



## Model Isotherm Adsorpsi Triptamin menggunakan Adsorben Silika termodifikasi BSA

(*Adsorption Isotherm Model of Tryptamine Using BSA-Modified Silica Adsorbent*)

Rosalia Febriana Deram<sup>1</sup>, Antonius Umbu Anarato<sup>1</sup>, Dewi Lestarani<sup>1</sup>, Yantus A.B. Neolaka<sup>1</sup>, Yosep Lawa<sup>1</sup>, Eka. B. S. Kalla<sup>1</sup>, Anselmus B. Baunsele<sup>2</sup>, Fidelis Nitti<sup>3</sup>, Johnson N. Naat<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Kimia, FKIP, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto Penfui, Kupang, NTT, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Pendidikan Kimia, FKIP, Universitas Katolik Widya Mandira, Kupang, NTT, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Kimia, FST, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto Penfui, Kupang, NTT, Indonesia

\*e-mail korespondensi: [johnson\\_naat@staf.undana.ac.id](mailto:johnson_naat@staf.undana.ac.id)

### Info Artikel:

#### Dikirim:

15 November 2024

#### Revisi:

30 November 2024

#### Diterima:

9 Desember 2024

### Kata Kunci:

Adsorption, Tryptamin, bovine serum albumin, model isotherm

### Keywords:

Adsorption, Tryptamine, Bovine Serum Albumin, Isotherm Model

### Lisensi:



Attribution-Non Commercial-Share Alike 4.0 International (CC-BY-NC-SA 4.0)



**Abstrak**-Artikel ini melaporkan model isotherm adsorpsi triptamin menggunakan adsorben silika termodifikasi bovine serum albumin ( $\text{SiO}_2\text{@BSA}$ ), yang diperoleh dari pasir alam Takari sebagai sumber silika. Silika diperoleh dengan metode ekstraksi dari pasir alam kemudian dimodifikasi dengan BSA. Adsorben  $\text{SiO}_2\text{@BSA}$  digunakan untuk mengadsorpsi triptamin menggunakan sistem batch dengan konsentrasi 5, 10, 20, 30, 40, dan 50 mg/L. Analisis kandungan triptamin menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 423 nm. Delapan model yang digunakan untuk menggambarkan model isotherm adsorpsi triptamin. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa adsorpsi triptamin mengikuti model isotherm Langmuir dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,938 dan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 7,961 mg/g. Penelitian ini menegaskan potensi  $\text{SiO}_2\text{@BSA}$  sebagai adsorben yang efektif untuk adsorpsi triptamin, memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi adsorpsi untuk senyawa organik.

**Abstract:** This article reports the adsorption isotherm model of tryptamine using bovine serum albumin-modified silica adsorbent ( $\text{SiO}_2\text{@BSA}$ ) obtained from Takari natural sand as a silica source. Silica was extracted from natural sand and then modified with BSA. The  $\text{SiO}_2\text{@BSA}$  adsorbent was used to adsorb tryptamine in a batch system with 5, 10, 20, 30, 40, and 50 mg/L concentrations. Tryptamine content was analyzed using a UV-Vis spectrophotometer at 423 nm. Eight models were employed to describe the adsorption isotherm of tryptamine. The modeling results revealed that tryptamine adsorption follows the Langmuir isotherm model, with an  $R^2$  value of 0.938 and a maximum adsorption capacity of 7.961 mg/g. This study confirms the potential of  $\text{SiO}_2\text{@BSA}$  as an effective adsorbent for tryptamine adsorption, contributing to the development of adsorption technology for organic compounds.

## PENDAHULUAN

Triptamin adalah senyawa *biogenic amine* yang sering ditemukan dalam makanan yang pada umumnya diproduksi secara berlebihan di beberapa tanaman transgenik seperti kanola, kentang, beras dan tembakau [1]. Triptamin juga diproduksi oleh mikrobioma di dalam usus halus. Perubahan struktur mikroba dalam usus halus dapat mengubah kandungan triptamin dalam tubuh [2, p. 9]. Selain itu triptamin dapat dijumpai dalam bir, keju, buah pisang, tomat dan kiwi [3]. Secara umum, amina biogenik dianggap beracun karena bersifat sitotoksik pada makanan. Nilai ambang sitotoksik untuk triptamin adalah 3,7 kali lebih rendah dari  $\beta$ -feniletamine [4]. Kurangnya pengetahuan dan penggunaan obat-obatan berlebihan yang mengandung triptamin dapat menyebabkan risiko overdosis yang tidak disengaja dan dapat menyebabkan kematian, baik secara langsung karena efeknya sendiri, atau secara tidak langsung karena gangguan perilaku

dan efek yang dihasilkan dari trauma atau cedera. Toksisitas senyawa ini dapat muncul sebagai halusinasi, agitasi, mual, muntah, tekanan darah tinggi, dan sakit kepala [4], [5]. Banyak penelitian yang belum dilakukan untuk mengatasi efek keracunan dalam tubuh yang diakibatkan oleh konsumsi triptamin secara berlebih. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengatasi efek keracunan triptamin dalam tubuh manusia menggunakan metode adsorpsi.

