

# Kajian Isoterm dan Kinetika Adsorpsi Logam Arsen menggunakan Biosorben Kombinasi Kitosan dan Karbon Aktif Ampas Kopi

## *Isotherm and Kinetics Study of Arsenic Metal Adsorption using Biosorbent Combination of Chitosan and Coffee Ground Activated Carbon*

Nisa Nurhidayanti<sup>1</sup>, Sandy Nugraha<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pelita Bangsa

<sup>1</sup>nisa.kimia@pelitabangsa.ac.id\*, <sup>2</sup>nugrahas703@gmail.com

### **Abstract**

*The presence of arsenic metal in water naturally due to its mobility causes the nature of water to become toxic and become a problem in the world. The purpose of this study was to determine the maximum adsorption capacity through the isotherm model and the rate of adsorption kinetics in the use of chitosan and coffee grounds as adsorbent in reducing the concentration of arsenic in industrial wastewater. The research method was carried out using experiments in the laboratory followed by quantitative data analysis to determine the isotherm model and adsorption kinetics. shows that the adsorption isotherm follows the Langmuir isotherm model with a correlation coefficient of 0.9972 with a maximum adsorption capacity of 2.063 mg.g<sup>-1</sup> which indicates that chemical adsorption occurs in a mono layer with a homogeneous distribution of adsorption sites with constant adsorption energy and interactions between negligible metal arsenic (adsorbate) molecules. The study of arsenic adsorption kinetics using chitosan-activated carbon coffee grounds followed the Weber-Morris model/ intra-particle diffusion with a correlation coefficient of 0.9920 with a diffusion rate of 76.512 g.mg<sup>-1</sup>.hour<sup>-1</sup> which indicates that intra-particle diffusion is a rate step. limiting factor in the overall biosorption process.*

**Keywords:** Isotherm, Kinetics, Adsorption, Chitosan, Coffee Grounds

### **Abstrak**

Keberadaan logam arsen dalam air secara alami akibat mobilitasnya menyebabkan sifat air menjadi beracun dan menjadi permasalahan di dunia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas adsorpsi maksimum melalui model isoterm dan laju kinetika adsorpsi dalam penggunaan adsorben kitosan dan ampas kopi dalam menurunkan konsentrasi arsen dalam air limbah industri. Metode penelitian dilakukan menggunakan eksperimen di laboratorium dilanjutkan dengan Analisa data kuantitatif penentuan model isoterm dan kinetika adsorpsi. menunjukkan bahwa isoterm adsorpsi mengikuti model isoterm Langmuir dengan koefisien korelasi sebesar 0,9972 dengan kapasitas adsorpsi maksimal sebesar 2,063 mg.g<sup>-1</sup> yang menunjukkan bahwa adsorpsi kimia terjadi pada lapisan mono layer dengan distribusi situs adsorpsi yang bersifat homogen dengan energi adsorpsi konstan dan interaksi antara molekul logam arsen (adsorbat) yang dapat diabaikan. Kajian kinetika adsorpsi arsen menggunakan kitosan-karbon aktif ampas kopi mengikuti model Weber-Morris/difusi intra partikel dengan koefisien korelasi sebesar 0,9920 dengan laju difusi sebesar 76,512 g.mg<sup>-1</sup>.jam<sup>-1</sup> yang menunjukkan bahwa difusi intra partikel adalah langkah laju pembatas dalam proses biosorpsi secara keseluruhan.

**Kata Kunci:** Isoterm, Kinetika, Adsorpsi, Kitosan, Ampas Kopi

### **Pendahuluan**

Kabupaten Bekasi merupakan kawasan industri yang terbesar di Asia Tenggara. Studi pendahuluan yang telah dilakukan pada sampel air limbah salah satu industri tekstil di Kabupaten Bekasi menunjukkan adanya konsentrasi logam arsen sebesar 5,74 mg/L. Konsentrasi logam arsen ini telah melebihi konsentrasi baku mutu yang telah ditetapkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah yaitu sebesar 0,1 mg/L [1]. Arsen (As) merupakan logam berat yang banyak ditemukan dalam

air limbah industri elektronik dan gallium arsenid, industri pembuatan semikonduktor silikon karena menggunakan komposisi penyusunnya berupa arsen konsentrasi tinggi. Arsen dapat berpindah secara alami melalui reaksi kimia, aktivitas biologi, reaksi geokimia, emisi gunung berapi dan kegiatan antropologi. Keberadaan logam arsen dalam air secara alami akibat mobilitasnya menyebabkan sifat air menjadi beracun dan menjadi permasalahan di dunia pada abad 20 dan 21. Bilangan oksidasi arsen yaitu  $-3, 0, +3$  and  $+5$ . Arsen di lingkungan dapat berbentuk asam (asam arsenit, asam arsenat, asam metil arsenit, asam dimetil arsenit, dll) [2].

