

MODEL ISOTERM ADSORPSI KARBON AKTIF DARI AMPAS TEBU PADA PENJERAPAN ZAT WARNA METILEN BIRU

Rahmiah Sjafruddin^{1,*}, Fajar², Khairun Nisa³, Nur Indah Sari^{4,**} Andi Ajeng Ferawati^{4,**}
^{1,2,3} Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

ABSTRACT

This research aims to analyze the compatibility of the Langmuir and Freundlich isotherm model on the application of active carbon, which is activated by 5N KOH solution in the adsorption of methylene blue substance. The compatibility of the isotherm model is determined by the correlation factor value (R^2). This research is conducted by applying active bagasse carbon which is activated with 5N KOH solution (1:2 and 1:3) to adsorb methylene blue substance in the initial concentration variation and contact times ranging from 20 minutes to 80 minutes. The result shows the adsorption process of methylene blue substance in all treatments revealed high compatibility of Langmuir and Freundlich with an value $R^2 > 0,9032$ and the best model on Langmuir isotherm with R^2 value = 1. The result depicts that the adsorption of active carbon made from bagasse only occurs in a single layer (monolayer) with homogenous surface sites. This is aligned with the strong spectrum FTIR test result in which the Hydrogen bond is considered as O-H and N-H, where each active site can only adsorb on adsorbate.

Keywords: *Methylene Blue, Active Carbon, Langmuir, Freundlich*

ABSTRAK

Tujuan penelitian adalah untuk mengkaji kesesuaian model isotherm Langmuir dan Freundlich pada penggunaan karbon aktif teraktivasi larutan KOH 5N dalam mengadsorpsi zat warna metilen biru. Penentuan kesesuaian model isotherm ditentukan pada korelasi nilai *correlation factor* (R^2). Penelitian dilakukan dengan mengaplikasi karbon aktif berbahan ampas tebu yang teraktivasi dengan larutan KOH 5N (1:2 dan 1:3) untuk menjerap zat warna metilen biru dengan variasi konsentrasi awal dengan waktu kontak mulai dari 20 menit sampai 80 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses adsorpsi zat warna metilen biru pada semua perlakuan memperlihatkan kesesuaian yang baik dengan model Langmuir dan Freundlich dengan nilai $R^2 > 0,9032$ dengan model terbaik pada isotherm Langmuir dengan nilai koefisien korelasi (R^2) pada nilai 1. Hal ini, memberikan gambaran bahwa adsorpsi zat warna dengan arang aktif berbahan ampas tebu hanya berlangsung pada lapisan tunggal (*monolayer*) dengan situs permukaan bersifat homogen. Hal ini sesuai dengan spektrum hasil uji FTIR yang kuat merupakan ikatan Hidrogen (H bonded) yang dianggap sebagai ikatan O-H dan N-H di mana setiap situs aktif hanya dapat mengadsorpsi satu adsorbat.

Kata Kunci: *Metilen Biru, Karbon Aktif, Langmuir, Freundlich.*

1. PENDAHULUAN

Tujuan penelitian adalah untuk mengkaji kesesuaian model isotherm Langmuir dan Freundlich pada penggunaan karbon aktif teraktivasi larutan KOH 5N dalam mengadsorpsi zat warna metilen biru. Penentuan kesesuaian model isotherm ditentukan pada korelasi nilai koefisien korelasi (R^2). Zat warna metilen biru (MB) merupakan senyawa kimia aromatik *heterosiklik* yang merupakan pewarna *kationik* yang memiliki sifat yang berdampak buruk bagi lingkungan dan kesehatan, susah didegradasi pada saat masuk ke lingkungan perairan menggunakan metode pengolahan konvensional sederhana.[1] Selain itu, zat warna metilen biru susah diurai, bersifat beracun, karsinogenik dan mutagenik. Metilen biru biasanya digunakan sebagai pewarna sintesis di industri pakaian, tekstil, kertas, kulit dan lain-lain.[2] Penelitian untuk mengkajian penghilangan zat warna saat ini banyak dikembangkan dengan menggunakan biomass sebagai bahan penjerap (adsorben) melalui proses adsorpsi. Penggunaan biomass sebagai bahan penjerap banyak dikaji karena lebih selektif, pendekatannya kompetitif, efektif, dan murah. [3] Karbon aktif merupakan karbon yang karakteristik adsorpsinya ditingkatkan melalui proses aktivasi baik secara kimia maupun secara fisika. Salah satu teknik aktivasi dapat dilakukan dengan menggunakan bahan kimia. Kajian penelitian di mana karbon aktif berbahan dasar ampas tebu diaktivasi dengan menggunakan larutan KOH. Karbon aktif yang dihasilkan oleh aktivasi kimia umumnya menunjukkan struktur pori yang sangat terbuka, ideal untuk adsorpsi molekul besar. Karbon