Adsorpsi adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida (cairan maupun gas) terikat pada suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu film (lapisan tipis) pada permukaan padatan tersebut [6]. Metode adsorpsi paling banyak digunakan karena memiliki konsep yang lebih sederhana dan juga ekonomis [7]. Proses adsorpsi yang paling berperan adalah adsorben [8]. Adsorben merupakan suatu zat penyerap yang biasa digunakan dalam penelitian. Adsorben yang sering digunakan adalah sekam padi [9], biomasa tumbuhan yang dikenal dengan fitofiltrasi [8], batu pasir [10] dan silika [11].

Silika merupakan bahan oksida golongan IVA yang memiliki ciri struktur utama tetrahedron, yaitu setiap satu atom silikon berikatan tunggal dengan empat atom oksigen. Silika dapat disintesis dari bahan organik maupun anorganik dari alam [12]. Senyawa silika ditemukan di beberapa bahan alam seperti pasir, kuarsa, gelas, dan sebagainya. Silika sebagai senyawa yang terdapat di alam berstruktur kristalin, sedangkan sebagai senyawa sintesis adalah amorph [13]. Telah banyak dilakukan penelitian sintesis silika sebagai adsorben yang diperoleh dari bahan-bahan alam, seperti ampas tebu [14], sekam padi [15], dan pasir alam [12], [16]. Potensi dan kelimpahan pasir alam di Nusa Tenggara Timur, khususnya di Pulau Timor biasa digunakan sebagai sumber silika. Salah satunya adalah pasir alam Takari. Pasir alam Takari memiliki kualitas yang baik karena karakter kelembutan dan kebersihannya yang tinggi. Komposisi silika ( $\text{SiO}_2$ ) pada pasir Takari sebesar 32,9% sedangkan setelah ekstraksi komposisinya meningkat menjadi 97,8% [17], [18]. Maka dari itu, pasir alam Takari sangat cocok dimanfaatkan sebagai bahan dasar adsorben silika.

Silika mempunyai sifat unik yang tidak dimiliki oleh senyawa anorganik lainnya, seperti sifat inert, sifat adsorpsi dan pertukaran ion yang baik, mudah dimodifikasi dengan senyawa kimia tertentu untuk meningkatkan kinerjanya, kestabilan mekanik dan kestabilan termal tinggi [19], [20]. Walaupun mempunyai berbagai kelebihan, silika juga memiliki beberapa kelemahan. Kelemahan ini terdapat pada silika jenis situs aktif berupa gugus silanol ( $-\text{SiOH}$ ) dan siloksan ( $\text{Si-O-Si}$ ). Gugus silanol ini mempunyai sifat keasaman yang rendah, juga memiliki oksigen sebagai atom donor yang sifatnya lemah [13], [21]. Namun, gugus silanol ( $\equiv\text{Si-OH}$ ) merupakan gugus yang mudah dimodifikasi karena terletak pada permukaan silika. Tujuan modifikasi adalah untuk mendapatkan material baru yang lebih unggul dari material atau komponen penyusunnya [22]. Karena kelemahan silika tersebut maka perlu dilakukan modifikasi adsorben dalam proses adsorpsi triptamin yang berasal dari gugus fungsi *bovine serum albumin* (BSA).

Bovine serum albumin (BSA) adalah protein plasma yang melimpah pada mamalia [23] dengan konsentrasi 5 g/500 mL. BSA juga dapat dijumpai dalam makanan seperti daging sapi dan putih telur. Selain itu, BSA mempunyai komposisi asam amino sebanyak 20 macam [24]. BSA menjadi salah satu protein serum yang paling efektif dipelajari. Hal ini dikarenakan BSA memiliki struktur homologi yang hampir sama dengan serum albumin pada manusia. Kelebihan yang dimiliki BSA adalah lebih mudah tersedia daripada protein lain, biaya isolasi murah, kelarutan yang tinggi, dan stabilitas yang baik [25]. Selain itu pemilihan modifikasi menggunakan BSA ini dikarenakan BSA tidak beracun dan dapat terdegradasi secara *in vivo*, sehingga nanopartikel yang dihasilkan mudah beradaptasi dengan tubuh manusia [26]. Penelitian yang dilakukan oleh Vlasova *et al.* (2006) [27] telah berhasil melakukan modifikasi permukaan silika *bovine serum albumin* pada senyawa biogenik amin yaitu triptamin, histamin dan

tiramin dimana pada penelitian tersebut, modifikasi awal BSA pada permukaan silika mengubah karakter adsorpsi biogenik amin dan memperluas kisaran pH dimana mereka teradsorpsi. Proses adsorpsi oleh suatu adsorben dipengaruhi beberapa faktor serta mempunyai pola isotherm adsorpsi tertentu yang khas. Jenis adsorben, pH, jenis zat yang diserap, luas permukaan adsorben, temperatur dan konsentrasi zat yang diadsorpsi [28]. Studi isotherm adsorpsi dilakukan untuk menentukan hubungan antara konsentrasi adsorbat dan tingkat penyerapannya ke permukaan adsorben pada suhu kamar. Menggunakan beberapa model isotherm pada adsorpsi dapat memprediksi kinerja adsorpsi, karena model isotherm adsorpsi dapat memberikan informasi tentang kapasitas adsorben, mekanisme adsorpsi dan evaluasi kinerja proses adsorpsi [16].