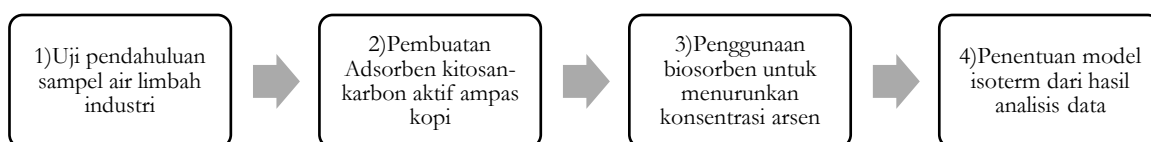
Beberapa metode yang digunakan untuk menurunkan kadar logam berat dalam air limbah diantaranya dengan presipitasi kimia, adsorpsi, filtrasi membran, pertukaran ion dan koagulasi-flokulasi. Fokus penelitian dalam beberapa tahun terakhir telah memfokuskan pada penggunaan adsorben alternatif untuk menurunkan biaya penggunaan adsorben dan sifatnya yang lebih ramah lingkungan karena pengoperasiannya mudah dan efisiensinya tinggi [2]. Kitosan ( $\beta$ -1,4,2-amino-2-deoksi D-glukosa) merupakan bahan organik turunan kitin yang diperoleh melalui proses deasetilasi pada temperatur tinggi dengan menggunakan basa kuat [3]. Kitosan telah digunakan sebagai adsorben dalam menurunkan logam berat namun memiliki kelemahan dapat meningkatkan kekeruhan dalam air sehingga diperlukan proses lanjutan. Kombinasi kitosan dengan ampas kopi dapat meningkatkan potensi daur ulang adsorben, dapat meningkatkan stabilitas kimia dan adsorpsi kapasitas adsorben untuk meningkatkan efisiensi penurunan [4]. Pemanfaatan kitosan dan karbon aktif dari ampas kopi sebagai adsorben dapat menurunkan kadar logam kadmium sebesar 74,54 %, dan nikel sebesar 73,43% [5]. dan menurunkan logam timbal dengan efisiensi adsorpsi sebesar 92,26 % dan konsentrasi akhir 0,774 mg/L pada waktu kontak 120 menit [6] dan menurunkan kontaminan obat pada air limbah seperti metamizole, asam asetil salisilat, acetaminophen dan kafein [7].

Hasil penelitian Nurhidayanti dkk (2021) menunjukkan bahwa efektivitas penggunaan adsorben alami dari kitosan dan karbon aktif ampas kopi dalam menurunkan konsentrasi arsen dalam air limbah industri sebesar 86,18% dengan konsentrasi akhir sebesar 0,79 mg/L [8], [9]. Namun belum dikaji model isoterm adsorpsi yang tepat untuk mengetahui kapasitas adsorpsi dari penggunaan adsorben kitosan dan ampas kopi dalam menurunkan konsentrasi arsen dalam air limbah industri [8]–[12]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas adsorpsi maksimum melalui model isoterm dan laju kinetika adsorpsi dalam penggunaan adsorben kitosan dan ampas kopi dalam menurunkan konsentrasi arsen dalam air limbah industri.

## Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium PT. Tuv Nord Indonesia dan Universitas Pelita Bangsa pada bulan Juni sampai dengan Desember 2021. Metode penelitian dilakukan menggunakan eksperimen di laboratorium dilanjutkan dengan Analisa data kuantitatif penentuan model isotherm dan kinetika adsorpsi.