* Korespondensi penulis: Rahmiah Sjafruddin, email rahmiah@poliupg.ac.id

** Mahasiswa tingkat Diploma Tiga

berbahan ampas tebu dengan aktivasi larutan KOH menghasilkan karakteristik kadar air, kadar abu, dan kadar volatile berturut-turut 4,47%, 5,30%, 20,14% dengan daya jerap terhadap metilen biru sebesar 198,22 mg/g. Efektifitas karbon aktif dapat dibandingkan dengan karbon tanpa aktivasi di mana karakteristik dengan kadar air 7,44% kadar abu 4,65%, kadar volatile metter 26,88% dan daya jerap terhadap zat warna MB berada pada kisaran 64 – 86 mg adsorbat/g adsorben.[4] Kajian aktivasi karbon aktif berbahan ampas tebu melalui karbonisasi hidrotermal (750°C, 90 menit) dan menggunakan larutan asam Pospat (H₃PO₄) 10% sebagai aktivator menghasilkan karakteristik karbon aktif dengan luas permukaan sebesar 903,47 m²/g, volume pori 0,597 cm³/g (mikropori 63,32% dan meso-makropori 36,68%) dengan kemampuan menjerap zat warna metilen biru sebesar 170,40 mg/g.[5] Selain itu, kajian adsorben dari ampas tebu untuk menghilangkan zat warna metilen biru memiliki kemampuan penghilangan zat warna metilen biru 5 - 40 kali lipat lebih tinggi daripada karbon aktif komersial, dengan mengontrol pH proses dimana pH alkali jauh lebih baik dari pada pH asam. Kapasitas penjerapan zat warna metilen biru dengan menggunakan ampas tebu termodifikasi sebesar 84,7458 mg/g.[6]

Kapasitas adsorpsi karbon aktif dapat ditentukan dengan penggunaan isoterm adsorpsi. Isoterm adsorpsi adalah persamaan yang berkaitan dengan jumlah zat terlarut yang teradsorpsi ke padatan dan konsentrasi kesetimbangan zat terlarut dalam larutan pada kondisi tertentu. Isoterm yang paling umum digunakan untuk aplikasi karbon aktif dalam pengolahan air dan air limbah adalah isoterm Freundlich dan Langmuir. Penghilangan zat warna metilen biru dengan menggunakan karbon aktif dengan meninjau data keseimbangan dan kemampuan daya adsorpsi serta kapasitas adsorpsi disesuaikan dengan model isoterm Langmuir dan Freundlich. Kesesuaian dari dua model isotherm adsorpsi untuk menjerap zat warna metil biru ditentukan melalui korelasi nilai koefisien factor (R²). Nilai koefisien factor (R²) yang semakin mendekati nilai 1 diasumsikan sebagai dasar mengikuti dua model tersebut. [7] Isoterm Langmuir memiliki dasar rasional dan isoterm Freundlich adalah persamaan empiris seperti persamaan di bawah ini :

Isoterm adsorpsi Freundlich :

$$\frac{X}{M} = qe = k \cdot [Ce]^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots(1)$$

Bentuk persamaan garis lurus dari isoterm Freundlich adalah:

$$\ln \frac{X}{M} = \ln qe = \ln k + \frac{1}{n} \ln [Ce] \dots\dots\dots(2)$$

Di mana :

- X : massa adsorbat yang teradsorpsi ke massa adsorben (mg adsorbat/g adsorben)
- M : Massa Adsorben (g)
- [Ce] : Konsentrasi adsorbat dalam keseimbangan dengan adsorbat teradsorpsi (mg/L)
- K, n : konstanta

Isoterm adsorpsi Langmuir :