Penelitian terkait adsorpsi senyawa biogenik amin belum banyak dilakukan. Penelitian terkait kajian isotherm terhadap adsorpsi senyawa biogenik amin (tiramin) pada *ca-montmorillonite* telah dilakukan oleh Chang et al. (2018) [29]. Penelitian tersebut dilakukan perbandingan menggunakan dua model isotherm yang berbeda yakni model isotherm Langmuir dan isotherm Freundlich. Hasil yang dilaporkan bawah mekanisme adsorpsi tiramin cenderung mengikuti model isotherm Langmuir dengan kapasitas adsorpsi sebesar 682 mmol/kg (93 mg/g). Namun, penelitian terkait adsorpsi triptamin menggunakan silika termodifikasi *bovine serum albumin* belum pernah dilakukan sehingga menjadi keterbaruan dalam artikel yang kami laporkan. Dalam artikel ini akan dilaporkan delapan model isotherm yaitu model isotherm Langmuir, model isotherm Freundlich, model isotherm Temkim, model isotherm Brunauer-Emmet-Teller (BET), model isotherm Redlich-Peterson, model isotherm Hasley, model isotherm Javanovic, dan model isotherm Dubinin-Radushkevich.

## METODE PENELITIAN

### Preparasi Sampel

Prosedur yang digunakan dalam preparasi ini mengikuti Naat et al. (2021) [30]. Pasir alam Takari yang telah diambil dari Takari ditimbang sebanyak 400 g, dicuci dengan aquades dan diproses melalui *wise stirrer* dengan kecepatan putar 272,72 rpm selama 5 menit. Proses pencucian diulang sebanyak 3 kali untuk menghilangkan pengotor berupa tanah dan pengotor lainnya. Pasir dikeringkan dengan suhu 105°C selama 2 jam dalam oven, kemudian dihaluskan menggunakan lumpang dan diayak menggunakan ayakan 200 mesh. Pasir hasil ayakan ditimbang sebanyak 50 g dan direndam dengan HCl 2 M sebanyak 200 mL selama 12 jam untuk menghilangkan pengotor selain SiO<sub>2</sub>. Selanjutnya pasir dicuci dengan aquades, proses pencucian dilakukan hingga pH dari pasir rendemen netral. Kemudian pasir disaring menggunakan kertas saring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 2 jam. Hasilnya digerus menggunakan mortal sehingga didapatkan ukuran serbuk pasir yang homogen.

### Ekstraksi Silika (SiO<sub>2</sub>)

Sebanyak 16 g serbuk pasir Takari berukuran 200 mesh dilarutkan dalam 240 mL larutan NaOH 7 M dan direfluks pada suhu 105°C sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 6 jam hingga terbentuk cairan natrium silikat. Campuran natrium silikat yang dihasilkan dicampurkan dengan 240 mL aquades dan didiamkan selama 24 jam kemudian dipisahkan melalui penyaringan dengan menggunakan kertas saring *whatman* No.42. Filtrat tersebut kemudian dititrasi menggunakan larutan HCl 2 M sampai pH 7 sambil terus diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga terbentuk endapan putih. Endapan putih yang terbentuk kemudian didiamkan sampai suhu ruang dan dicuci menggunakan aquades panas sebanyak 5 kali. Pada pencucian ke-5 larutan hasil pencucian diambil 1 mL dan direaksikan dengan 1 mL AgNO<sub>3</sub> untuk mengidentifikasi HCl. Selanjutnya disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C

selama 5 jam untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dalam silika. Serbuk putih yang diperoleh adalah silika hasil ekstraksi.

### Modifikasi silika dengan BSA

Pembuatan silika-BSA diawali dengan pembuatan larutan buffer fosfat. buffer fosfat dibuat dengan melarutkan 6,8 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ke dalam 100 mL aquades dan diaduk. Selanjutnya, sebanyak 2 g silika dilarutkan dalam 20 mL *buffer* fosfat dan disonikasi selama 7 menit dengan daya 50 W. Kemudian dibuat larutan BSA dengan menimbang 0,004 gram BSA dan ditambahkan 10 mL *buffer* fosfat. Larutan BSA diinteraksikan dengan suspensi silika, diatur pada pH 5 dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 80 menit. Suspensi yang dihasilkan kemudian disonikasi selama 7 menit dengan daya 50 W. Suspensi yang dihasilkan kemudian disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 300 rpm dan dicuci menggunakan *buffer* fosfat dan aquades. Kemudian endapan yang dihasilkan disaring dan dikeringkan pada suhu kamar.

### Pembuatan Larutan Standar Triptamin

Sebanyak 0,1 g triptamin dilarutkan dalam 100 mL aquades sehingga terbentuk larutan triptamin 1000 mg/L. Kemudian diencerkan untuk membuat larutan dengan variasi konsentrasi 20, 40, 60, 80, dan 100 mg/L.

### Pembuatan Reagen Pauly

Sebanyak 0,9 g asam sulfat dilarutkan dalam 100 mL, HCl 1 M kemudian diambil 3 mL campuran asam sulfat dan direaksikan dengan 3 mL larutan  $\text{NaNO}_2$  5%. Kemudian, didinginkan dengan direndam dalam air es selama 5 menit. Larutan hasil perendaman direaksikan dengan 12 mL larutan  $\text{NaNO}_2$  5% dan didiamkan selama 5 menit pada temperatur ruang. Lalu hasil pendiaman direndam dalam air es selama 15 menit. Hasil perendaman disimpan selama 12 jam pada temperatur ruang dan selanjutnya siap digunakan.

