

Kesetimbangan Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru oleh Karbon Aktif dari Limbah Bunga Jantan Kelapa Sawit Pasca Anthesis

Adsorption Equilibrium Of Methylene Blue By Activated Carbon From Post-Anthesis Male Flower Palm Oil Waste

Yuli Ristianingsih*, Indriana Lestari, Alit Istiani

Program Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condong Catur, Yogyakarta 55283, Indonesia

Artikel histori :

Diterima 25 Oktober 2022
Diterima dalam revisi 7 November 2022
Diterima 7 November 2022
Online 15 November 2022

ABSTRAK: Metilen biru (MB) merupakan salah satu pewarna sintetis yang sering digunakan pada industri tekstil dan senyawa ini mempunyai gugus benzena sehingga sulit terdegradasi secara alami. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh penambahan aktivator kalium hidroksida dan suhu (30, 40 dan 50°C) terhadap proses adsorpsi zat warna metilen biru menggunakan adsorben karbon aktif dari limbah bunga jantan kelapa sawit pasca anthesis (BJKSPA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan aktivator KOH dapat meningkatkan kapasitas penjerapan metilen biru sebesar 25,64%. Suhu optimum yang sesuai untuk proses adsorpsi metilen biru dengan karbon aktif limbah BJKSPA yang teraktivasi KOH pada suhu 30°C dengan kapasitas penjerapan sebesar 58,4793%. Mekanisme kesetimbangan adsorpsi dipelajari dengan menggunakan dua jenis isoterm, yaitu isoterm Langmuir dan Freundlich. Fenomena adsorpsi metilen biru dengan karbon aktif limbah bunga jantan kelapa sawit pasca anthesis yang teraktivasi kalium hidroksida sesuai dengan jenis isotherm Freundlich adsorpsi yang memiliki nilai koefisien korelasinya (R^2) sebesar 0,9557.

Kata Kunci: Limbah Bunga Jantan Kelapa Sawit Pasca Anthesis; Metilen Biru; Karbon Aktif; Adsorpsi; Kalium Hidroksida

ABSTRACT: Methylene blue (MB) is wastewater from the textile industry. This dye is difficult to degrade naturally because it has a benzene group in its chemical chain. There are several ways to reduce waste, one of the economical ways is by using adsorption. In this study, MB was adsorbed using activated carbon from post-anthesis male flower palm oil (PAMF) waste which was activated using potassium hydroxide (KOH). The adsorption process was carried out at various temperatures (30, 40, and 50°C). The results showed that the addition of a KOH activator could increase the sorption capacity of methylene blue by 25.64%. The optimum temperature is suitable for the adsorption process of methylene blue with activated carbon of PAMF waste activated by KOH at a temperature of 30°C with an adsorption capacity of 58.4793%. The adsorption equilibrium mechanism was studied using two types of adsorption isotherm models, namely the Langmuir and Freundlich models. Based on the data obtained, the MB adsorption process on activated carbon was compatible with the Freundlich model an R^2 of 0.9557.

Keywords: Post-Anthesis Male Flower Palm Oil Waste; Methylene Blue; Activated Carbon; Adsorption; Potassium Hydroxide

1. Pendahuluan

Zat warna sintetis merupakan salah satu limbah yang terkandung dalam industri tekstil. Penggunaan zat warna sintetis pada industri tekstil terutama pada proses pencelupan dan pewarnaan, dimana zat warna yang digunakan ini tidak semua terserap ke dalam serat kain. Hal ini menyebabkan residu zat warna yang dihasilkan oleh

efluen konsentrasinya masih tinggi sekitar 45 ppm (Ristianingsih dkk, 2020).

Metilen biru merupakan salah satu zat warna sintetis yang paling umum digunakan pada industri tekstil (Latupeirissa, 2018). Metilen biru mempunyai gugus benzena sehingga sulit terdegradasi secara alami. Selain itu, metilen biru juga berpotensi membahayakan kesehatan manusia karena paparan metilen biru dapat mengakibatkan

* Corresponding author
Email address: y.ristianingsih@upnyk.ac.id

iritasi pada kulit, iritasi pada saluran pencernaan serta jika terhirup akan mengakibatkan sianosis (Fayazi dkk, 2016).