Kerangka berpikir dalam penelitian ini mengikuti flowchart seperti yang disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Kerangka berpikir penelitian

Proses penelitian dari tahapan 1 sampai dengan 3 telah dilaksanakan pada tahun 2021 oleh Nurhidayanti dkk [8]–[11]. Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah pada poin 4 dari kerangka berpikir pada gambar di atas. Model isoterm yang digunakan dalam penelitian ini adalah isoterm Langmuir, Freundlich, Dubinin Raduskevich (D-R) dan Temkin. Model kinetika yang digunakan dalam penelitian ini adalah pseudo first order (PFO), pseudo second order (PSO), Elovich dan Weber -Morris/ difusi intra partikel. Penentuan kapasitas adsorpsi ( $q$ ) menggunakan persamaan 1 [13].

$$q = \frac{(C_i - C_t) \times V}{m} \quad (1)$$

Dimana  $C_i$  = konsentrasi awal arsen(mg/L);  $C_t$  = konsentrasi arsen setelah adsorpsi (mg/L);  $V$  = volume air limbah (L) dan  $m$  = massa biosorben yang digunakan (gram)

Analisis data dilakukan menggunakan data konsentrasi akhir arsen yang telah melalui proses adsorpsi menggunakan biosorben kitosan-karbon aktif ampas kopi dengan variasi massa (0,6 gram sampai dengan 1,4 gram) hingga memperoleh kapasitas adsorpsi maksimum. Hasil analisis ini kemudian dimasukkan ke dalam persamaan isotherm. Persamaan isotherm Langmuir memiliki bentuk non linear dan linear sebagai berikut [14]:

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

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{K_L q_m} \quad (3)$$

Dimana  $q_e$  adalah kapasitas adsorpsi berdasarkan berat pada kesetimbangan;  $q_m$  (mg/g) adalah kapasitas adsorpsi maksimum berdasarkan berat;  $K_L$  (L/mg) adalah konstanta kesetimbangan berdasarkan model Langmuir;  $C_e$  adalah konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan. Persamaan II.1a digunakan jika menggunakan metode regresi nonlinier. Plotting  $C_e/q_e$  versus  $C_e$  dapat menyelesaikan model Langmuir yang dilinierkan pada persamaan (2). Penentuan  $K_L$  dan  $q_m$  dihasilkan dari slope dan intersep yang dihasilkan dari persamaan regresi. Penggunaan model Freundlich bentuk nonlinier dan linier dinyatakan dalam persamaan berikut [15]:

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (4)$$

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (5)$$

Dimana  $K_F$  merupakan konstanta Freundlich, dan  $1/n$  adalah intensitas biosorpsi. Nilai  $1/n < 0$  menunjukkan reaksi berlangsung 2 arah (irreversible), Jika  $0 < 1/n < 1$  reaksi biosorpsi diinginkan sedangkan jika  $1/n > 1$  reaksi biosorpsi tidak diinginkan. Plotting  $C_e$  versus  $Q_e$  dapat menyelesaikan model Ferundlich pada persamaan (5). Penentuan  $K_F$  dan  $q_m$  dihasilkan dari slope dan intersep yang dihasilkan dari persamaan regresi. Model isotherm D-R ini dinyatakan dengan persamaan berikut [13]:

$$q_e = q_{mD-R} e^{-K_{DR} \varepsilon^2} \quad (6)$$

$$\varepsilon = RT \ln\left(1 + \frac{1}{C_e}\right) \quad (7)$$

Dimana  $q_{mD-R}$ (mg/g) adalah kapasitas maksimum biosorpsi ;  $-K_{DR}$  adalah koefisien aktifitas ( $\text{mol}^2/\text{J}^2$ );  $\varepsilon$  (kJ/mol) adalah potensial biosorpsi yang berdasarkan teori potensial Polanyi. Model isotherm Temkin dinyatakan dalam persamaan berikut [13]:

