorbat teradsorpsi karena pada kondisi tersebut banyak situs aktif pada BSB masih kosong sehingga membuka peluang interaksi dengan zat warna kationik MB. Peningkatan penyerapan terjadi hingga mencapai puncak adsorpsi dengan 60 ppm,

selama 75 menit adsorpsi MB langsung berinteraksi maksimal dengan BSB. Jika diperhatikan pada konsentrasi $> 60 \text{ ppm}$, sangat banyak MB sehingga melebihi jumlah situs aktif dari BSB, akibatnya adsorpsinya menjadi konstan atau dapat dikatakan telah mencapai keadaan kesetimbangan. Data pengaruh konsentrasi awal dapat digunakan untuk menentukan model isotermal adsorpsi yang paling cocok untuk reaksi penyerapan MB oleh adsorben BSB.



Gambar 10. Variasi konsentrasi adsorbat

Kajian terhadap model isotermal adsorpsi MB oleh BSB dikaji dengan tiga model isotermal adsorpsi yaitu isotermal Langmuir, Temkin dan Freundlich. Model matematika isotermal adsorpsi disajikan dalam Tabel 4. Nilai R^2 dari setiap model

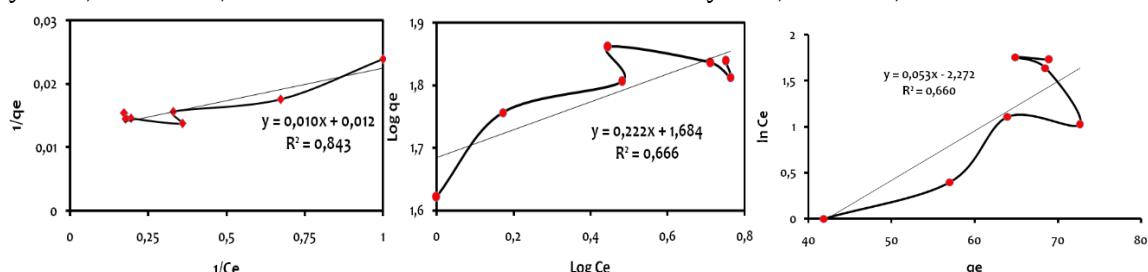
yang paling mendekati 1 merupakan model isotermal dari adsorpsi metilen biru. Data mengenai isotermal adsorpsi tersaji pada Tabel 5 sedangkan grafik persamaan linear dari kedua model isotermal akan ditampilkan pada Gambar 11 dan 13.

Tabel 4. Model persamaan isotermal & Parameter Uji Langmuir, Freundlich dan Temkin (Naat, 2022).

Model Isotermal	Bentuk linear	Plot Grafik	Parameter	Nilai
Langmuir	$\frac{Ce}{qe} = \frac{Ce}{Q_0} + \frac{1}{bQ_0Ce}$	$\frac{Ce}{qe}$ vs Ce	Qmax KL ($L\ mol^{-1}$) R^2	83,33 $mg\ g^{-1}$ 1,20005 $L\ mol^{-1}$ 0,84
Freundlich	$\log qe = \log K_f + \frac{1}{n} \log Ce$	$\log qe$ vs $\log Ce$	$K_f (mg\ g^{-1})$ n R^2	5,38706 4,5045 0,666
Temkin	$qe = \left(\frac{RT}{b_T} \ln A_T \right) + \left(\frac{RT}{b_T} \ln Ce \right)$	qe vs $\ln Ce$	R^2 B A	0,660 0,053 4,14 x 10^{18}

Isotermal adsorpsi yang terjadi pada adsorben BSB sesuai persamaan linear Langmuir. Data kesesuaian tersaji pada Gambar 12a, dengan persamaan garis linear $y = 0,010x + 0,012$. Data terkait isotermal

Freundlich tersaji pada Gambar 12b, dengan persamaan garis lurus $y = 0,222x + 1,684$. Data isotermal Temkin pada Gambar 12c dihasilkan persamaan garis lurus $y = 0,053x - 2,272$.