Karena metilen biru berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan dan berbahaya bagi kesehatan manusia, maka sebelum dibuang ke lingkungan perlu dilakukan pengolahan terhadap limbah industri tekstil yang mengandung zat warna metilen biru. Pengolahan zat warna dapat dikategorikan menjadi 3 metode yaitu secara biologi menggunakan alga, enzim, bakteri, jamur dan mikroorganisme lainnya; kimia, seperti *advanced oxidation*, fenton, oksidasi, ozoninasi, fotokatalis, elektrokimia dan lain sebagainya; dan fisika, seperti adsorpsi, koagulasi, flokulasi, pertukaran ion, iradiasi, membrane filtrasi, nano dan ultra filtrasi, dan alin sebagainya (Katheresan dkk., 2018).

Salah satu metode yang paling sederhana dan lebih ekonomis untuk mengurangi tingkat pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh zat warna metilen biru adalah dengan proses adsorpsi. Untuk menekan biaya proses produksi diperlukan jenis adsorben yang murah dan mudah dalam pembuatannya. Selain murah, adsorben yang digunakan harus ramah lingkungan agar tidak menimbulkan dampak samping berupa pencemaran lingkungan. Karbon aktif dari limbah biomassa merupakan salah satu adsorben yang sangat potensial untuk dikembangkan karena biaya produksi yang murah dan ramah lingkungan. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian proses adsorpsi dengan memanfaatkan limbah biomassa baik yang mengandung karbon maupun selulosa seperti biji trembesi (Hayati dkk., 2016), kulit durian (Hanum dkk, 2017; Sari dkk, 2021), sabut kelapa (Baunsele dan Missa, 2020), ampas kopi (Syarifuddin Oko dkk, 2021), tempurung kelapa (Amelia dan Mufrodi, 2018), kulit kemiri (Latupeirissa dkk, 2018), tongkol jagung (Ristiningsih dkk, 2020; Irfandy dkk., 2021), sekam padi (ahmad dkk, 2020).

Pada penelitian ini akan dilakukan proses adsorpsi zat warna metilen biru (MB) menggunakan karbon aktif dari limbah bunga jantan kelapa sawit yang teraktivasi kalium hidroksida. Bunga jantan kelapa sawit merupakan salah satu limbah yang dihasilkan dari tanaman sawit. Jumlah bunga jantan yang dihasilkan dalam satu tahun dapat mencapai 650 tandan/ha/tahun (Risco Hamidiyanto, 2015). Selama ini pemanfaatan limbah bunga jantan kelapa sawit masih relatif sedikit. Limbah bunga jantan kelapa sawit hanya dimanfaatkan sebagai kompos (Risco Hamidiyanto, 2015) dan juga briket (Firdaus dan Nurdin, 2019). Bahkan sebagian besar hanya dibuang begitu saja ke lingkungan sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan. Untuk meningkatkan nilai ekonomis dari limbah bunga jantan kelapa sawit serta untuk mengurangi tingkat pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh limbah tersebut, maka perlu dilakukan pengolahan terhadap limbah Bunga jantan kelapa sawit. Salah satu alternatif pemanfaatan limbah bunga jantan kelapa sawit adalah dengan mengkonversinya menjadi karbon aktif yang akan digunakan sebagai adsorben.

Menurut Rahhutami dkk. (2019) bunga jantan kelapa sawit paska anthesis memiliki kandungan 15,35% lignin, 35,33% selulosa, 32,23% hemiselulosa dan 65,37%

holoselulosa. Firdaus dan Nurdin (2019) juga mengemukakan bahwa limbah bunga jantan kelapa sawit mempunyai kandungan 45,95% selulosa, 22,84% hemiselulosa, 16,49% lignin, 1,23% abu, 0,53% nitrogen dan 2,41% minyak. Kandungan selulosa yang masih tinggi pada limbah bunga jantan kelapa sawit tersebut, memungkinkan limbah ini dapat dikonversi menjadi karbon aktif.

