

KINETIKA DAN PEMODELAN ADSORBSI ISOTERM LANGMUIR DARI ADSORBEN KARBON AKTIF PADA PENJERAPAN ION LOGAM Fe⁺²

Irwan Sofia¹⁾, Zulmanwardi²⁾

^{1), 2)}Dosen Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

ABSTRACT

Regulation of the Minister of Health of the Republic of Indonesia Number 416/Menkes/Per/IX/1990 which regulates the requirements and supervision of clean water quality stipulates that clean water must meet health requirements, for ferrous metals the maximum quality standard is 0.3 mg/l. For this reason, it is necessary to study the method of eliminating Fe⁺² metal ions from raw or well water effectively and efficiently. Adsorption method of removal is a cheap alternative to reduce heavy metal ions in raw water. The research objective was to study the kinetics of the metal ion sorption Fe⁺² and the maximum adsorption capacity, activated charcoal adsorbent. The variables that will be carried out are variations in the concentration of the adsorbent in the adsorbate solution, namely; 2%; 4%; 6%; 8%; and 10% (w/v). The results showed that the maximum absorption efficiency was 86.47%, with the optimum contact time being 50 minutes. The maximum absorption capacity of Fe⁺² metal ion with activated carbon as adsorbent is 0.1132 mg/g, and the Langmuir equilibrium constant is 0.5039 L/mg. The kinetics model of adsorption kinetics follows a pseudo second order model with the reaction rate constant (k₂) is 0.2667 mg/g.min, and the adsorption isotherm modeling is represented by the Langmuir model.

Keywords: adsorbsi, arang aktif, kinetika, kapasitas penjerapan, konstanta Langmuir.

1. PENDAHULUAN

Salah satu ion logam yang penting bagi manusia adalah ion besi (Fe⁺²) merupakan nutrisi dan dibutuhkan tubuh dengan kebutuhan 1 mg yang dapat diperoleh dari makanan dan air minum. Air sumur bor merupakan salah satu jalan yang ditempuh masyarakat untuk memenuhi kebutuhan air bersih, namun tingginya kadar ion Fe⁺² (antara 1–7 mg/l) mengakibatkan harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dipergunakan. Kadar besi yang standar untuk air bersih menurut Departemen kesehatan di dalam Permenkes No. 492 /Per/Menkes/IV/ 2010 tentang air bersih yaitu sebesar 0,3 mg/l.

Zat besi yang melebihi dosis yang diperlukan oleh tubuh dapat menimbulkan masalah kesehatan. Air minum yang mengandung besi tinggi cenderung menimbulkan rasa mual apabila dikonsumsi. Selain itu dalam dosis besar dapat merusak dinding usus. Kadar besi yang lebih dari 1 mg/l juga akan menyebabkan terjadinya iritasi pada mata dan kulit.

Besi (Fe) sebagian besar berasal dari kontakannya dengan tanah dan pembentukan batuan. Kandungan besi dalam air minum dapat bersifat terlarut sebagai ion Fe⁺² atau Fe⁺³ tersuspensi sebagai koloidal atau lebih besar seperti FeO, dan yang bergabung dengan zat organik atau anorganik. Terdapat lima metode dasar untuk pemisahan logam dalam air yang mengandung besi dan mangan yaitu: (i) dengan fosfat, (ii) ion exchange atau adsorpsi, (iii) oxidizing filter, (iii) aerasi diikuti dengan filtrasi, (iv) oksidasi kimia dilanjutkan dengan filtrasi (Budi et al.2003). Pada penelitian ini pemisahan Fe⁺² menggunakan metode adsorpsi. Adsorpsi merupakan penarikan suatu zat oleh zat lain sehingga menempel pada permukaan dari bahan pengadsorpsi. Rasman dan Saleh, M. (2016) melaporkan penurunan kadar besi (Fe⁺²) setelah perlakuan aerasi dapat menurunkan kadar besi (Fe⁺²) hingga mencapai persentase penurunan sebesar 66,7%. Penurunan kadar besi (Fe⁺²) dengan sistem filtrasi dengan media kerikil, arang tempurung kelapa dan pasir silika dapat menurunkan kadar besi (Fe) mencapai persentase sebesar 89,2%. Penurunan kadar besi (Fe) secara aerasi dan filtrasi dengan media kerikil, arang tempurung kelapa dan pasir silika dapat menurunkan kadar besi (Fe⁺²) hingga mencapai persentase sebesar 85,4 %. Pada kajian-kajian diatas peneliti menggunakan rasio konsentasi adsorben yang relatif tinggi hingga (>20%), dan tidak dilakukannya kajian kapasitas penjerapan maksimum dan penentuan model kinetika reaksi penjerapannya.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada bulan April hingga Oktober, 2021 di Laboratorium Kimia Fisika dan Laboratorium Instrumen Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar.