Gambar 12. a. Kurva Adsorpsi Langmuir (kiri); b. Kurva Adsorpsi Freundlich (tengah); & c. Kurva isothermal Temkin (kanan)

Model isotermal adsorpsi yang sesuai untuk adsorpsi MB menggunakan BSB adalah isoterm Langmuir. Jika adsorpsi terjadi menurut isoterm Langmuir maka diduga proses penyerapan menyebabkan adsorbat akan tertutup pada permukaan adsorben membentuk *monolayer* sehingga adsorpsi yang terjadi secara kimia atau disebut kemisorpsi (Yantyana, Amalia, & Fitriyani, 2018). Pada proses adsorpsi, MB akan terikat kuat pada situs aktif BSB, hal ini diperkuat data pada Gambar 8. Pada Gambar 8 terlihat setelah 75 menit adsorpsi berlangsung, tidak terjadi peningkatan

kapasitas adsorpsi maupun desorpsi melainkan terjadi kesetimbangan dimana terjadi penyerapan konstan. Fenomena ini menunjukkan situs aktif BSB mampu mengikat MB secara baik. Berdasarkan data Tabel 5, nilai Qmax yang diperoleh yaitu $83,33\ mg\ g^{-1}$. Data ini dapat jelaskan bahwa 1 g adsorben BSB yang digunakan mampu menyerap adsorbat MB sebanyak $83,33\ mg$ pada saat tercapai kesetimbangan reaksi. Penjelasan ini diperkuat data FTIR, yang menunjukkan bahwa adanya situs aktif yang bersifat elektronegatif pada BSB

membuka peluang adanya interaksi elektrostatik dengan adsorbat MB.

SIMPULAN

Adsorpsi metilen biru menggunakan sabut buah siwalan teraktivasi basa terjadi pada kondisi optimum dengan pH 7. Waktu kontak dengan kapasitas adsorpsi tertinggi yaitu 75 menit sedangkan variabel pengaruh konsentrasi awal mencapai adsorpsi maksimal pada 60 ppm. Analisis kinetika reaksi adsorpsi MB oleh BSB terjadi menurut kinetika reaksi pseudo orde dua yang menunjukkan adsorpsi yang terjadi melibatkan lebih dari satu situs aktif. Kajian isothermal adsorpsi MB oleh BSB terjadi menurut model isothermal Langmuir dengan nilai Q_{max} adalah $83,33 \text{ mg g}^{-1}$. Jika adsorpsi mengikuti model isothermal Langmuir maka mekanisme adsorpsi yang terjadi yaitu pembentukan lapisan *monolayer* adsorbat pada permukaan adsorben, dan dapat disimpulkan bahwa reaksi penyerapan terjadi secara kimia atau disebut kemisorpsi. Dari hasil penelitian dapat dikatakan bahwa sabut buah siwalan dapat dijadikan sebagai adsorben untuk zat warna.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainane, T., Khammour, F., Talbi, M., & Elkouali, M. (2014). A novel bio-adsorbent of mint waste for dyes remediation in aqueous environments: Study and modeling of isotherms for removal of methylene blue. *Oriental Journal of Chemistry*, 30(3), 1183–1189. <https://doi.org/10.13005/ojc/300332>
- Ainuurrahmah, S., & Sudarti. (2021). Analisis Kerusakan Lingkungan Akibat Industri di Permukiman Warga Desa Karangrejo Kediri. *Jurnal TELUK*, 1(2), 33–37. Retrieved from <https://lp3m-umkendari.ac.id/index.php/telukum kendari/article/view/375%0Ahttps://lp3m-umkendari.ac.id/index.php/telukum kendari/article/download/375/182>
- Akarslan, F., & Demiralay, H. (2015). Effects of textile materials harmful to human health. *Acta Physica Polonica A*, 128(2), 407–408. <https://doi.org/10.12693/APhysPol A.128.B-407>
- Akpomie, K. G., Dawodu, F. A., & Adebowale, K. O. (2015). Mechanism on the sorption of heavy metals from binary-solution by a low cost montmorillonite and its desorption potential. *Alexandria Engineering Journal*, 54(3), 757–767. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.03.025>
- Apriyanti, I. R. (2018). Studi Potensi Pemanfaatan Limbah Serat Batok Siwalan (*Borassus Flabellifer* L) sebagai Bahan Baku Kerajinan Lokal (Benang) Gresik. *Jurnal Teknologia*, 1(1), 81–88. Retrieved from <https://aperti.e-journal.id/teknologia/article/view/10>
- Arancibia-Miranda, N., Silva-Yumi, J., & Escudey, M. (2015). Effect of cations in the background electrolyte on the adsorption kinetics of copper and cadmium and the isoelectric point of imogolite. *Journal of Hazardous Materials*, 299, 675–684. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.08.007>
- Asih, C. L., Sudarno, & Hadiwidodo, M. (2015). Pengaruh Ukuran Media Adsorben Dan Konsentrasi Aktivator NaOH Terhadap Efektivitas Penurunan Logam Berat Besi (Fe), Seng (Zn) Dan Warna Limbah Cair