Penambahan aktivator kalium hidroksida (KOH) pada karbon aktif limbah bunga jantan kelapa sawit bertujuan untuk menghilangkan pengotor, memperbesar luas permukaan, dan meningkatkan daya serap dari adsorben sehingga dapat meningkatkan banyaknya metilen biru yang terjerap (Nurfritria dkk., 2019; Nitsae dkk, 2021).

2. Metode penelitian

2.1. Alat dan bahan

Karbon aktif pada penelitian ini dibuat dari limbah bunga jantan kelapa sawit paska anthesis yang diperoleh dari industri kelapa sawit di daerah Tanah Laut, Kalimantan Selatan. Bahan kimia yang digunakan pada penelitian ini adalah larutan KOH dengan konsentrasi 0,5 N, larutan asam klorida dengan konsentrasi 1 N untuk proses netralisasi, metilen biru dan aquadest. Semua bahan kimia berasal dari Merck.

Penelitian ini dilakukan pada rangkaian alat adsorpsi yang terdiri dari labu leher tiga, pendingin balik, *hot plate magnetic stirrer* serta dilengkapi termometer untuk mengukur suhu. Selain alat utama tersebut, juga digunakan alat pendukung seperti oven, *furnace*, ayakan 100 mesh, serta spektrofotometer UV-Vis Genesys 20 Thermo Fisher Scientific.

2.2. Prosedur percobaan

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu: persiapan bahan baku, karbonisasi dan aktivasi adsorben, serta proses adsorpsi zat warna metilen biru.

Tahap persiapan bahan baku dilakukan dengan cara membersihkan limbah bunga jantan kelapa sawit paska anthesis dari kotoran kemudian dipotong kecil-kecil sekitar 3 cm. Selanjutnya limbah bunga jantan kelapa sawit tersebut dikeringkan di bawah sinar matahari selama 3 hari dan dioven pada suhu 80°C selama 24 jam. Tujuan dari proses pengeringan ini adalah mengurangi kadar air dari bahan baku limbah bunga jantan kelapa sawit.

Setelah limbah bunga jantan kelapa sawit kering, dilanjutkan dengan proses pengarangan (karbonisasi). Proses pengarangan ini dilakukan dengan menggunakan *furnace* pada suhu 350 °C selama 1 jam. Proses karbonisasi ini bertujuan untuk membentuk karbon. Karbon yang dihasilkan kemudian ditumbuk dan diayak dengan ukuran 100 mesh. Serbuk karbon aktif yang dihasilkan kemudian aktivasi menggunakan kalium hidroksida dengan konsentrasi 0,5 N. Proses aktivasi dilakukan pada rangkaian reaktor tangki berpengaduk yang terdiri dari labu leher tiga, pengaduk *magnetic*, pendingin balik, *hot plate* stirer dan termometer. Proses aktivasi dilakukan pada suhu 30 °C selama 1 jam dengan kecepatan pengadukan 300 rpm. Setelah diaktivasi dengan KOH, karbon aktif kemudian

dicuci dengan aquadest sampai pH netral. Setelah pH netral karbon aktif yang diperoleh kemudian di keringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 24 jam.

Karbon aktif yang sudah diaktivasi dengan KOH kemudian digunakan sebagai adsorben. Proses adsorpsi dilakukan pada rangkaian alat adsorpsi selama 100 menit pada variasi suhu adsorpsi (30, 40 dan 50)°C dengan kecepatan pengadukan 300 rpm. Sebanyak 0,5; 1; 1,5; dan 2 gram karbon aktif dicampur dengan 50 mL larutan MB 50 ppm. Pengambilan sampel dilakukan setiap 20 menit yaitu pada menit ke 0, 20, 40, 60, 80 dan 100.