Isoterm adsorpsi Langmuir mengasumsikan bahwa adsorpsi terjadi di situs homogen tertentu dalam adsorben, dan telah berhasil digunakan untuk banyak proses adsorpsi lapisan tunggal (*monolayer*). Adapun model isoterm Langmuir adalah:

$$\frac{X}{M} = qe = \frac{q_m \cdot b [Ce]}{1 + Kl [Ce]} \dots\dots\dots(3)$$

Bentuk persamaan garis lurus dari isoterm Langmuir adalah:

$$\frac{[Ce]}{\frac{X}{M}} = \frac{[Ce]}{qe} = \frac{1}{q_m Kl} + \frac{1}{q_m} [Ce] \dots\dots\dots(4)$$

Di mana :

- X : massa adsorbat yang teradsorpsi ke massa adsorben (mg adsorbat/g adsorben)
- M : Massa Adsorben (g)
- [Ce] : Konsentrasi adsorbat dalam keseimbangan dengan adsorbat teradsorpsi (mg/L)
- qm : kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)
- Kl : konstanta (L/mg)

Untuk penentuan nilai daya jerap adsorben dapat ditentukan dengan persamaan :

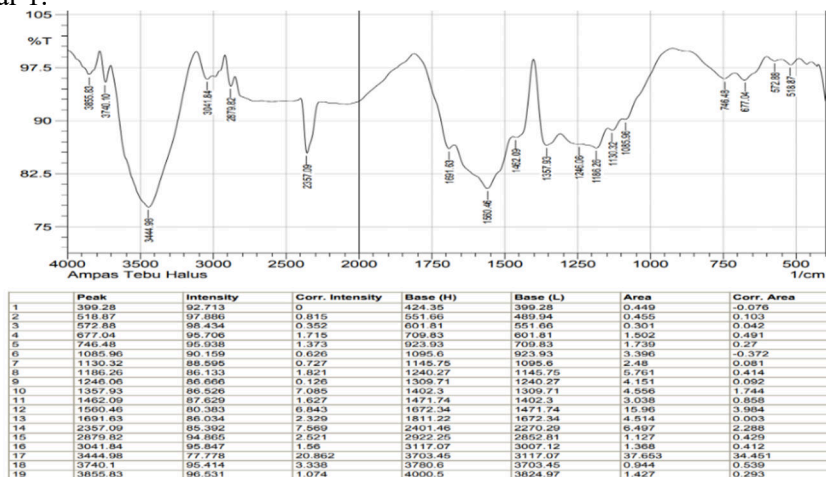
$$\frac{X}{M} = qe = \frac{[C_o] - [C]}{\text{massa karbon aktif}} \times \text{volume sampel} \dots\dots\dots(5)$$

2. METODE PENELITIAN

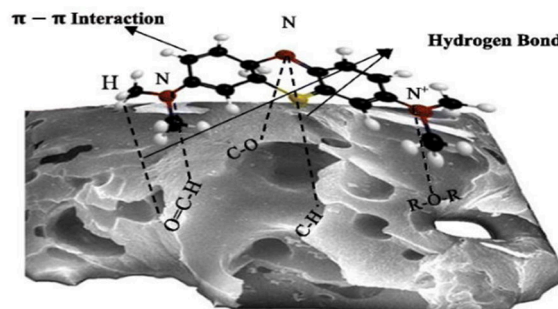
Penelitian ini menggunakan bahan baku karbon aktif berbahan ampas tebu, larutan KOH 5N, dan metilen biru (MB). Karbon aktif yang digunakan pada ukuran 120 mesh, yang dikarakterisasi dengan uji The Fourier transform infrared (FTIR). Proses adsorpsi secara batch pada volume sampel 100 mL dengan menggunakan karbon aktif sebanyak 0,5 g untuk menjerap zat warna metilen biru. Kajian daya jerapan karbon aktif dengan perlakuan aktivasi karbon dengan larutan KOH 5N berbandingan 1:2, dan 1:3 dengan konsentrasi metilen biru (800, 850 900, 950) mg/L dengan waktu kontak dimulai dari (20, 40, 60, 80) menit. Serapan kesetimbangan metilen biru yang tersisa ditentukan dengan metode spektrofotometer (UV-VIS). Data yang dihasilkan diolah dengan menentukan kapasitas adsorpsi karbon aktif dengan menggunakan isoterm Langmuir dan Freundlich.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Gugus fungsi karbon aktif teraktivasi KOH berbahan baku ampas tebu dengan menggunakan The Fourier transform infrared (FTIR). Pembacaan spektrum pada FTIR terbagi atas empat range wilayah yakni wilayah 4000 – 2500 cm⁻¹ yang merupakan ikatan X-H, untuk wilayah 2500-1900 cm⁻¹ terdiri dari CO₂, C=C, C=N, X=Y=Z, wilayah 1900-1500 cm⁻¹ merupakan ikatan C=O, C=C, C=N, C=C, NO₂, dan wilayah 1500-600 cm⁻¹ ikatan NO₂, -SO₂-, P=O, C-O, C-H, C-Cl.[9] Karbon aktif yang diaplikasikan dalam penjerapan zat warna metilen biru dengan ukuran 120 mesh diaktivasi dengan larutan KOH 5N. Karbon aktif dikarakteristik morfologi struktur memperlihatkan struktur ikatan kimia yang dianalisis menggunakan FTIR seperti pada Gambar 1.