- Industri Galvanis Menggunakan Arang Sekam Padi. *Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro*, 1–9. <http://ejurnal-s1.undip.ac.id/index.php/tlingkungan/article/view/8043>
- Bagda, E., Tuzen, M., & Sari, A. (2017). Equilibrium, thermodynamic and kinetic investigations for biosorption of uranium with green algae (*Cladophora hutchinsiae*). *Journal of Environmental Radioactivity*, 175–176, 7–14. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.04.004>
- Baunsele, A. B., & Missa, H. (2020). Kajian Kinetika Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Adsorben Sabut Kelapa. *Akta Kimia Indonesia*, 5(2), 76. <https://doi.org/10.12962/j25493736.v5i2.7791>
- Baunsele, A. B., & Missa, H. (2021). Langmuir and Freundlich Equation Test on Methylene Blue Adsorption by Using Coconut Fiber Biosorbent. *Walisongo Journal of Chemistry*, 4(2), 131–138. <https://doi.org/10.21580/wjc.v4i2.8941>
- Baunsele, A. B., Boelan, A. G., Kopon, A. M., Rahayu & Siswanta, D. (2021). Kinetic Study of Blue Methylene Adsorption Using Coconut Husk Base Activated. Indonesian Journal of Chemical Research. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 9(2), 129–136. <https://doi.org/10.30598/ijcr>
- 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, Kovalen: Jurnal Riset Kimia, 9(1), 43-54. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2023.v9.i1.16274>
- Ceunfin, S., Agu, Y. P. E. S., & Manikin, M. R. (2021). Pengaruh Modifikasi Tinggi Sok Penyulingan Dan Jenis Bunga Siwalan (*Borassus flabellifer* L.) Terhadap Kualitas Produk Sopi Timor, *Jurnal Penelitian Kehutanan Faloak*, 5(2), 132–143. <https://doi.org/10.20886/jpkf.2021.5.2.132-143>
- Daneshvar, E., Vazirzadeh, A., Niazi, A., Sillanpaa, M., & Bhatnagar, A. (2017). A comparative study of methylene blue biosorption using different modified brown, red and green macroalgae-Effect of pretreatment. *Chemical Engineering Journal*, 307, 435–446. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.093>
- Erwanto., Yulinda., & Nabela, Q. (2020). Pengaruh Penambahan Ion Nitrat (NO_3^-) Terhadap Kinetika Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru Menggunakan Zeolit-TiO₂. *Inovasi Teknik Kimia*, 5(2), 59–67. <http://dx.doi.org/10.31942/inteka.v5i2.3812>
- Fariha, C. N., Setiawan, A., & Ramadani, T. A. (2020). Karakterisasi Sabut Siwalan (*Borassus flabellifer*) dan Kulit Pisang Raja (*Musa paradisiaca* var. Raja) dalam Proses Produksi Bioetanol. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan Dan Infrastruktur*, 3, A2.1-A2.7. <https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin/article/view/183/128>
- Ferama Sari, M. E., Suprapto, S., & Prasetyoko, D. (2020). Adsorpsi Pb²⁺ menggunakan Sodalit dari Kaolin Bangka Belitung. *Akta Kimia Indonesia*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.12962/j25493736.v5i1.5514>