2.3. Analisis Spektrofotometer

Analisis spektrofotometer digunakan untuk mengetahui konsentrasi metilen biru sisa pada sampel. Analisis spektrofotometer dilakukan dengan mengukur absorbansi maksimum sampel metilen biru dengan konsentrasi tertentu sehingga diperoleh panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) sebesar 659 nm dengan mengabaikan pengaruh pH. Selanjutnya panjang gelombang tersebut digunakan untuk mengukur absorbansi sampel metilen biru pada berbagai konsentrasi. Nilai konsentrasi metilen biru sisa dalam larutan diperoleh dengan perhitungan menggunakan persamaan garis lurus yang diperoleh dari grafik pembuatan kurva standar dengan nilai R^2 sebesar 0,9918. Berdasarkan pembuatan kurva standar yang telah dilakukan diperoleh persamaan garis lurus sebagai berikut:

$$y = 85,07 x + 1,9268$$

dimana nilai y = konsentrasi sampel (ppm)

x = nilai absorbansi

Sedangkan konsentrasi Metilen biru yang terjerap pada karbon aktif dihitung menggunakan persamaan:

$$\% \text{ MB terjerap} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$$

$$Q_e = \left(\frac{C_0 - C_e}{m} \right) \times V$$

Dimana:

C_0 = Konsentrasi MB mula-mula, ppm

C_t = Konsentrasi MB saat waktu t, ppm

C_e = Konsentrasi MB saat setimbang, ppm

Q_e = Kapasitas adsorpsi per bobot molekul, mg/g

m = massa adsorben yang digunakan, g

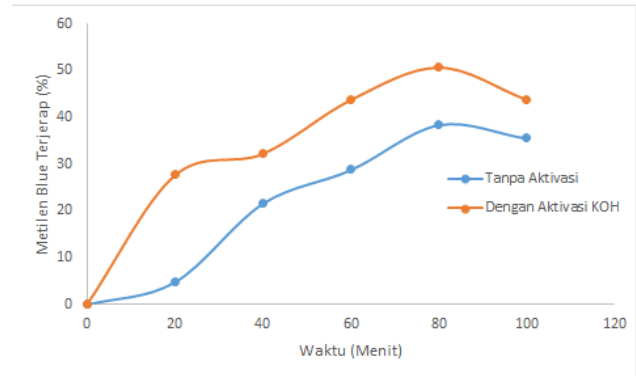
V = volume larutan, mL

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh Penambahan Aktivator KOH

Penambahan aktivator baik asam maupun basa bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan dari karbon aktif (Nurfitri dkk, 2019). Pada penelitian ini aktivator yang digunakan adalah KOH dengan konsentrasi 0,5 N. penambahan aktivator KOH ini dikarenakan KOH dapat meningkatkan luas permukaan hingga 3000 m²/g. KOH juga dapat meningkatkan kandungan karbon serta menghilangkan zat pengotor yang terkandung pada karbon hasil karbonisasi yang kurang sempurna seperti zat volatil dan tar (Nurfitri dkk, 2019). Selain itu, reaksi karbon dengan KOH juga akan menghasilkan air (dehidrasi) yang dikarenakan. Reaksi dehidrasi yang terjadi mengakibatkan

karbon terkikis dan terjadi peningkatan luas permukaan karbon aktif karena pembentukan pori-pori yang lebih banyak (Mustafa dan A.M. Noor, 2003). Dengan penambahan jumlah pori-pori pada permukaan karbon aktif, maka akan meningkatkan efisiensi adsorpsi zat warna metilen biru (MB). Gambar 1 berikut menunjukkan pengaruh penambahan KOH sebagai aktivator pada karbon aktif.