¹ Korespondensi penulis : Irwan Sofia, Telp. 081524155020, email: irsof@poliupg.ac.id

1. Aktifasi Adsorben Karbon Aktif

Adsorben karbon aktif diaktifkan dengan cara perendaman menggunakan asam sulfat encer masing-masing selama 2 jam. Dilanjutkan pencucian dan penetralan dengan aquadest, lalu dikeringkan pada suhu 110°C selama 24 jam.

2. Pengujian Variasi Waktu Adsorpsi

Dipersiapkan 6 buah labu erlenmeyer ukuran 500 ml. Ke dalam masing-masing labu dimasukkan 100 ml air sumur dan 2 gram karbon aktif. Sampel diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. Sampel disaring menggunakan kertas saring, dimasukkan dalam botol sampel dan diamati menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk menentukan efektifitas penyerapan tertinggi dan durasi waktu optimum.

3. Pengujian Variasi Massa Adsorben

Dipersiapkan 5 buah erlenmeyer ukuran 50 ml. Ke dalam masing-masing labu ditambahkan 100 ml air sumur dengan variasi 2; 4; 6; 8, dan 10, gram karbon aktif. Sampel diaduk selama durasi waktu optimum. Setelah selesai, sampel disaring menggunakan kertas saring, dimasukkan dalam botol sampel dan diamati menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk menentukan efektifitas penyerapan tertinggi.

4. Analisis Data

1) Perhitungan Efisiensi Penyerapan (%RE)

Efisiensi Penyerapan (*Removal Efisiensi*) dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\text{Efisiensi (\%RE)} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \%$$

C_0 = Konsentrasi awal larutan Fe (mg/L)

C_e = Konsentrasi kesetimbangan larutan fe (mg/L)

2) Kapasitas Penyerapan (q_e),

Jumlah ion Fe^{+2} yang diadsorpsi dengan adsorben pada kesetimbangan dapat dihitung dengan persamaan :

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) V}{W}$$

q_e = Logam Fe^{+2} yang terserap dalam adsorben (mg/g)

C_0 = Konsentrasi awal larutan sampel Fe (mg/L)

C_e = Konsentrasi kesetimbangan larutan Fe (mg/L)

V = Volume larutan sampel (L)

W = Berat Adsorben (g)

3) Penentuan Konstanta Isoterm Penyerapan Model Langmuir

Pengolahan data menggunakan model kinetika adsorpsi isoterm *Langmuir*. Untuk menentukan kapasitas adsorpsi maksimum (q_m) dan konstanta *isotherm* Langmuir (K_L), dilakukan plot antara $1/q_e$ vs $1/C_e$, kemudian dihitung menggunakan model persamaan (Zheng, 2006. dalam Zaini et al., 2018):

$$\frac{1}{q_e} = \frac{abC_e}{1+C_e} \quad (\text{non linear})$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{ab} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{b} \quad (\text{linear})$$

q_e = Jumlah adsorbat terserap tiap massa adsorben pada kesetimbangan (mg/g)

a = Konstanta kesetimbangan Langmuir, (L/mg), K_L

b = Kapasitas penyerapan maksimum pada permukaan padatan (mg/g), q_m

C_e = Konsentrasi pada kesetimbangan (mg/L)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran Serapan (Absorbansi) Larutan Standar Besi (Fe)

Hasil pengukuran absorbansi dari larutan standard besi (Fe^{+2}), terhadap konsenstrasi yang telah dihitung ditunjukkan pada Tabel 1.

No.	Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi
1	1,11	0,284
2	2,22	0,515

3	3,32	0,742
4	4,42	0,980
5	5,52	1,228

Tabel 2. Perhitungan Persamaan Garis Regresi Linier

No	X	Y	XY	X ²
1	1,11	0,280	0,3108	1,2321
2	2,22	0,514	1,1411	4,9284
3	3,32	0,738	2,4502	11,0224
4	4,42	0,980	4,3316	19,5364
5	5,52	1,227	6,7730	30,4704
n=5	Σ = 16,69	Σ=3,7390	Σ=15,0067	Σ=67,1897

Sehingga diperoleh persamaan garis regresinya adalah : $y = 0,2200 x + 0.0134$.