- Fitriani, D., Oktiarni, D., & Lusiana. (2015). Pemanfaatan Kulit Pisang Sebagai Adsorben Zat Warna Methylene Blue. *Jurnal Gradien*, 11(2), 1091–1095.
- Geçgel, Ü., Özcan, G., & Gürpnar, G. Ç. (2013). Removal of methylene blue from aqueous solution by activated carbon prepared from pea shells (*Pisum sativum*). *Journal of Chemistry*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/614083>
- Hallaji, H., Keshtkar, A. R., & Moosavian, M. A. (2015). A novel electrospun PVA/ZnO nanofiber adsorbent for U(VI), Cu(II) and Ni(II) removal from aqueous solution. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 46, 109–118. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.09.007>
- Haryono, H., Faizal D, M., Liamita N, C., & Rostika, A. (2018). Pengolahan Limbah Zat Warna Tekstil Terdispersi dengan Metode Elektroflotasi. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*, 3(1), 94. <https://doi.org/10.30870/educhemia.v3i1.2625>
- Hasan, B., Dosen, S., Teknik, J., Politeknik, K., & Ujung, N. (2017). Aktivitas Adsorben dari Rumput Laut *Sargassum* sp Menggunakan Asam Klorida. *Snp2M*, 2017, 93–96. <http://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/snp2m/article/view/302/307>
- Hassaan, M., Nemr, A. El, & Hassaan, M. A. (2017). Health and Environmental Impacts of Dyes: Mini Review. *American Journal of Environmental Science and Engineering*, 1(3), 64–67. <https://doi.org/10.11648/j.ajese.20170103.11>
- Khuluk, R. H., Rahmat, A., Buhani, & Suharso. (2019). Removal of Methylene blue by adsorption onto activated carbon from coconut shell (*Cocos Nucifera* L.). *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(2), 229–240. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i2.18179>
- Kusuma, H. S., Aigbe, U. O., Ukhurebor, K. E., Onyancha, R. B., Okundaye, B., Simbi, I., ... Balogun, V. A. (2023). Biosorption of Methylene blue using clove leaves waste modified with sodium hydroxide. *Results in Chemistry*, 5(January), 100778. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2023.100778>
- Lim, L. B. L., Priyantha, N., Tennakoon, D. T. B., Chieng, H. I., Dahri, M. K., & Suklueng, M. (2017). Breadnut peel as a highly effective low-cost biosorbent for methylene blue: Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S3216–S3228. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.12.018>
- Mahurpawar, M. (2015). Effects of Heavy Metals on Human Health effects of Heavy Metals on Human Health. *International Journal of Research-GRANTHAALAYAH*, 3(9SE), 1–7. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v3.i9se.2015.3282>
- Markovi, S., Stankovi, A., Lazarevi, S., Stojanovi, M., & Uskokovi, D. (2015). *Journal of Environmental Chemical Engineering Application of raw peach shell particles for removal of methylene blue*. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.04.002>
- Naat, J. N. (2022). *Adsorpsi Ion Pb (II) Menggunakan Silika Berbasis Pasir Alam [Ion Pb (II) Adsorption Using Silica from*