### Penentuan Panjang Gelombang Optimum

Diambil 1 mL salah satu seri larutan standar triptamin yaitu 80 mg/L dan direaksikan dengan 4 mL larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 1 mL reagen Pauly, dan 1 mL aquades, kemudian dilakukan analisis dengan spektrometer UV-Vis pada panjang gelombang rentang visible 400-800 nm. Panjang gelombang optimum diberikan oleh panjang gelombang dengan absorbansi terbesar.

### Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar Triptamin

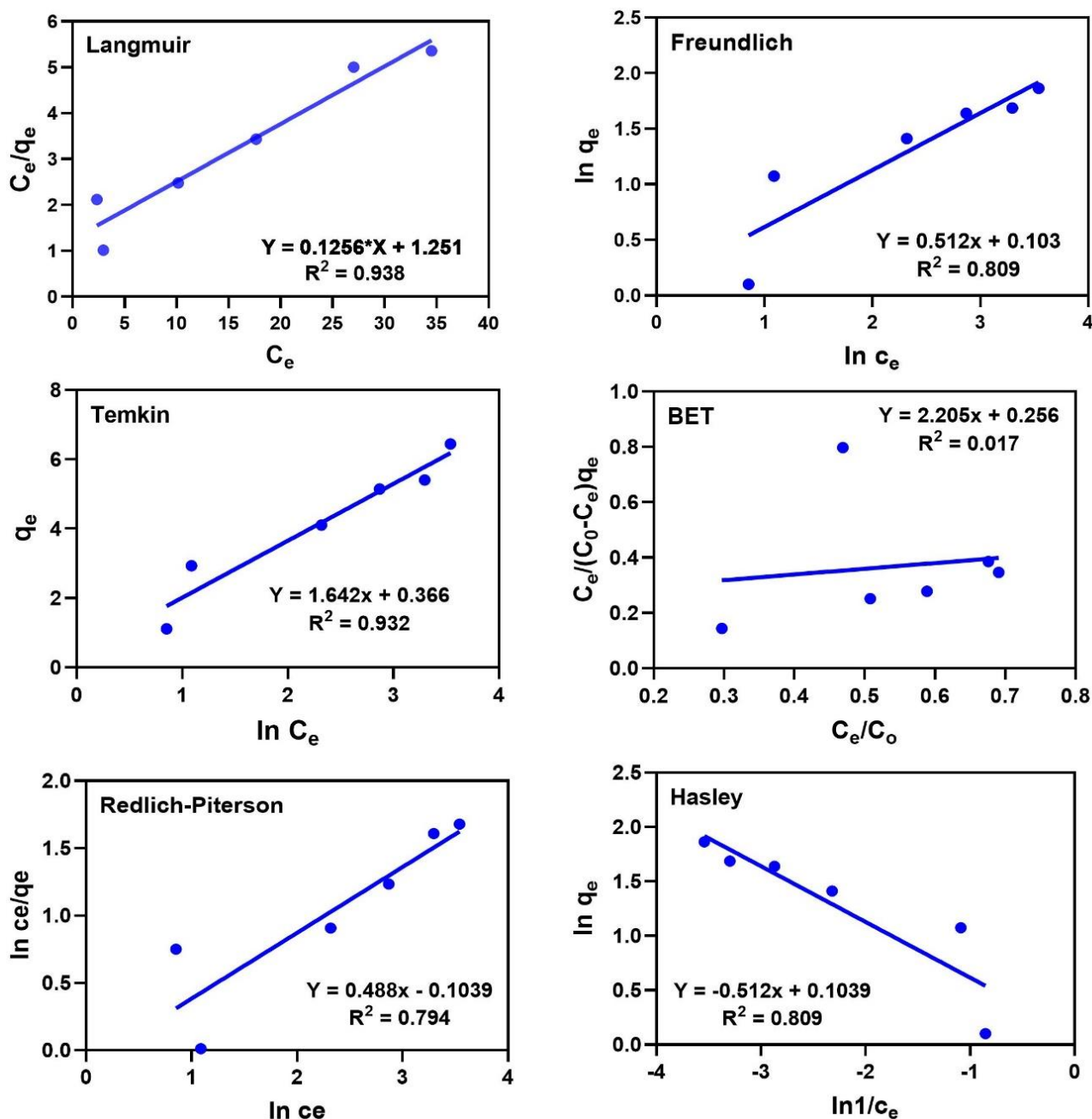
Pembuatan kurva kalibrasi pada larutan standar adalah untuk menemukan hubungan antara adsorpsi dan konsentrasi larutan triptamin. Diambil masing-masing 1 mL larutan standar triptamin 20, 40, 60, 80, dan 100 mg/L dan direaksikan dengan 4 mL larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 1 mL reagen Pauly dan 1 mL aquades. Kemudian diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrometer UV-Vis pada panjang gelombang 423 nm. Data absorbansi dari hasil pengukuran digunakan untuk membuat kurva hubungan antara konsentrasi dan absorbansi.