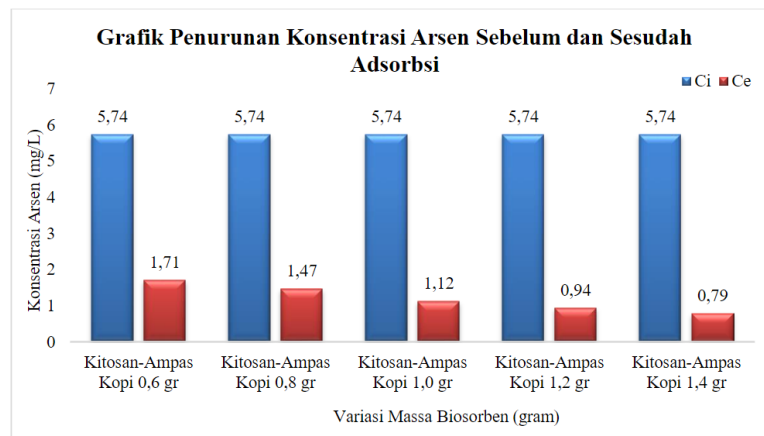
$$q_e = \frac{RT}{b} \ln(AC_e) \quad (8)$$

Dimana  $R$  adalah tetapan gas universal,  $T$  adalah suhu;  $A$  (L/g) adalah konstanta kesetimbangan dan  $b$  (J/mol) adalah konstanta Temkin yang berkaitan dengan panas biosorpsi.

Penentuan model isotherm dan kinetika adsorpsi yang tepat dilakukan berdasarkan koefisien korelasi dengan nilai  $R^2$  terbesar yang mendekati 1,0 menggunakan software Microsoft excel [14], [15].

## Hasil dan Pembahasan

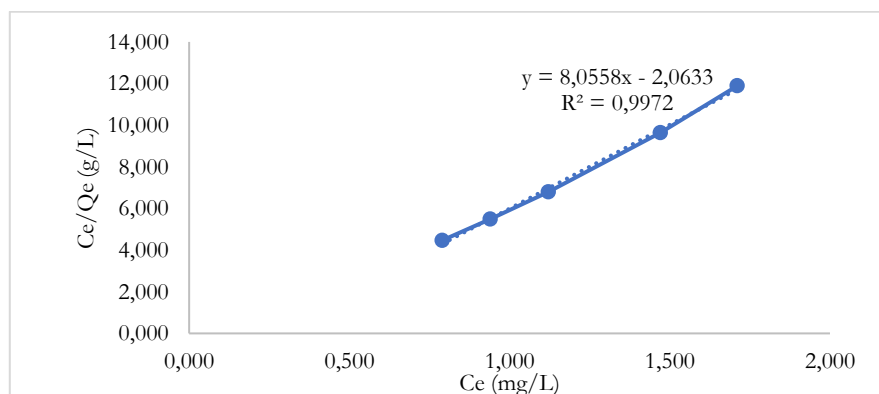
Penggunaan biosorben kitosan-ampas kopi dalam penurunan konsentrasi arsen pada air limbah industri disajikan pada Gambar 2.



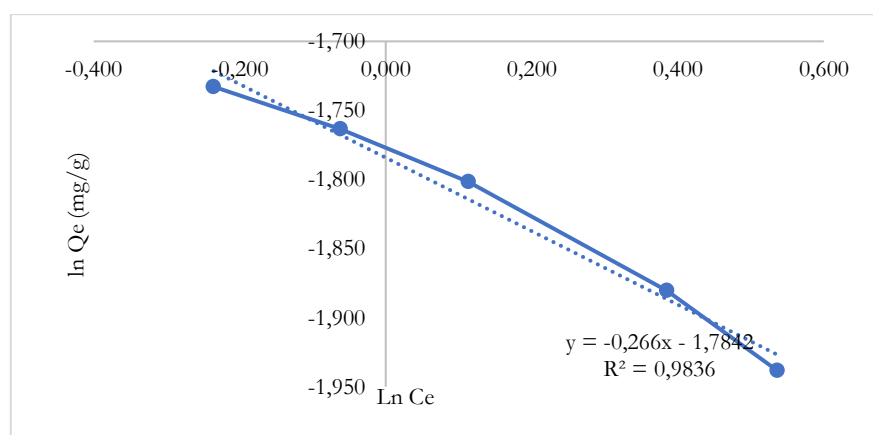
Gambar 2. Penurunan konsentrasi arsen menggunakan variasi massa karbon aktif pada biosorben [9]

Gambar di atas menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi logam arsen tertinggi pada penggunaan biosorben kitosan dengan massa karbon aktif ampas kopi sebesar 1,4 gram menjadi 0,79 mg/L. Yang artinya semakin besar massa karbon aktif ampas kopi yang dikombinasikan dengan kitosan dalam proses adsorpsi maka semakin besar penurunan konsentrasi arsen yang dihasilkan, karena peningkatan kemampuan adsorpsi seiring dengan peningkatan massa karbon aktif berkaitan dengan meningkatnya situs penyerapan aktif biosorben dalam penyerapan logam arsen pada air limbah [16].