- Natural Sand of Takari-NTT J.* 8(3), 266–279.
- Naimah, S., Ardhanie, S. A., Jati, B. N., Aidha, N. N., & Arianita, A. C. (2014). Degradasi Zat Warna Pada Limbah Cair Industri Tekstil dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Nanokomposit TiO₂ – ZEOLIT (Color Degradation In Textile Industrial Wastewater With. *Jurnal Kimia Kemasan*, 36, 225–236. <http://dx.doi.org/10.24817/jkk.v36i2.1889>
- Niandyti, F., Sufyandi, Y., & Utami, W. (2019). Dampak Pembangunan Industri Terhadap Perubahan Penggunaan Tanah dan Kesesuaianya dengan Tata Ruang (Studi di Kabupaten Semarang Provinsi Jawa Tengah). *Tunas Agraria*, 2(2), 184–207. <https://doi.org/10.31292/jta.v2i2.35>
- Nurfitria, N., Febriyantiningrum, K., Utomo, W. P., Nugraheni, Z. V., Pangastuti, D. D., Maulida, H., & Ariyanti, F. N. (2019). Pengaruh Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) pada Karbon Aktif dan Waktu Kontak Terhadap Daya Adsorpsi Logam Pb dalam Sampel Air Kawasan Mangrove Wonorejo, Surabaya. *Akta Kimia Indonesia*, 4(1), 75. <https://doi.org/10.12962/j25493736.v4i1.5071>
- 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(August), 100678. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100678>
- Osman, A. M., Hendi, A. H., & Saleh, T. A. (2020). Simultaneous adsorption of dye and toxic metal ions using an interfacially polymerized silica/polyamide nanocomposite: Kinetic and thermodynamic studies. *Journal of Molecular Liquids*, 314, 113640. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113640>
- Pathania, D., Sharma, S., & Singh, P. (2017). Removal of methylene blue by adsorption onto activated carbon developed from *Ficus carica* bast. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S1445–S1451. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.04.021>
- Purnaningtyas, M. A. K., Sudiono, S., & Siswanta, D. (2020). Synthesis of activated carbon/chitosan/alginate beads powder as an adsorbent for methylene blue and methyl violet 2b dyes. *Indonesian Journal of Chemistry*, 20(5), 1119–1130. <https://doi.org/10.22146/ijc.49026>
- Rahmawati & Yuanita. (2013). Adsorpsi Pb²⁺ Oleh Arang Aktif Sabut Siwalan (*Borassus flabellifer*) Adsorption of Pb²⁺ by Siwalan Fiber (*Borassus flabellifer*) Jurusan Kimia FMIPA, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. *UNESA Journal of Chemistry*, 2(3), 82–87. <https://doi.org/10.26740/ujc.v2n3.p%25p>
- Riwayati, I., Fikriyyah, N., & Suwardiyono, S. (2019). ADSORPSI ZAT WARNA METHYLENE BLUE MENGGUNAKAN ABU ALANG-ALANG (Imperata cylindrica) TERAKTIVASI ASAM SULFAT. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 4(2), 6–11. <https://doi.org/10.31942/inteka.v4i2.3016>
- Riyanto, (2013). Pengolahan Limbah Zat

- Warna Industri Batik Dengan Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Komposit Karbon (C-PVC), *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sancayaningsih, R. P., Santosa, S. H. M. B., & Utami, A. V. (2016). Natural Sustainability of Toddy Palm (*Borassus flabellifer L.*) In Linamnutu, Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur (Sustainabilitas alami Siwalan (*Borassus flabellifer L.*) di Desa Linamnutu, Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur). *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 23(1), 76.
<https://doi.org/10.22146/jml.18776>
- Siswarni, M Z., Ranita, L, I., & Safitri, D. (2017). Pembuatan Biosorben Dari Biji Pepaya (*Carica papaya L*) Untuk Penyerapan Zat Warna. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(2), 7–13.
<https://doi.org/10.32734/jtk.v6i2.1576>
- Siti Hardiyanti Chofifa, Zhulya Nur, Sumarna, M. A. E., Utama, A. R., & Broto, W. (2021). Pemanfaatan Limbah Kulit Siwalan Sebagai Briket Media. *Jurnal Pengabdian Vokasi*, 02, 102–105.
- Solo, A. A. M., Masruri, & Ruhmayati, B. (2018). Characteristic of Cellulose Isolated From Papyrus Fiber (*Borrasus flabelifer L*) and Its Citrate Ester. *The Journal of Pure and Applied Chemistry Research*, 7(3). DOI: 10.21776/ub.jpacr.2018.007.03.410.
- Yantyana, I., Amalia, V., & Fitriyani, R. (2018). Adsorpsi Ion Logam Timbal(II) Menggunakan Mikrokapsul Ca-Alginat. *Al-Kimiya*, 5(1), 17–26.
<https://doi.org/10.15575/ak.v5i1.37>
- Zuo, R., Du, G., Zhang, W., Liu, L., Liu, Y., Mei, L., & Li, Z. (2014). Photocatalytic degradation of methylene blue using TiO₂ impregnated diatomite. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014.
<https://doi.org/10.1155/2014/170148>