### Adsorpsi Triptamin Menggunakan $\text{SiO}_2$ @BSA

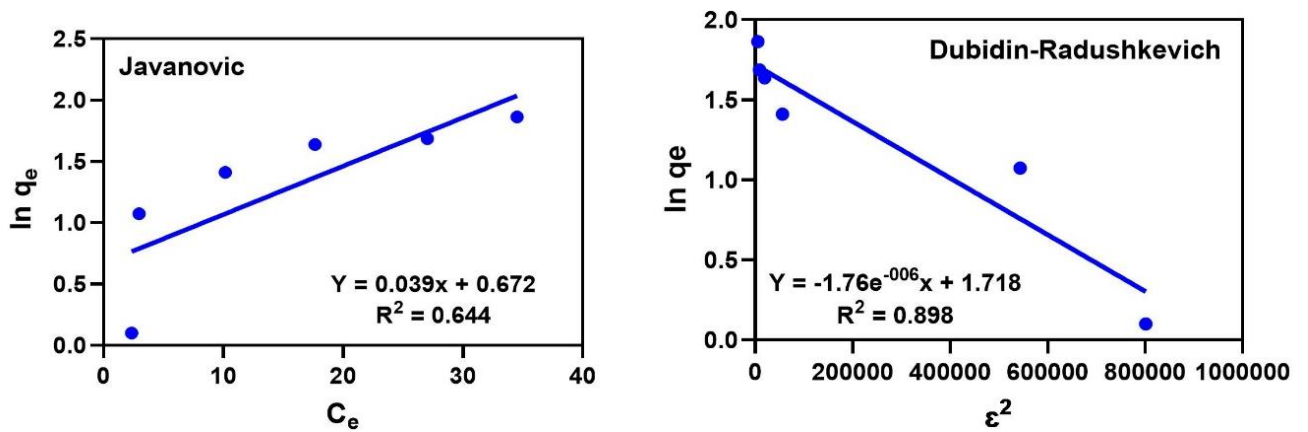
Sebanyak 25 mL larutan triptamin dengan variasi konsentrasi 5, 10, 20, 30, 40 dan 50 mg/L masing-masing dimasukkan ke dalam gelas kimia dengan pH larutan pada pH 5 dan ke dalam masing-masing gelas kimia ditambahkan 0,1 g adsorben  $\text{SiO}_2$ @BSA. Adsorpsi dilakukan dengan sistem *batch* selama 60 menit sambil dilakukan pengadukan. Setelah adsorpsi larutan, larutan disentrifugasi selama 10 menit. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 423 nm untuk menentukan konsentrasi optimum dan model isotherm adsorpsi yang sesuai pada proses adsorpsi triptamin.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Isotherm adsorpsi digunakan untuk menentukan interaksi antara adsorben dan adsorbat juga untuk menentukan kondisi konsentrasi optimum untuk menghasilkan adsorpsi yang maksimal. Faktor-faktor yang mempengaruhi suatu proses adsorpsi antara lain jenis adsorben, luas permukaan adsorben, konsentrasi adsorbat, suhu, waktu kontak, massa dan pH. Oleh karena beberapa faktor tersebut maka setiap adsorben yang menyerap zat yang satu dengan yang lain tidak mempunyai pola isotherm yang sama. Artikel yang dilaporkan ini, digunakan beberapa model isotherm yakni model isotherm Langmuir, model isotherm Freundlich, model isotherm Temkin, model isotherm Brunauer-Emmet-Teller (BET), model isotherm Redlich-Peterson, model isotherm Halsey, model isotherm Javanovic dan model isotherm Dubinin Radushkevich. Model-model isotherm tersebut ditunjukkan pada Gambar 1 sedangkan parameter adsorpsi terdapat dalam Tabel 1.







Gambar 1. Kurva model isotherm adsorpsi triptamin oleh SiO<sub>2</sub>@BSA

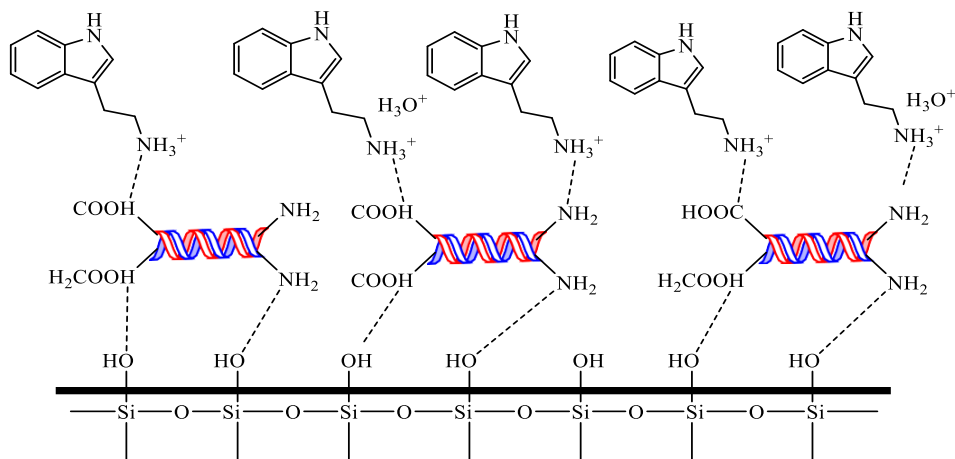
Tabel 1. Data parameter model isotherm adsorpsi triptamin oleh adsorben SiO<sub>2</sub>@BSA