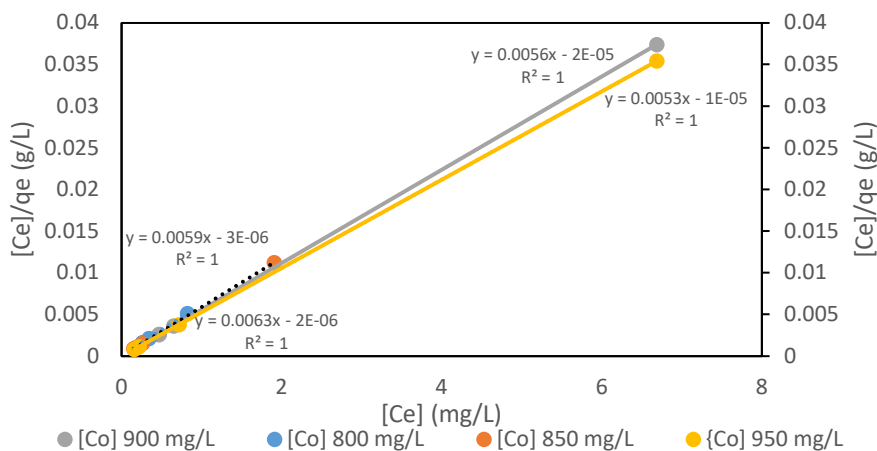
Gambar 1. Karakterisasi spektrum ikatan kimia karbon aktif berbahan ampas tebu dengan Uji FTIR. Spektrum FTIR karbon aktif ukuran 120 mesh (mesh) memperlihatkan ada sekitar 17 puncak (*peak*), dengan puncak lebar dan fitur kecil. Struktur ikatan karbon aktif dari hasil uji FTIR diperoleh tiga puncak tertinggi pada *peak* 3444,98 cm⁻¹, 2357 cm⁻¹, 1560 cm⁻¹. Peak 3444,98 cm⁻¹ yang merupakan wilayah dengan reange 4000 – 2500 cm⁻¹ yang merupakan spektrum Hidrogen (H) ikatan X-H, yang didasarkan pada pembagian range wilayah spektrum [8] Kemudian *peak* 2357,09 cm⁻¹ dalam reange 2280-2410 yang merupakan PH is phospines dan 1560,46 yang sejalan dengan hasil penelitian [7] yang berada pada wilayah 1630 cm⁻¹ yang merupakan cincin aromatik dan getaran lentur N-H. Spekturum ikatan kimia merupakan suatu faktor yang berpengaruh pada model penjerapan suatu adsorben. Gambaran phenomena proses adsorpsi dari karbon aktif seperti pada Gambar 2.



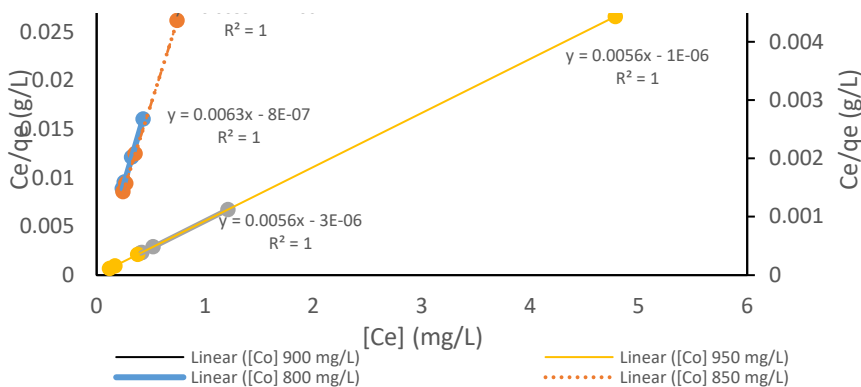
Gambar 2. Gambaran phenomena proses adsorpsi pada karbon aktif. [9]