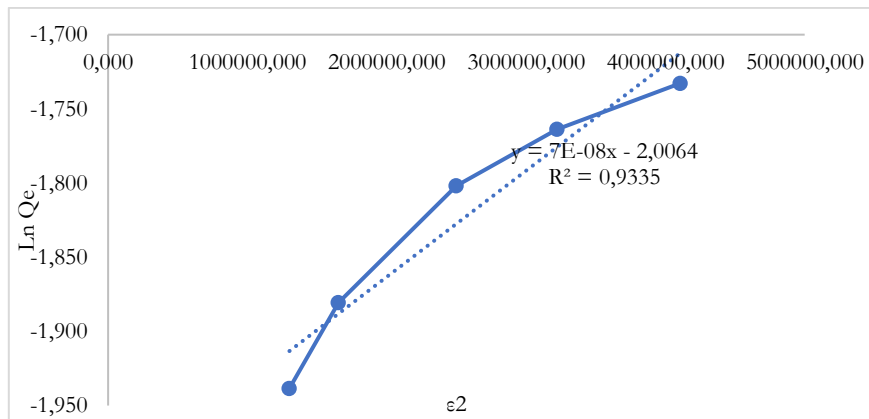
Hasil analisis data yang dilakukan menggunakan Microsoft excel pada beberapa persamaan isotherm disajikan pada gambar 3 sampai dengan 6.



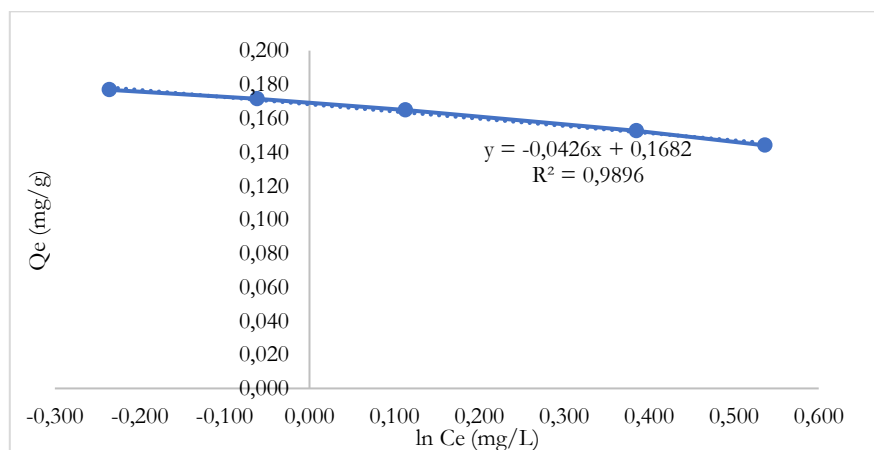
Gambar 3. Plot Ce vs Ce/Que pada model isotherm Langmuir



Gambar 4. Plot Ln Ce vs Ln Qe pada model isotherm Freundlich



Gambar 5. Plot  $C_e$  vs  $C_e/Q_e$  pada model isoterm Dubinin-Raduskevich (D-R)



Gambar 6. Plot  $\ln C_e$  vs  $Q_e$  pada model isoterm Temkin

Gambar di atas menunjukkan bahwa model isoterm yang tepat pada proses adsorpsi logam arsen menggunakan kitosan-karbon aktif ampas adalah model Langmuir karena koefisien korelasi yang tertinggi sebesar 0,9972; kemudian diikuti oleh model Temkin, Freundlich dan Dubinin-Raduskevich. Besarnya parameter isoterm adsorpsi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Besaran parameter isoterm adsorpsi arsen menggunakan kitosan-karbon aktif ampas kopi