Model Isotherm	Parameter	Nilai
Langmuir	$q_m$ (mg/g)	7,961
	$K_L$ (L/mg)	0,103
	$R^2$	0,938
Freundlich	$n$	1,952
	$k_f$ (L/mg)	1,109
	$R^2$	0,809
Temkin	$B$ (J/mol)	1,641
	$A$ (L/mg)	0,878
	$R^2$	0,932
BET	$q_m$	-3,899
	$B$	0,197
	$R^2$	0,017
Redlich-Peterson	$K_R$ (L/g)	-0,103
	$\beta$	0,488
	$R^2$	0,794
Halsey	$n_H$	-1,952
	$k_H$	1,109
	$R^2$	0,809
Javanovic	$q_{max}$ (mg/g)	1,958
	$k_J$ (L/mg)	0,039
	$R^2$	0,644
Dubinin-Radushkevich	$\beta = K_{DR}$	$-1.676 \times 10^{-6}$
	$Q_s$	5,575
	$R^2$	0,896

Gambar 1 menunjukkan delapan model isotherm adsorpsi triptamin menggunakan adsorben  $\text{SiO}_2\text{@BSA}$ . Model isotherm adsorpsi yang sesuai untuk adsorpsi triptamin menggunakan adsorben silika yang dimodifikasi dengan *bovine serum amine* (BSA) adalah model isotherm Langmuir dengan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang mendekati 1 yakni 0,932. Model Isotherm Langmuir menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung melalui mekanisme pembentukan lapisan monolayer [31]. Hal ini dapat diartikan bahwa situs aktif pada permukaan  $\text{SiO}_2\text{@BSA}$  bersifat seragam, dengan setiap situs hanya dapat mengikat satu molekul triptamin tanpa interaksi lateral antar molekul adsorbat. Nilai konstanta Langmuir ( $K_L$ ) sebesar 0,103 L/mg menunjukkan afinitas relatif antara molekul triptamin dengan permukaan adsorben  $\text{SiO}_2\text{@BSA}$ .  $K_L$  merupakan ukuran seberapa kuat molekul adsorbat (triptamin) berinteraksi dengan situs aktif pada permukaan adsorben [32]. Nilai  $K_L$  positif menunjukkan adanya interaksi yang menguntungkan antara triptamin dan adsorben. Adsorpsi berlangsung secara spontan dalam kondisi yang diujikan. Nilai  $K_L$  sebesar 0,103 L/mg mengindikasikan bahwa afinitas antara triptamin dan  $\text{SiO}_2\text{@BSA}$  tidak terlalu tinggi, tetapi cukup signifikan untuk memungkinkan proses adsorpsi yang efektif. Nilai  $K_L$  yang lebih besar dari nol namun tidak terlalu tinggi menunjukkan bahwa adsorben memiliki kapasitas untuk mengadsorpsi triptamin tanpa ikatan yang terlalu kuat, sehingga desorpsi atau pelepasan molekul triptamin juga masih memungkinkan.

Selain model Langmuir, model isotherm Temkin menunjukkan nilai  $R^2 = 0.932$ . Molekul adsorben ( $\text{SiO}_2\text{@BSA}$ ) dan energi adsorpsi terdistribusi secara heterogen membentuk lapisan monolayer di atas permukaan adsorben dan tidak terjadi lagi perpindahan zat dari adsorbat ke adsorben. Adapun model isotherm Freundlich yang mempunyai nilai  $R^2$  sebesar 0,809 dan konstanta Freundlich sebesar 1,109. Selain itu nilai deviasi dari linearitas adsorpsi ( $n$ ) adalah 1,952. Model isotherm selanjutnya adalah model isotherm Brunauer-Emmet-Teller yang mempunyai nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) paling rendah yakni 0,01792 dan nilai  $q_m$  adalah -3,8994. Model isotherm selanjutnya adalah model isotherm Redlich-Peterson yang mempunyai nilai  $R^2$  adalah 0,79431. Model isotherm ini adalah gabungan dari isotherm Langmuir dan Freundlich yang mana proses adsorpsinya terjadi pada permukaan heterogen. Model isotherm yang lainnya adalah Halsey, Javanovich dan Dubinin-Radushkevich yang mempunyai nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) secara berturut-turut adalah 0,809, 0,644 dan 0,896.

Proses adsorpsi triptamin menggunakan adsorben  $\text{SiO}_2\text{@BSA}$  interaksinya dapat diramalkan berdasarkan Gambar 2. Pada proses ini BSA berada dalam keadaan netral sehingga ikatan hidrogen antara BSA dan triptamin dapat berlangsung baik. Selain itu, pada kondisi ini diperkirakan adanya gugus  $\text{H}_3\text{O}^+$  yang cenderung menolak kation triptamin menyebabkan kurangnya persaingan antara ion hidroksida air dan gugus fungsi BSA untuk mengadsorpsi triptamin.



Gambar 2. Model interaksi triptamin dengan adsorben  $\text{SiO}_2\text{@BSA}$

Tabel 2. Perbandingan isotherm adsorpsi penelitian terkait

Adsorben	Adsorbat	Model Isotherm	R <sup>2</sup>	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Referensi
SiO <sub>2</sub> @BSA(Silika dari abu sekam padi)	Metanil kuning	Langmuir dan Freundlich	0,990	82,34	[33]
Silika (Silika dari pasir alam Takari)	BSA	Langmuir tipe 2	0,949	9,05	[34]
Silika dari pasir alam Takari	Triptamin	Langmuir	0,938	7,961	Penelitian ini