Phenomena spektrum ikatan kimia melalui uji FTIR akan memperlihatkan proses penjerapan terhadap zat warna metilen biru. Penjerapan zat warna pada suatu larutan dengan mengontakkan dengan karbon aktif (adsorben), di mana solute (adsorbat) akan terjerap pada permukaan pori-pori arang aktif. Banyaknya adsorbat yang terjerap pada adsorben seiring dengan waktu kontak akan mengalami peningkatan sampai tercapai kesetimbangan. Besarnya kemampuan penjerapan karbon aktif terhadap zat warna MB dapat ditinjau menggunakan model Isoterm adsorpsi. Model isoterm adsorpsi yang dikaji dalam penjerapan zat warna MB adalah isoterm Langmuir dan Freundlich.

Model adsorpsi isoterm Langmuir dengan menggunakan persamaan (3), yang dapat diturunkan menjadi model persamaan garis lurus seperti pada persamaan (4). Data kesetimbangan proses penjerapan karbon aktif diolah dengan menggunakan persamaan garis lurus dengan membuat grafik hubungan antara konsentrasi kesetimbangan $[Ce]$ versus $[Ce]/q_e$, yang akan menghasilkan nilai koefisien korelasi (R^2). Kajian model isoterm Langmuir pada proses adsorpsi menggunakan karbon aktif teraktivasi KOH dengan perbandingan (1:2; dan 1:3) pada konsentrasi awal zat warna metilen biru mulai dari (800, 850,900,950) mg/L dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Isoterm Langmuir untuk adsorpsi zat warna MB (perbandingan karbon aktif teraktivasi KOH 1:2)

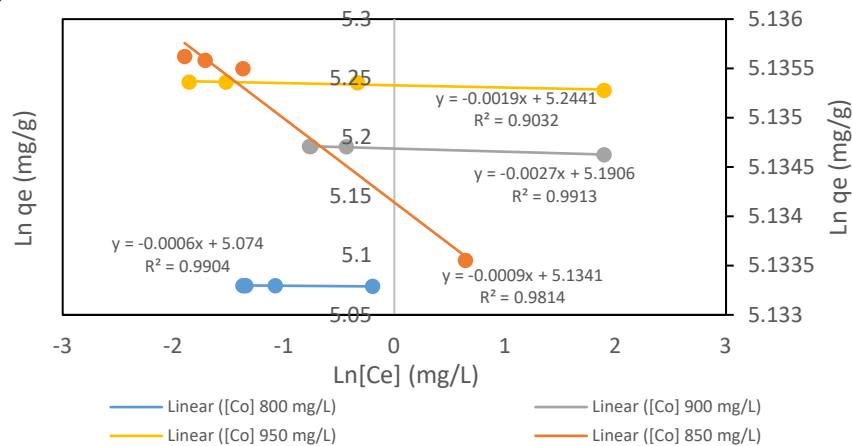


Gambar 4. Isoterm Langmuir untuk adsorpsi zat warna MB (perbandingan karbon aktif teraktivasi KOH 1:3)

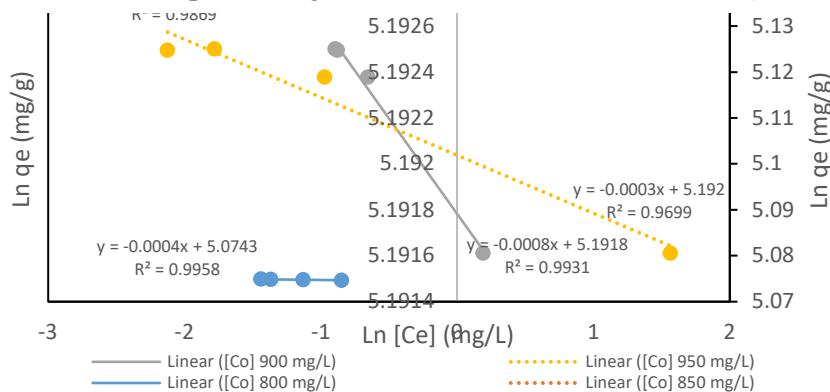
Penggunaan karbon aktif teraktivasi KOH 1:2 dan 1:3 untuk semua perlakuan konsentrasi awal zat warna MB dengan model isoterm Langmuir memberikan nilai koefisien korelasi garis lurus (R^2) pada nilai 1 (satu). Hal ini memberikan gambaran bahwa adsorpsi zat warna MB oleh arang aktif berbahan ampas tebu hanya berlangsung dengan lapisan tunggal (*monolayer*) dengan situs permukaan bersifat homogen, di mana setiap situs aktif hanya dapat mengadsorpsi satu adsorbat. Hasil nilai koefisien korelasi garis lurus (R^2) dari model isoterm Langmuir dibandingkan dengan menggunakan model isoterm Freundlich.