Langmuir	Freundlich	Dubinin-Raduskevich	Temkin
$K_L=8,0558$	$K_F=0,266$	$q_{mD-R}=2,0064$	$b_T=0,0426$
$Q_m=2,063$	$1/n=-1,7842$	$\epsilon=7 \times 10^{-8}$	$B=0,1682$
$R_L=2,1168$	$R^2=0,9836$	$R^2=0,9335$	$R^2=0,9896$
<b><math>R^2=0,9972</math></b>			

Tabel di atas menunjukkan data hasil perhitungan mengenai beberapa parameter isotherm adsorpsi yaitu konstanta Langmuir yang besarnya 8,0558 dengan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 2,063 dan nilai factor pemisah ( $R_L$ ) sebesar 2,1168 yang artinya adsorpsi menguntungkan ( $R_L > 1$ ) [17]. Pada persamaan Freundlich menunjukkan adanya konstanta Freundlich ( $K_F$ ) sebesar 0,266 dan intensitas biosorpsi ( $1/n$ ) sebesar -1,7842 ( $< 0$ ) yang artinya reaksi adsorpsi berlangsung 2 arah (*irreversible*) [18]. Pada persamaan isotherm Dubinin Raduskevich menunjukkan adanya kapasitas adsorpsi maksimum ( $q_{mD-R}$ ) sebesar 2,0064  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , potensial biosorpsi yang berdasarkan teori potensial Polanyi ( $\epsilon$ ) sebesar  $7 \times 10^{-8} \text{ kJ/mol}$ . Pada persamaan isotherm Temkin menunjukkan besarnya konstanta Temkin yang berkaitan dengan panas biosorpsi sebesar 0,1682 J/mol. Berdasarkan analisis data yang dilakukan maka koefisien korelasi model Langmuir > Temkin > Freundlich > D-R. Hal ini menunjukkan bahwa isotherm adsorpsi mengikuti model isotherm Langmuir dengan koefisien korelasi sebesar 0,9972 dengan kapasitas adsorpsi maksimal sebesar

2,063 mg.g<sup>-1</sup> yang menunjukkan bahwa adsorpsi kimia terjadi pada lapisan mono layer dengan distribusi situs adsorpsi yang bersifat homogen dengan energi adsorpsi konstan dan interaksi antara molekul logam arsen (adsorbat) yang dapat diabaikan. Besaran parameter kinetika adsorpsi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Besaran parameter kinetika adsorpsi arsen menggunakan kitosan-karbon aktif ampas kopi

No	Model Kinetika	Persamaan	Nilai k dan q <sub>e</sub>	R <sup>2</sup>
1	Pseudo First Order (PFO)	$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$ Laju = $k_1 (q_e - q_t)$	k <sub>1</sub> (jam <sup>-1</sup> )= 82,217 mg.g <sup>-1</sup> q <sub>e</sub> =16,816 mg.g <sup>-1</sup>	0,9606
2	Pseudo Second Order (PSO)	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$ Laju = $k_2 (q_e - q_t)^2$	k <sub>2</sub> (g.mg <sup>-1</sup> .jam <sup>-1</sup> )=9,6813 q <sub>e</sub> =0,0022 mg.g <sup>-1</sup>	0,7479
3	Elovich	$q_t = \frac{1}{b} \ln(ab) + \frac{1}{b} \ln(t)$ Laju = $a e^{-bq_t}$	k=76,512 mg.g <sup>-1</sup>	0,9581
4	Weber Morris/ Difusi Intra Partikel	$q_t = k_i t^{1/2}$	k <sub>i</sub> = 133,31 mg.g <sup>-1</sup> Laju=76,512 g.mg <sup>-1</sup> .jam <sup>-1</sup>	<b>0,9920</b>