## KESIMPULAN

Model isotherm pada adsorpsi triptamin oleh adsorben SiO<sub>2</sub>@BSA mengikuti model isotherm Langmuir dengan nilai R<sup>2</sup> = 0,938 dengan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 9,92 mg/g. Model Isotherm Langmuir menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung melalui mekanisme pembentukan lapisan monolayer. Hal ini dapat diartikan bahwa situs aktif pada permukaan SiO<sub>2</sub>@BSA bersifat seragam, dengan setiap situs hanya dapat mengikat satu molekul triptamin tanpa interaksi lateral antar molekul adsorbat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Doeun, M. Davaatseren, and M.-S. Chung, "Biogenic amines in foods," *Food Sci Biotechnol*, vol. 26, no. 6, pp. 1463–1474, Dec. 2017, <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0239-3>.
- [2] E. L. Paley, *Protein Biosynthesis Interference in Disease*. Academia Edu, 2021, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823485-3.00002-6>.
- [3] H. Belitz, W. Groch, and P. Schieberle, *Food Chemistry*. 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.13126-7>.
- [4] B. del Rio, B. Redruello, M. Fernandez, M. C. Martin, V. Ladero, and M. A. Alvarez, "The biogenic amine tryptamine, unlike β-phenylethylamine, shows in vitro cytotoxicity at concentrations that have been found in foods," *Food Chemistry*, vol. 331, p. 127303, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127303>.
- [5] D. Leni, Made Ni., "Mengenal New Psychoactive Substances (NPS): sebuah tinjauan pustaka," *Intisari Sains Medis*, vol. 12, no. 1, pp. 275–284, 2021, <https://doi.org/10.15562/ism.v12i1.929>.
- [6] I. Syauqiah, M. Amalia, and H. A. Kartini, "Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengadukan Pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat Dengan Arang Aktif," *Jurnal Teknik*, vol. 12, no. 1, pp. 11–20, 2011.
- [7] J. N. Naat, S. Suyanta, and N. Nuryono, "Hydrophobic modification of naturally magnetic silica with methyltrimethoxysilane for enhanced adsorption of chloramphenicol and ciprofloxacin," *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 10, p. 100878, Dec. 2024, <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100878>.
- [8] J. S. Tangio, "Adsorpsi logam timbal (Pb) dengan menggunakan biomassa enceng gondok (Eichhornia crassipes)," *Jurnal Entropi*, vol. 8, no. 1, pp. 500–506, 2013.



- [9] D. Purwaningsih, "Adsorpsi Multi Logam Ag (I), Pb (II), Cr (III), Cu (II) Dan Ni (II) Pada Hibrida Etilendiamino-Silika Dari Abu Sekam Padi," *Jurnal Penelitian Saintek*, vol. 14, no. 1, pp. 59–76, 2009.
- [10] S. Kunti Panca, "Kemampuan Adsorpsi Batu Pasir Yang Dilapisi Besi Oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) Untuk Menurunkan Kadar Pb Dalam Larutan," *Jurnal Bumi Lestari*, vol. 9, no. 2, pp. 254–262, 2009.
- [11] F. E. Madina, R. Elvia, and I. N. Candra, "Analisis Kapasitas Adsorpsi Silika Dari Pasir Pantai Panjang Bengkulu Terhadap Pewarna Rhodamine B," *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, vol. 1, no. 2, pp. 98–101, 2017.
- [12] R. K. Pingak, A. Z. Johannes, and L. A. S. Lapono, "Analisis Potensi Pasir Tablolong Dan Pasir Koka Sebagai Sumber Silika Menggunakan Uji XRF Dan XRD," *Jurnal Fisika : Fisika Sains dan Aplikasinya*, vol. 3, no. 3, pp. 132–136, 2018, <https://doi.org/10.35508/fisa.v3i3.614>.
- [13] S. Sulastrri and S. Kristianingrum, "Berbagai Macam Senyawa Silika : Sintesis, Karakterisasi dan Pemanfaatan," *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*, pp. 211–216, 2010.
- [14] A. Kusumorini, S. Sukmaningrasa, and R. Octaviani, "Studi Karakteristik Silika Gel Hasil Sintesis Dari Abu Ampas Tebu Dengan Variasi Konsentrasi Asam Klorida," *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 7, no. 1, pp. 159–181, 2014.
- [15] M. Meliyana, C. Rahmawati, and L. Handayani, "Sintesis Silika Dari Abu Sekam Padi Dan Pengaruhnya Terhadap Karakteristik Bata Ringan," *Journal of Islamic Science and Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 164–174, 2019, <https://doi.org/10.22373/ekw.v5i2.5533>.
- [16] J. N. Naat *et al.*, "Konsentrasi Optimum dan Model Isotherm Bovine Serum Albumin (BSA) dalam Matriks Silika Gel dengan Pemanfaatan Silika yang bersumber dari Pasir Alam," May 2021. doi: <https://doi.org/10.35508/jbk.v1i2.5584>.
- [17] J. N. Naat, A. Sabarudin, and R. T. Tjahjanto, "Synthesis And Characterization Of Chitosan-Silica Hybrid Adsorbent From The Extraction Of Timor-East Nusa Tenggara Synthesis And Characterization Of Chitosan- Silica Hybrid Adsorbent From The Extraction Of Timor-East Nusa Tenggara Island Silica And Its Ap," *J Chem*, vol. 11, no. 4, pp. 1467–1476, 2019, <https://doi.org/10.31788/RJC.2018.1144055>.
- [18] J. NAAT *et al.*, "Tyramine Adsorption Using the Modification of Takari Natural Sand-Based Silica with Bovine Serum Albumin (BSA)," *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, vol. 10, no. 4, pp. 929–940, Nov. 2023, <https://doi.org/10.18596/jotcsa.1244774>.
- [19] I. S. Hardyanti, I. Nurani, D. S. Hardjono HP, E. Apriliani, and E. A. P. Wibowo, "Pemanfaatan Silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan Bentonit Sebagai Adsorben Logam Berat Fe Pada Limbah Batik," *Jurnal Sains Terapan*, vol. 3, no. 2, pp. 37–41, 2017.
- [20] J. N. Naat *et al.*, "Modification of Takari natural sand based silica with BSA ( $\text{SiO}_2$ @BSA) for biogenic amines compound adsorbent," *AIMS Mater Sci*, vol. 9, no. 1, pp. 36–55, 2022, <https://doi.org/10.3934/MATERSCI.2022003>.
- [21] J. N. ; Naat *et al.*, "Histamine Adsorption from Aqueous Solution Using Silica-Based  $\text{SiO}_2$ @BSA Adsorbent from Natural Sand: Adsorption Parameters, Kinetic Models, Isotherms, and Thermodynamics," 2024.