Model adsorpsi isoterm Freundlich dengan menggunakan persamaan (1), yang dapat diturunkan menjadi model persamaan garis lurus seperti pada persamaan (2). Data kesetimbangan proses penjerapan karbon aktif diolah dengan menggunakan persamaan garis lurus dengan membuat grafik hubungan antara konsentrasi kesetimbangan $\ln [Ce]$ versus $\ln q_e$, yang akan menghasilkan nilai koefisien korelasi (R^2)

persamaan garis lurus. Adapun grafik yang diperoleh dari pengolahan data kesetimbangan seperti pada Gambar (5) dan (6).



Gambar 5. Isoterm Freundlich untuk adsorpsi zat warna MB (perbandingan karbon aktif teraktivasi KOH 1:2)



Gambar 6. Isoterm Freundlich untuk adsorpsi zat warna MB (perbandingan karbon aktif teraktivasi KOH 1:3)

Gambar 5 dan 6 memperlihatkan proses penyerapan zat warna MB pada variasi konsentrasi awal dengan karbon aktif teraktivasi KOH 1:2 dan 1:3. Model isoterm Freundlich pada penggunaan karbon aktif teraktivasi KOH 1:2 memiliki nilai koefisien korelasi (R^2) berada pada range 0,9032 – 0,9913 dan karbon aktif teraktivasi KOH 1:3 dengan nilai R^2 pada range 0,9699 – 0,9958. Nilai R^2 pada karbon aktif teraktivasi KOH 1:3 lebih tinggi dari pada karbon aktif teraktivasi KOH 1:2. Kajian isoterm Freundlich merupakan gambaran permukaan karbon aktif berbahan ampas tebu yang bersifat heterogen. Proses penyerapan memungkinkan terjadi pada beberapa lapisan (*multilayer*) yang berlangsung secara fisik di mana memungkinkan adsorbat bergerak bebas sehingga dapat dijerap pada setiap sisi yang berbeda-beda.

Gambaran hasil penelitian menunjukkan bahwa proses adsorpsi zat warna metilen biru dengan karbon aktif berbahan ampas tebu pada semua perlakuan memperlihatkan kesesuaian yang baik dengan model Langmuir dan Freundlich dengan nilai $R^2 > 0,9032$. Kesesuaian model isoterm dalam penyerapan zat warna MB dengan karbon aktif berbahan ampas tebu sejalan dengan hasil penelitian yang ditemukan oleh [6] dengan menggunakan karbon aktif berbahan bagas tebu dalam menyerap zat warna MB dimana nilai R^2 pada model isoterm Langmuir berkisar 0,9611-0,9852 dan model isotherm Freundlich dengan nilai R^2 lebih kecil yakni 0,8783-0,9658. Begitu pula yang dilakukan oleh [10] dimana zat warna MB dijerap dengan menggunakan karbon aktif berbahan sekam padi terwakili dengan baik oleh persamaan isoterm Langmuir. Nilai koefisien korelasi R^2 yang lebih tinggi dianggap memiliki kesesuaian sehingga model terbaik adsorpsi karbon aktif berbahan ampas tebu untuk menyerap zat warna MB adalah isoterm Langmuir dengan nilai koefisien korelasi (R^2) pada nilai 1. Hal ini, memberikan gambaran bahwa adsorpsi zat warna dengan arang aktif berbahan ampas tebu hanya berlangsung pada lapisan tunggal (*monolayer*) dengan situs permukaan bersifat homogen. Jika dikaitkan dengan spektrum hasil uji FTIR ada kesesuaian. Kekuatan yang kuat