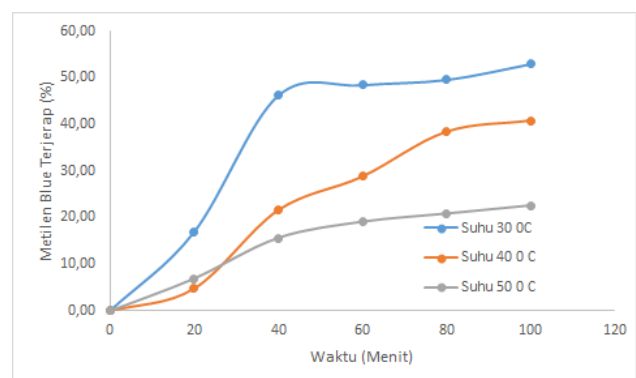


Gambar 1. Pengaruh Penambahan Aktivator KOH Terhadap Metilen Biru Terjerap

Gambar 1 merupakan representasi perbandingan kemampuan adsorpsi karbon aktif yang tidak teraktivasi dengan karbon aktif yang telah diaktivasi dengan KOH. Hasil penelitian menunjukkan penambahan aktivator KOH dapat meningkatkan kapasitas penjerapan metilen biru. Metilen biru terjerap maksimal dari karbon aktif tanpa aktivasi sebesar 38,42%, sedangkan maksimum metilen biru yang dapat terjerap oleh karbon aktif dengan penambahan aktivator KOH sebesar 48,27% pada waktu adsorpsi selama 80 menit.

3.2. Pengaruh Suhu terhadap Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru

Pengaruh suhu terhadap proses adsorpsi zat warna metilen biru menggunakan adsorben karbon aktif dari limbah bunga jantan kelapa sawit yang teraktivasi KOH dapat dilihat pada Gambar 2.

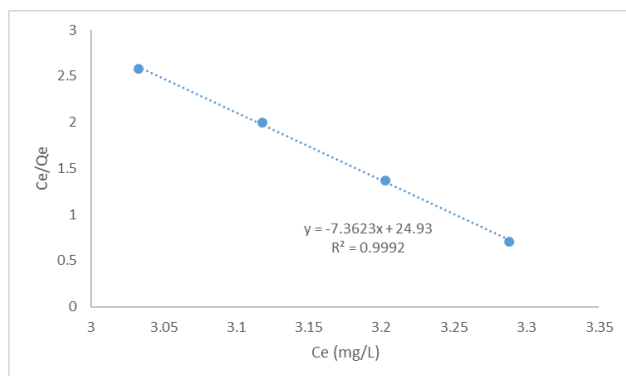


Gambar 2. Pengaruh Suhu terhadap Metilen Biru Terjerap

Gambar 2 menunjukkan bahwa peningkatan suhu berbanding terbalik dengan kapasitas penyerapan zat warna metilen biru. Semakin tinggi suhu, zat warna metilen biru yang terjerap akan semakin berkurang. Hal ini dikarenakan proses adsorpsi komponen organik (termasuk zat warna) merupakan reaksi eksotermis (melepas panas) yang memiliki ΔH_{ads} bernilai negatif (Latupeirissa dkk, 2018). Selain itu, proses adsorpsi senyawa organik ini memiliki ikatan fisika antara komponen organik dan sisi aktif adsorben. Ikatan antara kimia organik dan sisi aktif dari adsorben ini akan melemah seiring dengan peningkatan suhu. Kelarutan metilen biru akan naik dan gaya tarik antara larutan dengan pelarut menjadi lebih kuat daripada larutan dengan adsorben. Akibatnya zat terlarut lebih sulit untuk diserap sehingga adsorbat yang semula telah diadsorpsi akan terlepas kembali dari pori-pori adsorben (Ristianingsih dkk, 2020). Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu optimal untuk proses adsorpsi metilen biru adalah 30 °C dengan kapasitas penyerapan metilen biru maksimal sebesar 53,018%.

3.3. Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan proses adsorpsi yang berlangsung pada suhu konstan. Model isoterm adsorpsi yang sering diaplikasikan adalah model Langmuir dan Freundlich.



