

## KARAKTERISTIK ADSORBEN AMPAS TEH DALAM MENYERAP ION LOGAM TIMBAL MENGGUNAKAN MODEL ISOTERM LANGMUIR

AKBAR PERDANA<sup>1</sup>, AHMAD ZARKASI<sup>2</sup>, DADAN HAMDANI<sup>1</sup>, ADRIANUS INU NATALISANTO<sup>1</sup>, RAHMAWATI MUNIR<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Fisika Teori dan Material, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Mulawarman  
Jl. Barong Tongkok, Gn. Kelua, Kec. Samarinda Ulu, Samarinda, Kalimantan Timur

<sup>2</sup>Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Mulawarman  
Jl. Barong Tongkok, Gn. Kelua, Kec. Samarinda Ulu, Samarinda, Kalimantan Timur

\*email : rahmawati@fmipa.unmul.ac.id

**Abstrak.** Timbal merupakan salah satu logam berat pencemar air yang sangat berbahaya. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghilangkan kandungan logam berat tersebut adalah adsorpsi. Dalam proses adsorpsi, pemilihan adsorben sangat penting untuk memaksimalkan proses adsorpsi. Karenanya, penting untuk mengetahui karakteristik dan performa adsorben dalam menyerap logam berat. Model isoterm dapat digunakan untuk memprediksi karakteristik dan performa dari suatu adsorben. Penelitian ini dilakukan untuk meninjau karakteristik dan performa adsorben ampas teh dalam menyerap ion timbal menggunakan model isoterm. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa mekanisme penyerapan ion timbal oleh ampas teh terjadi secara fisisorpsi, yaitu ikatan ion. Adapun sifat adsorpsi yang terjadi adalah menguntungkan. Ini menunjukkan bahwa ketertarikan ion timbal terhadap ampas teh besar. Kapasitas maksimum ampas teh dalam menyerap ion timbal adalah 3,0353 mg/g. Ini menunjukkan bahwa satu gram ampas teh dapat menyerap sebesar 3,0353 mg ion timbal..

**Kata kunci:** Adsorpsi, Ampas Teh, Timbal, Pencemaran Air, Isoterm

**Abstract.** Lead is one of the most dangerous heavy metals to pollute water. One method that can be used to remove heavy metal content is adsorption. In the adsorption process, the selection of adsorbent is very important to maximize the adsorption process. Therefore, it is important to know the characteristics and performance of the adsorbent in absorbing heavy metals. The isotherm model can be used to predict the characteristics and performance of an adsorbent. This research was conducted to review the characteristics and performance of tea leaves adsorbent in adsorbing lead ions using an isotherm model. The results of the study showed that the mechanism of absorption of lead ions by tea leaves occurs by physisorption, namely ionic bonding. The adsorption properties that occur are favorable. This shows that the attraction of lead ions to tea leaves is large. The maximum capacity of tea leaves to absorb lead ions is 3.0353 mg/g. This shows that one gram of tea dregs can absorb 3.0353 mg of lead ions.

**Keywords:** Adsorption, Tea Leaves, Lead, Water Pollution, Isotherm

### 1. Pendahuluan

Pencemaran air sungai masih menjadi masalah serius hingga saat ini. Salah satu bahan pencemar air sungai tersebut adalah logam berat seperti timbal (Pb). Logam berat pencemar air ini berasal dari limbah industri dan pertambangan yang dibuang ke sungai [1].

Pencemaran air oleh logam timbal menjadi masalah yang serius. Secara kenampakan, timbal tidak dapat dideteksi dalam air. Ini karena timbal tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Namun, jika masuk ke dalam tubuh, logam timbal dapat menimbulkan masalah yang serius. Pada orang dewasa, logam timbal dapat meningkatkan masalah stroke dan kanker, sedangkan pada anak-anak logam timbal dapat mengganggu proses pertumbuhan dan perkembangannya [2]

Ada banyak metode pengolahan air yang telah berhasil diterapkan untuk meningkatkan kualitas air secara biologis dan fisikokimia. Diantara metode tersebut, metode adsorpsi merupakan salah satu metode yang paling cocok dan banyak digunakan untuk pengolahan air. Metode adsorpsi efektif digunakan dalam meningkatkan kualitas air karena murah, ramah lingkungan, dan tidak menghasilkan produk intermediet [3].