Tabel di atas menunjukkan data hasil perhitungan mengenai beberapa parameter kinetika adsorpsi yaitu konstanta PFO sebesar 82,217 mg.g<sup>-1</sup> dengan kapasitas adsorpsi berdasarkan berat pada kesetimbangan sebesar 16,816 mg.g<sup>-1</sup>. Pada persamaan PSO menunjukkan adanya konstanta PSO sebesar 9,6813 mg.g<sup>-1</sup>.jam<sup>-1</sup> dengan kapasitas adsorpsi berdasarkan berat pada kesetimbangan sebesar 0,0022 mg.g<sup>-1</sup>. Pada persamaan Elovich menunjukkan adanya konstanta Elovich sebesar 76,512 mg.g<sup>-1</sup>. Pada persamaan Difusi intra partikel menunjukkan adanya konstanta Weber Morris sebesar 133,31 mg.g<sup>-1</sup>. Berdasarkan analisis data yang dilakukan maka koefisien korelasi model kinetika Difusi intra partikel > PFO > Elovich > PSO. Hal ini menunjukkan bahwa kinetika adsorpsi mengikuti model kinetika Difusi intra partikel dengan koefisien korelasi sebesar 0,9920 dengan laju difusi sebesar 76,512 g.mg<sup>-1</sup>.jam<sup>-1</sup> yang menunjukkan bahwa difusi intra partikel adalah langkah laju pembatas dalam proses biosorpsi secara keseluruhan dan dipengaruhi oleh fungsi waktu paruh biosorpsi yang diperoleh dalam keadaan tersebut. [19].

## Kesimpulan

Kajian Isoterm dan Kinetika Adsorpsi Logam Arsen menggunakan Biosorben Kombinasi Kitosan dan Karbon Aktif Ampas Kopi menunjukkan bahwa isoterm adsorpsi mengikuti model isoterm Langmuir dengan koefisien korelasi sebesar 0,9972 dengan kapasitas adsorpsi maksimal sebesar 2,063 mg.g<sup>-1</sup> yang menunjukkan bahwa adsorpsi kimia terjadi pada lapisan mono layer dengan distribusi situs adsorpsi yang bersifat homogen dengan energi adsorpsi konstan dan interaksi antara molekul logam arsen (adsorbat) yang dapat diabaikan. Kajian kinetika adsorpsi arsen menggunakan kitosan-karbon aktif ampas kopi mengikuti model Weber-Morris/difusi intra partikel dengan koefisien korelasi sebesar 0,9920 dengan laju difusi sebesar 76,512 g.mg<sup>-1</sup>.jam<sup>-1</sup> yang menunjukkan bahwa difusi intra partikel adalah langkah laju pembatas dalam proses biosorpsi secara keseluruhan.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan Terima Kasih kami sampaikan kepada DIPA DIRJENDIKTI KEMENDIKBUDRISTEK Tahun Anggaran 2021 atas dukungan dana penelitian yang telah diberikan melalui Hibah dengan kontrak penelitian nomor 036/KP/7.NA/UPB/VII/2021 sehingga penelitian dapat diselesaikan dengan baik.

## Daftar Rujukan

- [1] Menteri Lingkungan Hidup, (2014), "KepMen LH nomor 5 / 2014," in *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014*, hal. 81.
- [2] M. S. Kim *dkk.*, (2014), "The effectiveness of spent coffee grounds and its biochar on the amelioration of heavy metals-contaminated water and soil using chemical and biological assessments," *J. Environ. Manage.*, vol. 146, hal. 124–130, doi: 10.1016/j.jenvman.2014.07.001.
- [3] N. Nuryono *dkk.*, (2020), "Chitosan-functionalized natural magnetic particle@silica modified with (3-chloropropyl)trimethoxysilane as a highly stable magnetic adsorbent for gold(III) ion," *Mater. Chem. Phys.*, vol.