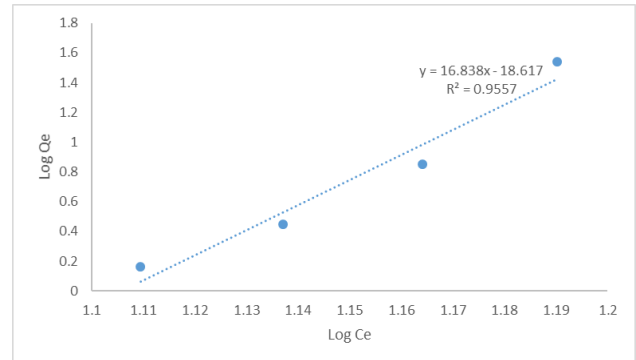
Gambar 3. Kurva Isoterm Adsorpsi Langmuir

Penggunaan kedua jenis model isoterm ini dimaksudkan untuk menentukan model kesetimbangan yang lebih relevan dari sebuah penelitian. Model kesetimbangan yang sesuai adalah yang memberikan nilai koefisien korelasi (R^2) mendekati 1 (Ahmad dkk, 2020). Model isoterm Langmuir dan Freundlich pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.

Hubungan linieritas isoterm Langmuir dan Freundlich pada adsorpsi zat warna metilen biru oleh karbon aktif dari kulit limbah bunga jantan kelapa sawit yang teraktivasi KOH berdasarkan persamaan garis dan koefisien korelasi (R^2) dapat dilihat pada Tabel 1.

Data adsorpsi Metilen biru dengan adsorben karbon aktif dari limbah bunga jantan kelapa sawit paska anthesis teraktivasi KOH tidak sesuai dengan metode isotherm Langmuir meskipun memberikan nilai koefisien regresi linier (R^2) sebesar 99,92%. Hal ini dikarenakan hasil adsorpsinya memberikan harga konstanta adsorpsi

Langmuir (KL) dan kapasitas adsorpsi maksimal (q_m) yang bernilai negative, berturut-turut -0,295 mg/L dan -0,135 mg/g yang dihitung dengan menggunakan intersep dan slope dari persamaan yang didapat.



Gambar 4. Kurva Isoterm Adsorpsi Freundlich

Berdasarkan Gambar 3 dan Tabel 1 proses adsorpsi lebih sesuai dengan model isoterm Freundlich ($R^2 = 95,57\%$). Metode ini menunjukkan adsorpsi multilayer dan bersifat heterogen (Sandollah dkk., 2020). Dari persamaan Freundlich diperoleh nilai n sebesar 0,06 yang menunjukkan bahwa adsorpsi terjadi secara kimia dan konstanta Freundlich (KF) sebesar $5,87 \times 10^{-18}$.

Tabel 1. Persamaan Garis Isoterm Adsorpsi Langmuir dan Freundlich

Isoterm Adsorpsi	Persamaan Garis Lurus	Nilai R^2 (%)
Langmuir	$y = -7,3623x + 24,93$	99,92
Freundlich	$y = 16,838x - 18,617$	95,57

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan aktivator KOH dapat meningkatkan kapasitas penyerapan metilen biru sampai 25,64%.
2. Proses adsorpsi zat warna metilen biru dengan karbon aktif dari limbah bunga jantan kelapa sawit yang teraktivasi KOH bersifat eksotermis. Hal ini mengakibatkan semakin tinggi suhu maka kapasitas penyerapan akan berkurang. Kapasitas penyerapan maksimal diperoleh pada suhu 30 °C sebesar 53,018%.
3. Model kesetimbangan adsorpsi yang sesuai untuk penelitian ini adalah model isoterm adsorpsi Freundlich dengan koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,9557.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta yang telah

mendanai penelitian ini melalui dana hibah penelitian dasar 2022.