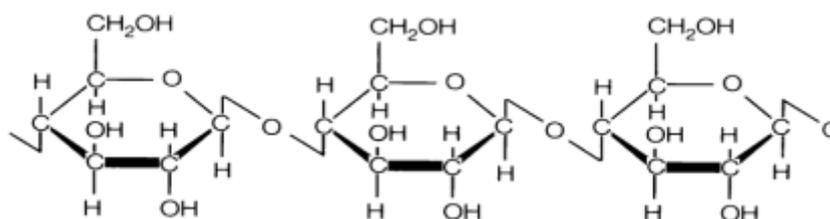
Tingkat keberhasilan suatu proses adsorpsi bergantung kepada interaksi antara adsorben dan adsorbat dalam larutan (Unuabonah dkk, 2019). Oleh karena itu pemilihan bahan adsorben menjadi sangat penting untuk mengoptimalkan proses adsorpsi. Ampas teh merupakan limbah organik yang dapat digunakan sebagai adsorben. Kandungan selulosa yang cukup tinggi dalam ampas teh menjadikan ampas teh mampu menghilangkan logam berat dalam air, seperti Pb, Fe, dan Cu [1].

Penelitian yang telah dilakukan oleh [1] menunjukkan bahwa ampas teh dapat digunakan sebagai adsorben dalam menyerap ion timbal. Efektivitas maksimum ampas teh dalam menyerap logam timbal mencapai 93,75%. Selain itu, diperoleh juga pengaruh massa adsorben dan waktu kontak dalam meningkatkan efektivitas proses adsorpsi.

Penelitian ini dilakukan untuk menjelaskan secara lebih dalam karakteristik dari adsorben ampas teh dalam menyerap logam berat timbal. Untuk melakukan hal tersebut, digunakan model isoterm. Model isoterm merupakan sebuah kurva yang menggambarkan fenomena proses adsorpsi. Informasi penting yang dibawa oleh kurva ini adalah parameter fisikokimia dan asumsi mengenai mekanisme adsorpsi, sifat permukaan, tingkat afinitas, dan kapasitas adsorpsi [4].

### 1.1 Struktur Selulosa

Selulosa merupakan komponen dari sel dinding tumbuhan yang berfungsi sebagai penguat struktur dinding sel tumbuhan. Selulosa menampung sekitar 40% dari total karbon yang berada di tanaman. Molekul selulosa adalah rantai 14.000 unit D-glukosa yang disatukan oleh ikatan hidrogen. Struktur kimia selulosa dapat dilihat pada Gambar 1 [5].



Gambar 1. Struktur Selulosa

Gugus aktif hidroksil (OH) pada selulosa dapat berfungsi sebagai zat penyerap. Gugus hidroksil menyebabkan sifat polar pada molekul selulosa. Inilah yang menyebabkan selulosa lebih kuat menyerap zat-zat yang bersifat polar, seperti ion logam [5].

## 1.2 Model Isoterm Langmuir

Model isoterm Langmuir merupakan model empiris yang mengasumsikan bahwa proses adsorpsi terjadi secara homogen, yaitu energi aktivasi sorpsi dan entalpi konstan untuk setiap molekul. Ketebalan lapisan yang dibentuk dari molekul terserap adalah satu lapisan. Langmuir menjelaskan bahwa proses perpindahan zat menuju sebuah permukaan padat didasarkan pada prinsip kinetik, dimana laju antara proses adsorpsi dan desorpsi harus sama [6].