- [22] I. Gauru, O. T. E, and T. Lapailaka, "Sintesis Silika Termodifikasi Asam Laurat Dari Abu Sekam Padi," *Jurnal Pendidikan dan Teknik Kimia*, vol. 3, pp. 82–89, 2020.
- [23] N. Solihati, R. Sd, N. Hilmia, K. Winangun, and Z. Ov, "Karakteristik Berbagai Konsentrasi Bovine Serum Albumin ( BSA ) dan Kombinasinya sebagai Kolom Albumin untuk Media Sexing Sperma)," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner Virtual*, pp. 386–394, 2020.
- [24] I. M. A. Suryanatha, W. Bebas, and D. N. D. I. Laksmi, "Penambahan Bovine Serum Albumin pada Pengencer Beltsville Thawing Solution terhadap Motilitas dan Daya Hidup Spermatozoa Babi Landrace," *Buletin Veteriner Udayana*, vol. 11, no. 2, pp. 176–181, 2019, <https://doi.org/10.24843/bulvet.2019.v11i02.p10>.
- [25] F. Sulistiyowati, "Adsorpsi Bovine Serum Albumin (BSA) pada Selulosa Bakteri Termodifikasi secara Hidrolisis Asam: Studi Pengaruh Waktu Kontak dan pH," *Skripsi*, 2017.
- [26] J. Jun, H. Nguyen, S. Paik, H. Chun, B. Kang, and S. Ko, "Preparation Of Size-Controlled Bovine Serum Albumin (BSA) Nanoparticles By A Modified Desolvation Method," *Food Chemistry*, vol. 121, pp. 1892–1898, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.040>.
- [27] N. N. Vlasova, O. V. Markitan, and N. G. Stukalina, "The Adsorption Of Biogenic Amines On The Surface Of Highly Dispersed Silica From Aqueous Solutions," *Colloid Journal*, vol. 68, no. 3, pp. 384–386, 2006, <https://doi.org/10.1134/S1061933X06030185>.
- [28] I. Wijayanti and E. Kurniawati, "Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Abu Gosok sebagai Adsorben," *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*, vol. 4, no. 2, p. 175, 2019, <https://doi.org/10.30870/educhemia.v4i2.6119>.
- [29] P. H. Chang, W. T. Jiang, and Z. Li, "Mechanism of Tyramine Adsorption on Ca-Montmorillonite," *Science of the Total Environment*, vol. 642, pp. 198–207, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.190>.
- [30] J. N. Naat, T. Lapailaka, A. Sabarudin, and R. T. Tjahjanto, "Synthesis and characterization of chitosan-silica hybrid adsorbent from the extraction of timor-east nusa tenggara island silica and its application to adsorption of copper(II) ion," *Rasayan Journal of Chemistry*, vol. 11, no. 4, pp. 1467–1476, 2018, <https://doi.org/10.31788/RJC.2018.1144055>.
- [31] L. M. Nguyen, N. T. T. Nguyen, T. T. T. Nguyen, T. T. Nguyen, D. T. C. Nguyen, and T. Van Tran, "Occurrence, toxicity and adsorptive removal of the chloramphenicol antibiotic in water: a review," Jun. 01, 2022, *Springer Science and Business Media Deutschland GmbH*. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01416-x>.
- [32] X. Chen, Y. Ren, G. Qu, Z. Wang, Y. Yang, and P. Ning, "A review of environmental functional materials for cyanide removal by adsorption and catalysis," *Inorg Chem Commun*, vol. 157, p. 111298, Nov. 2023, <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111298>.
- [33] R. Zein, Z. B. Tomi, S. Fauzia, and Z. Zilfa, "Modification Of Rice Husk Silica With Bovine Serum Albumin (BSA) For Improvement In Adsorption Of Metanil Yellow Dye," *Journal of the Iranian Chemical Society*, vol. 17, no. 10, pp. 2599–2612, 2020, <https://doi.org/10.1007/s13738-020-01955-6>.

- [34] J. Naat *et al.*, “Konsentrasi Optimum dan Model Isotherm Bovine Serum Albumin(BSA) dalam Matriks Silika Gel dengan Pemanfaatan Silika Yang Bersumber Dari Pasir Alam,” *Jurnal Beta Kimia*, vol. 1, no. 2, pp. 78–88, 2021.