Daftar Pustaka

- Ahmad A., Khan N., Giri B.S., Chowdhary P., Chaturvedi P., 2020, removal of methylene blue dye using rice husk, cow dung and sludge biochar: characterization, application, and kinetic studies, *Bioresource Technology*, Vol. 306, Juni: 1-5.
- Amelia, S., Mufrodi, Z., 2018, Uji aktivitas adsorben karbon aktif tempurung kelapa termodifikasi dengan active site Fe₂O₃, *Chemica*, Vol. 5 (2), Desember: 51-55.
- Baunsele, A.B., Missa, H., 2020, Kajian kinetika adsorpsi metilen biru menggunakan adsorben dari sabut kelapa. *Akta Kimindo*, Vol. 5 (2): 76-85.
- Fayazi, M., Taaher, M.A., Afzali, D., Mostavani, A., 2016, Enhanced fenton like degradation of methylene blue by magnetically activated carbon/ hydrogen peroxidewith hydroxylamine as fenton enhancer, *Journal of Molecular Liquids*, Vol. 216: 781-787.
- Firdaus M., Nurdin H., 2019, Analisis nilai kalor briket bunga kelapa sawit menggunakan perekat tapioka dan damar. *Ranah Research*, Vol. 1 (3), Mei: 491-496.
- Hanum F., Gultom R.J., Simanjutak M., 2017, Adsorpsi zat warna metilen biru dengan karbon aktif dari kulit durian menggunakan KOH dan NaOH sebagai aktivator. *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 6 (1): 49-55.
- Hayati, G.I., Pertiwi, B., Ristianingsih, Y., 2016, Pengaruh variasi konsentrasi adsorben biji trembesi terhadap penurunan kadar logam kromium (Cr) total pada limbah industri sasirangan, *Konversi*, Vol 5 (2), Oktober: 1-4.
- Irfandy F., Ristianingsih Y., Istiani A, 2021, Uji aktivitas karbon aktif tongkol jagung terimpregnasi Fe₂O₃ sebagai biosorben limbah warna methylene blue, *Eksergi*, Vol. 18 (2), Juni: 90-93.
- Katheresan, V., Kandedo, J., & Lau, S. Y., 2018, Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: a review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 6(4), May: 4676-4697. doi:10.1016/j.jece.2018.06.060
- Latupeirissa J., Matheis, Sigit Hardiyanto M., 2018, Kinetika adsorpsi zat warna metilen biru oleh karbon aktif kulit kemiri (*Aleurites moluccana* (L) Willd). *Indo. J. Chem. Res.* Vol.6 (1): 12-21.
- Mustafa J & A.M. Noor, 2003, Pembuatan dan karakterisasi karbon aktif dari ban bekas dan penggunaannya untuk penyerapan ion-ion logam dalam larutan, *Jurnal Kimia Andalas*, Vol. 9: 11-15.
- Nurfitriani, 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*, Vol 4 (1): 75-85.
- Rahhutami, R, Handini, A. S., & Lestari, I., 2019, Biodelignifikasi bunga jantan kelapa sawit pasca anthesis menggunakan trametes versicolor. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, 11(3), Desember:253-260.
- Risco Hamidiyanto, 2015, Aplikasi kompos bunga jantan kelapa sawit pada pertumbuhan bibit kelapa sawit (*elaeis guineensis jacq.*) di pembibitan utama. *Jurnal Agroteknologi*. Vol.1: 1-8.
- Ristianingsih Y., Istiani A., Irfandy F., 2020, Kesetimbangan adsorpsi zat warna metilen blue dengan adsorben karbon aktif tongkol jagung terimpregnasi Fe₂O₃, *Jurnal Teknologi Agro Industri*, Vol.7 (1), Juni: 47-55.
- Sandollah, N.A.S.Md., Ghazali, S.A.I.S.M., Ibrahim, W.N.W., Rusmin, R., 2019, Adsorption-desorption profile of methylene blue dye on raw and acid activated kaolinite, *Indones. J. Chem.*, Vol.20(4), August: 755-765.
- Sari A.M., Pandit A.W., Abdullah S., 2021, Pengaruh variasi massa karbon aktif dari limbah kulit durian (*Durio zibethinus*) sebagai adsorben dalam menurunkan bilangan peroksida dan bilangan asam pada minyak goreng bekas, *Jurnal Konversi*, Vol 10 (1): 1-7.