Persamaan non linier dari model isoterm Langmuir adalah sebagai berikut:

$$q_e = Q_m \frac{K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (1)$$

Dengan  $q_e$  adalah kapasitas adsorpsi (mg/g),  $Q_m$  adalah kapasitas maksimum adsorpsi (mg/g),  $C_e$  adalah konsentrasi kesetimbangan (mg/L), dan  $K_L$  adalah konstanta Langmuir (L/mg) [7]. Dengan mengubah susunan persamaan tersebut, dapat diperoleh persamaan berbentuk linier sebagai berikut [8].

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{Q_m} + \frac{1}{Q_m K_L} \quad (2)$$

Analisis model isoterm secara linier merupakan pendekatan alternatif untuk memprediksi proses adsorpsi secara keseluruhan. Peneliti merasa lebih mudah melakukan analisis model isoterm secara linier dibanding non-linier [7].

Lebih jauh, [9] mendefinisikan sebuah konstanta tak berdimensi, yaitu faktor pemisah ( $R_L$ ) sebagai berikut:

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_o} \quad (3)$$

Dengan  $C_o$  merupakan konsentrasi larutan sebelum proses adsorpsi. Faktor pemisahan digunakan untuk menjelaskan sifat adsorpsi, apakah ia linier ( $R_L = 1$ ), menguntungkan ( $0 < R_L < 1$ ), tak menguntungkan ( $R_L > 1$ ), atau ireversibel ( $R_L = 0$ ) [6].

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Teknik Pengambilan Data

Dalam pembuatan model isoterm, dibutuhkan data konsentrasi kesetimbangan larutan. Untuk mengetahui data kesetimbangan tersebut, perlu dilakukan proses adsorpsi. Proses adsorpsi dilakukan dengan cara memasukan 1gram adsorben ampas teh ke dalam larutan timbal dengan volume 50 mL. Variasikan konsentrasi awal larutan timbal adalah 20, 30, 40, dan 50 mg/L. Setelah itu diaduk larutan timbal selama 30 menit, kemudian disaring. Hasil larutan yang disaring tersebut kemudian diukur konsentrasinya menggunakan AAS.

### 2.2 Teknik Pengolahan Data

Data konsentrasi kesetimbangan yang telah diperoleh kemudian akan digunakan bersama dengan data konsentrasi awal, massa adsorben, dan volume, dalam menghitung persamaan model yang sesuai dengan hasil eksperimen. Model isoterm

yang digunakan adalah model isoterm Langmuir dengan bentuk persamaan linier. Untuk mencari persamaan model yang sesuai dengan hasil eksperimen, digunakan analisis regresi linier.

Regresi merupakan metode statistik yang digunakan untuk mencari hubungan antara dua variabel [10]. Pada metode regresi linier, dihitung nilai gradien dan intersep dengan persamaan berikut

$$b = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2} \quad (4)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

Dengan  $a$  merupakan intersep,  $b$  merupakan gradien,  $\bar{x}$  merupakan nilai rata-rata dari  $x$ ,  $\bar{y}$  merupakan nilai rata-rata dari  $y$ ,  $\overline{xy}$  merupakan nilai rata rata dari perkalian data  $x$  dan  $y$ , dan  $\overline{x^2}$  merupakan nilai rata rata dari  $x^2$  [11].

Pada persamaan model, dapat diketahui bahwa  $C_e$  merupakan variabel  $x$ , dan  $q_e/C_e$  merupakan variabel  $y$ . Nilai  $C_e$  diperoleh dari data konsentrasi kesetimbangan larutan setelah proses adsorpsi. Adapun nilai  $q_e$  merupakan kapasitas adsorpsi hasil ekseperimen yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (5)$$

Dengan  $q_e$  merupakan kapasitas adsorpsi (mg/g),  $C_0$  merupakan konsentrasi awal adsorbat (mg/L),  $C_e$  merupakan konsentrasi setimbang ion zat terlarut pada kesetimbangan (mg/L),  $m$  merupakan massa adsorben (g), dan  $V$  merupakan volume adsorbat (L) [7].