merupakan ikatan Hidrogen (H bonded) yang dianggap sebagai ikatan O–H dan N–H di mana setiap situs aktif hanya dapat mengadsorpsi satu adsorbat.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses adsorpsi zat warna metilen biru pada semua perlakuan memperlihatkan kesesuaian yang baik dengan model Langmuir dan Freundlich dengan nilai $R^2 > 0,99$ dengan model terbaik pada isoterm Langmuir dengan nilai koefisien korelasi (R^2) pada nilai 1. Hal ini, memberikan gambaran bahwa adsorpsi zat warna dengan arang aktif berbahan ampas tebu hanya berlangsung pada lapisan tunggal (*monolayer*) dengan situs permukaan bersifat homogen. Hal ini sesuai dengan spektrum hasil uji FTIR yang kuat merupakan ikatan Hidrogen (H) yang dianggap sebagai ikatan O–H dan N–H di mana setiap situs aktif hanya dapat mengadsorpsi satu adsorbat.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Direktur Politeknik Negeri Ujung pandang dan Ketua Unit Penelitian dan pengabdian kepada masyarakat Politeknik Negeri Ujung Pandang, atas kepercayaannya untuk membiayai kegiatan Penelitian ini, dengan Nomor : B/14/PL.10.11/PT.01.05/2022, tanggal 7 Juni 2022.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. F. Mashkoo & A. Nasar., “Magsorbents: Potential candidates in wastewater treatment technology – A review on the removal of methylene blue dye., Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Volume 500, 166408., Elsevier., 15 April 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.166408>.
- [2]. O.O. Peter, O. A. Timothy, O. O. Elizabeth, J. O. Olusola., “Methylene blue dye: Toxicity and potential elimination technology from wastewater”., Results in Engineering, Volume 16, 1000678., Elsevier., Desember 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100678>
- [3]. L. Jolantje., F.J.D.P Matheis., Tanasale, H. M. Sigit., “Kinetics of Blue Methylene Dyes Adsorption Substances by Activated Carbon from Hazelnut Shell”., Indo. J. Chem. Res, 6 (1). Hal. 12 - 21., 2018.
- [4]. Sjafruddin., R., dkk.,”Adsorpsi Metilen Biru dengan Karbon tanpa Aktivasi dan Teraktivasi Larutan KOH., Prosiding 978-623-98762-1-0. 2021.
- [5]. G. T. C Sunarti, “Kajian Pembuatan Arang Aktif Berbahan Baku Bagas Tebu Melalui Kombinasi Proses Karbonisasi Hidrotermal Dan Aktivasi Kimia,” *J. Agroindustrial Technol.*, vol. 24, no. 2, pp. hal. 157–165, 2014.
- [6]. HD Utomo , RYN Phoon , Z. Shen , LH Ng , ZB Lim., “Removal of Methylene Blue Using Chemically Modified Sugarcane Bagasse”., Natural Resources, vol. 6, hal. 209-220., Published Online April 2015 <http://dx.doi.org/10.4236/nr.2015.64019>.
- [7]. FU Jianwei, W. Minghuan, L. Shujun, Z. Jinghui, Z. Jianan, H. Runping, Xu. Qun. “Adsorption of methylene blue by a high-efficiency adsorbent (polydopamine microspheres): Kinetics, isotherm, thermodynamics and mechanism analysis”., Chemical Engineering Journal., Volume 259, Pages 53-61.,1 January 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ccej.2014.07.101>.
- [8]. M. H Laurence, and D.W.C. Timothy., “Introduction to Organic Spectroscopy”., . ISBN: 0-19-855755-8., 9 780198 557555. Oxford University Press. Oktobe 1996.
- [9]. Mahmoodi, N. M., Taghizadeh, M., & Taghizadeh, A.. Mesoporous activated carbons of low-cost agricultural bio-wastes with high adsorption capacity: Preparation and artificial neural network modeling of dye removal from single and multicomponent (binary and ternary) systems. Journal of Molecular Liquids, 269, 217–228. Elsevier. November 2018 <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.07.108>
- [10]. V. Vadivelank, V. Kumar.,”Equilibrium, kinetics, mechanism, and process design for the sorption of methylene blue onto rice husk”., Journal of Colloid and Interface Science, Volume 286, 1, pages 90-100. June 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.01.007>[Get rights and content](#)