- 255, no. February, hal. 123507, doi: 10.1016/j.matchemphys.2020.123507.
- [4] S. Das, J. Chakraborty, S. Chatterjee, dan ..., (2018), "Prospects of biosynthesized nanomaterials for the remediation of organic and inorganic environmental contaminants," *Environ. Sci. ...*, [Daring]. Tersedia pada: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2018/en/c8en00799c>.
- [5] F. Purnama, (2019), "Pembuatan dan Karakterisasi Kitosan-Karbon Aktif dari Ampas Kopi Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Kadar Logam Kadmium dan Nikel," Universitas Sumatera Utara.
- [6] N. I. Said, (2018), "METODA PENGHILANGAN LOGAM BERAT (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni dan Zn) DI DALAM AIR LIMBAH INDUSTRI," *J. Air Indones.*, vol. 6, no. 2, hal. 136–148, doi: 10.29122/jai.v6i2.2464.
- [7] E. F. Lessa, M. L. Nunes, dan A. R. Fajardo, (2018), "Chitosan/waste coffee-grounds composite: An efficient and eco-friendly adsorbent for removal of pharmaceutical contaminants from water," *Carbohydr. Polym.*, vol. 189, no. February, hal. 257–266, doi: 10.1016/j.carbpol.2018.02.018.
- [8] D. Suwazan, N. Nurhidayanti, A. B. Fahmi, dan A. Riyadi, (2022), "DALAM MENURUNKAN LOGAM KADMIUM DAN ARSEN PADA," vol. 10, no. 2, hal. 91–102.
- [9] N. Nurhidayanti, N. I. Ilyas, dan D. Suwazan, (2021), "Efektivitas Kombinasi Kitosan dan Ampas Kopi sebagai Adsorben Alami dalam Menurunkan Konsentrasi Arsen Pada Limbah Cair PT PXI," *J. Tekno Insentif*, vol. 15, no. 2, hal. 76–87, doi: 10.36787/jti.v15i2.584.
- [10] D. Suwazan dan N. Nurhidayanti, (2022), "Efektivitas Kombinasi Kitosan dan Ampas Teh Sebagai Adsorben Alami dalam Menurunkan Konsentrasi Timbal Pada Limbah Cair PT PXI," *J. Ilmu Lingkungan*, vol. 20, no. 1, hal. 37–44, doi: 10.14710/jil.20.1.37-44.
- [11] M. Komunikasi, T. Lingkungan, N. Nurhidayanti, N. I. Ilyas, D. Suwazan, dan S. Fajar, (2022), "Jurnal Presipitasi Effectiveness of Lead and Cadmium Reduction with Adsorption Method using a Combination of Chitosan and Coffee Grounds ( Case Study of Industrial Wastewater PT . X Indonesia )," vol. 19, no. 1, hal. 11–23.
- [12] Nurhidayanti, N., Ilyas, N. I., & Suwazan, D. (2021). Efektivitas Kombinasi Kitosan dan Ampas Kopi sebagai Adsorben Alami dalam Menurunkan Konsentrasi Arsen Pada Limbah Cair PT PXI. *Jurnal Tekno Insentif*, 15(2), 76-87.
- [13] N. Sunsandee, P. Ramakul, S. Phatanasri, dan U. Pancharoen, (2020), "Biosorption of dicloxacillin from pharmaceutical waste water using tannin from Indian almond leaf : Kinetic and equilibrium studies," *Biotechnol. Reports*, vol. 27, hal. e00488, doi: 10.1016/j.btre.2020.e00488.
- [14] J. Wang dan X. Guo, (2020), "Adsorption isotherm models: Classification, physical meaning, application and solving method," *Chemosphere*, vol. 258, hal. 127279, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127279.
- [15] J. Wang dan X. Guo, (2020), "Adsorption kinetic models: Physical meanings, applications, and solving methods," *J. Hazard. Mater.*, vol. 390, no. January, hal. 122156, doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.122156.
- [16] A. Naga Babu, D. S. Reddy, G. S. Kumar, K. Ravindhranath, dan G. V. Krishna Mohan, (2018), "Removal of lead and fluoride from contaminated water using exhausted coffee grounds based bio-sorbent," *J. Environ. Manage.*, vol. 218, hal. 602–612, doi: 10.1016/j.jenvman.2018.04.091.
- [17] U. Khalil, M. Bilal Shakoor, S. Ali, M. Rizwan, M. Nasser Alyemeni, dan L. Wijaya, (2020), "Adsorption-reduction performance of tea waste and rice husk biochars for Cr(VI) elimination from wastewater," *J. Saudi Chem. Soc.*, vol. 24, no. 11, hal. 799–810, doi: 10.1016/j.jscs.2020.07.001.
- [18] E. Pagalan dkk., (2020), "Activated carbon from spent coffee grounds as an adsorbent for treatment of water contaminated by aniline yellow dye," *Ind. Crops Prod.*, vol. 145, no. June, hal. 111953, doi: 10.1016/j.indcrop.2019.111953.
- [19] M. H. Park, S. Jeong, G. Lee, H. Park, dan J. Y. Kim, (2019), "Removal of aqueous-phase Pb(II), Cd(II), As(III), and As(V) by nanoscale zero-valent iron supported on exhausted coffee grounds," *Waste Manag.*, vol. 92, hal. 49–58, doi: 10.1016/j.wasman.2019.05.017.