Untuk menentukan kuat hubungan antara data hasil eksperimen dan persamaan model, digunakan koefisien determinan. Persamaan koefisien determinan adalah sebagai berikut:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (6)$$

Nilai koefisien determinan berada pada rentang antara 0 dan 1. Semakin mendekati nilai 1, menunjukkan semakin kuat hubungan antara data eksperimen dan model isoterm [10].

### 2.3 Analisis Model Isoterm Langmuir

Hasil perhitungan dari regresi linier akan memberikan nilai gradien ( $b$ ) dan intersep ( $a$ ). Dari data tersebut, dapat dicari nilai-nilai konstanta pada persamaan Langmuir dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_m = \frac{1}{b} \quad (7)$$

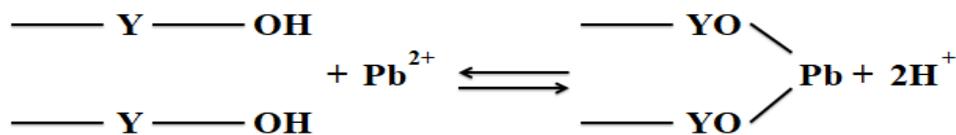
$$K_L = \frac{1}{aQ_m} \quad (8)$$

Konstanta-konstanta tersebut akan digunakan untuk menjelaskan karakteristik adsorben ampas teh. Konstanta  $Q_m$  menunjukkan kapasitas maksimum adsorben dalam menyerap adsorbat dan konstanta  $K_L$  menunjukkan sifat adsorpsi yang terjadi.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Mekanisme Penyerapan Timbal oleh Ampas Teh

Gambar 2 menunjukkan mekanisme pengikatan ion timbal oleh adsorben ampas teh. Gugus hidroksil bermuatan -1, sedangkan ion timbal bermuatan +2. Sehingga setiap ion timbal akan diikat oleh dua gugus hidroksil. Karena gugus hidroksil dan ion timbal bersifat polar, maka ikatan yang terjadi antara adsorben ampas teh dan logam timbal adalah ikatan ion, yang merupakan interaksi secara fisisorpsi.



**Gambar 2.** Mekanisme Penyerapan Timbal oleh Gugus Hidroksil

#### 3.2 Hasil Perhitungan Model Isoterm Langmuir

Tabel 1 menunjukkan konsentrasi larutan sebelum dan sesudah proses adsorpsi. Data pada tabel tersebut akan digunakan untuk mencari persamaan model isoterm Langmuir. Hasil perhitungan data dengan menggunakan model regresi linier ditunjukkan pada Tabel 2.

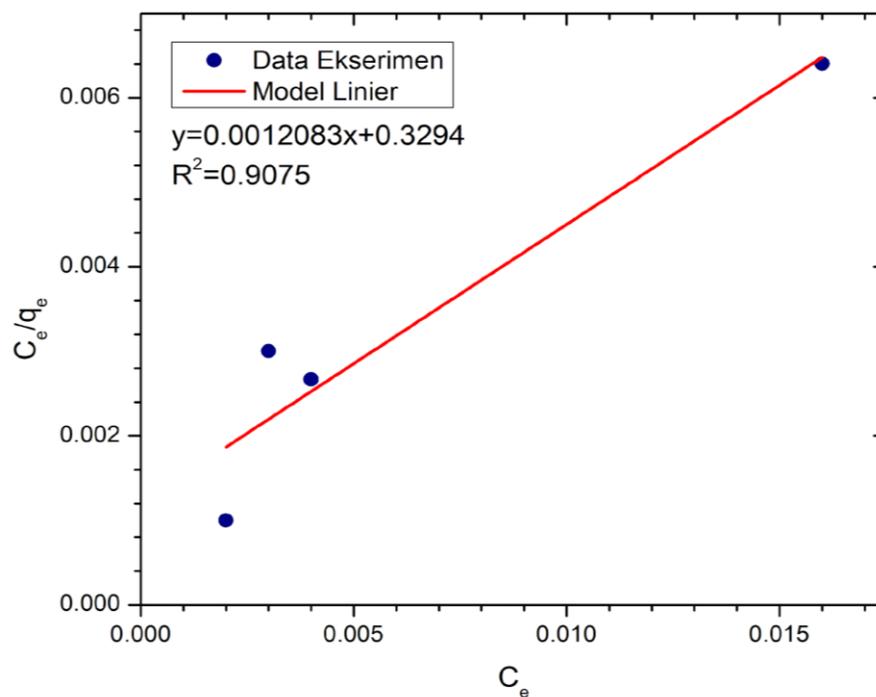
**Tabel 1.** Kandungan Timbal Setelah Proses Adsorpsi

Nama Sampel	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Kesetimbangan (mg/L)
A	20	0.003
B	30	0.004
C	40	0.002
D	50	0.016

Dengan menggunakan hasil perhitungan nilai rata-rata pada tabel, dapat diketahui nilai gradien dan intersep dari persamaan model. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai gradien dan intersep dari model berturut-turut adalah 0,3294 dan  $1,2083 \times 10^{-3}$ . Plot data hasil eksperimen dan persamaan model dapat dilihat pada Gambar 3.

**Tabel 2.** Perhitungan Data Eksperimen Menggunakan Regresi Linier

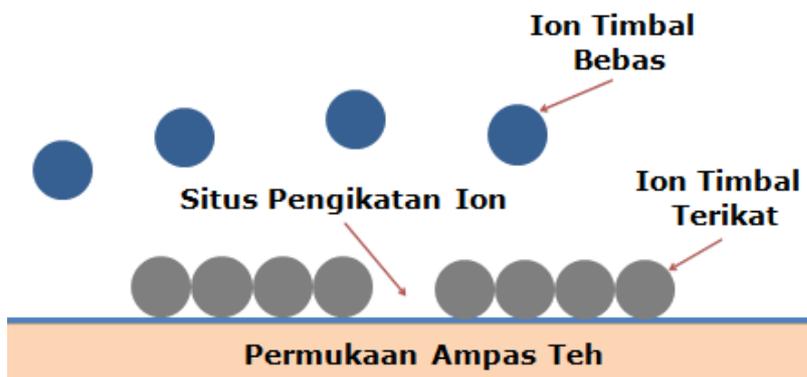
	$x (C_e)$	$y (C_e/q_e)$	$xy$	$x^2$
	0.003	0.003000	$9.00135 \times 10^{-6}$	0.000009
	0.004	0.002667	$1.0068 \times 10^{-6}$	0.000016
	0.002	0.001000	$2.0001 \times 10^{-6}$	0.000004
	0.016	0.064020	$1.0243 \times 10^{-4}$	0.000256
Rata-rata	0.00625	0.003274	$3.1026 \times 10^{-5}$	0.000071

**Gambar 3.** Plot Model Linier Isoterm Langmuir

Selanjutnya, dapat ditentukan juga nilai koefisien determinan. Hasil perhitungan koefisien determinan adalah 0.9075. Nilai koefisien determinan yang mendekati 1 menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang kuat antara model isoterm Langmuir dengan hasil percobaan. Sehingga, model tersebut dapat digunakan untuk menggambarkan proses adsorpsi yang terjadi antara adsorben ampas teh dan ion logam timbal.

### 3.3 Interpretasi Model Isoterm Langmuir

Berdasarkan pada asumsi dari model isoterm Langmuir, diketahui bahwa lapisan logam timbal yang terbentuk di permukaan ampas teh memiliki ketebalan satu lapisan, seperti diilustrasikan pada Gambar 4. Selain itu, isoterm Langmuir juga mengasumsikan permukaan yang homogen. Ini juga mengindikasikan bahwa adsorben ampas teh yang terbentuk memiliki permukaan homogen, dengan setiap situs aktif hanya terdiri atas gugus hidroksil.



Gambar 4. Ilustrasi Pengikatan Ion Timbal oleh Ampas Teh

Selanjutnya, berdasarkan nilai gradien dan intersep dari persamaan model yang diperoleh, dapat dihitung nilai  $Q_m$  dan  $K_L$  pada model isoterm Langmuir. Hasil perhitungan nilai  $Q_m$  adalah 3,0353 mg/g, menunjukkan bahwa kapasitas maksimum 1 gram ampas teh dalam menyerap ion timbal adalah 3,0353 mg. Hasil perhitungan dari nilai  $K_L$  adalah 272,6632 L/mg. Nilai  $K_L$  selanjutnya dapat dihubungkan dengan faktor pemisah  $R_L$  untuk mengetahui sifat adsorpsi yang terjadi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai koefisien  $R_L$  adalah  $1,048 \times 10^{-4}$ . Berdasarkan nilai  $R_L$ , diketahui bahwa sifat adsorpsi yang terjadi adalah menguntungkan. Ini juga menunjukkan bahwa daya tarik logam timbal terhadap adsorben ampas teh besar.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil perhitungan, diketahui bahwa model isoterm Langmuir cocok untuk digunakan dalam menggambarkan proses adsorpsi yang terjadi antara ampas teh dan logam timbal. Berdasarkan hasil perhitungan nilai  $Q_m$ , diketahui bahwa kapasitas maksimum ampas teh dalam menyerap timbal adalah 3,0353 mg/g. Nilai faktor pemisahan yaitu  $1,048 \times 10^{-4}$ , berada di antara 0 dan 1, menunjukkan bahwa sifat adsorpsi yang terjadi menguntungkan. Ini menunjukkan bahwa daya tarik logam timbal terhadap adsorben ampas teh besar.

## Daftar Pustaka

1. R.F. Azzahra & M. Taufik, Bio-Adsorben Berbahan Dasar Limbah Ampas Teh (*Camellia Sinensis*) Sebagai Agent Penyerap Logam Berat Fe dan Pb pada Air Sungai, *Jurnal Kinetika*, Vol. 11 No. 01 (2020), p. 65-70.
2. B.R. Swistock & W.E. Sharpe, *Lead in Drinking Water* (1994). Pennsylvania: The Pennsylvania State University.

3. E.I. Unuabonah, M.O. Omorogie, N.A Oladoja, Modeling in Adsorption: Fundamental and Applications. Composite Nanoadsorbents (2019), 85-118.
4. K.Y. Foo & B.H. Hameed, Insights into the Modeling of Adsorption Isotherm System. Chemical Engineering Journal (2010), 156: 2-10.
5. D. Abriagni, Optimasi Adsorben Krom (VI) dengan Ampas Daun The (Camellia sinesis L) Menggunakan Metode Spektrofotometri (2011). Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
6. M.A. Al-Ghouti & D.A. Da'ana, Guidelines for the Use and Interpretation of Adsorption Isotherm Models: A Review. Journal of Hazardous Materials (2020), 393: 1-22.
7. X. Chen, Modeling of Experimental Adsorption Isotherm Data. Information Journal (2015), 6: 14-22.
8. J.Liu & X.Wang, Novel Silica-Based Hybrid Adsorbents: Lead(II) Adsorption Isotherm, The Scientific World Journal, (2013).
9. T. Weber & R.Chakravorti, Pore and Solid Diffusion Models for Fixed-Bed Adsorbers, AIChE, 20(2) (1974), p. 228-238.
10. M.H.Kutner, C.J.Nachtsheim, J.Neter, W.Li, Applied Linear Statistical Models. New York: The McGraw-Hill Companies (2005).
11. N.H.Bingham & J.M.Fry, Regression: Linear Model in Statistics, Springer, (2010).