Pengukuran Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Adsorpsi Logam Fe⁺²

Perlakuan ini dikerjakan untuk mendapatkan waktu kontak optimum, atau perlakuan pendahuluan untuk memperoleh waktu kesetimbangan yang digunakan untuk perlakuan berikutnya yaitu penjerapan dengan variasi konsentrasi adsorben.

Data perhitungan penentuan waktu kontak terhadap adsorpsi logam Fe.

- Massa adsorben = 2,0 gram
- Volume larutan sampel air = 100 mL
- Konsentrasi awal (Co) = 2,7115 mg/L

Tabel 3. Data Penentuan Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi Logam Fe

Adsorben	Waktu (menit)	Konsentrasi akhir logam Fe (Ce), mg/L	Efisiensi Penyisihan Adsorpsi (%)	Kapasitas Adsorpsi, (q ₀), (mg/g)
Karbon Aktif	10	1,8331	32,3953	0,0439
	20	1,5321	43,4962	0,0589
	30	1,2820	52,7199	0,0715
	40	0,9929	63,3818	0,0859
	50	0,7682	71,6688	0,0972
	60	0,7635	71,8421	0,0974

Penentuan Dosis Adsorben Terhadap Adsorpsi Logam Fe⁺²

Perlakuan ini dikerjakan untuk mendapatkan data sebagai dasar untuk menghitung parameter kinetika model penyerapan isotherm adsorpsi Langmuir.

Data perhitungan penentuan waktu kontak terhadap adsorpsi logam Fe.

- Volume larutan sampel air = 100 mL
- Konsentrasi awal (Co) = 2,7155 mg/L
- Waktu Kontak = 50 menit

Tabel 4. Data Penentuan Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi Logam Fe

Adsorben	Dosis Adsorben (g)	Konsentrasi akhir logam Fe (Ce), mg/L	Efisiensi Penyisihan Adsorpsi (%)	Kapasitas Adsorpsi, (q _e), (mg/g)
Karbon Aktif	2	0,7682	71,7105	0,0974
	4	0,7010	74,1852	0,0504
	6	0,5128	81,2355	0,0367
	8	0,3674	86,4702	0,0293
	10	0,3720	86,3000	0,0234

Perhitungan Penentuan Model Kinetika Adsorpsi

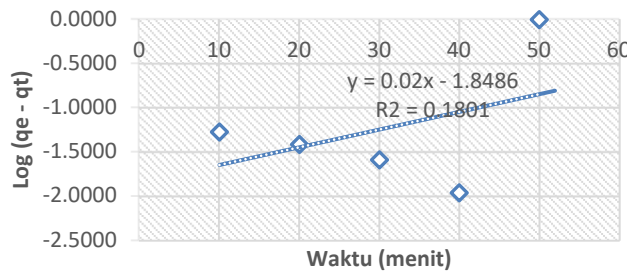
1. Model Pseudo orde pertama

Persamaan model kinetika orde pertama :

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} \cdot t$$

Tabel 5. Data penentuan kinetika pseudo orde pertama

Waktu (menit)	Konsentrasi akhir logam Fe (Ce), mg/L	Kapasitas Adsorpsi, (q ₀), (mg/g)	(q _e - q _t)	log (q _e - q _t)
10	1,8331	0,0439	0,0533	- 1,2733
20	1,5321	0,0589	0,0383	- 1,4168
30	1,2820	0,0715	0,0257	- 1,5900
40	0,9929	0,0859	0.0113	- 1,9649
50	0,7682	0,0972	0	0



Gambar 1. Kurva hubungan

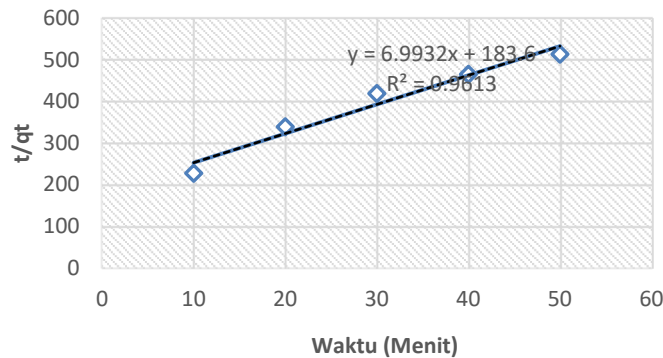
2. Model pseudo orde kedua

Persamaan model kinetika orde dua :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} \cdot t$$

Tabel 6. Data Penentuan Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi Logam Fe

Waktu (menit)	Konsentrasi akhir logam Fe (Ce), mg/L	Efisiensi Penyisihan Adsorpsi (%)	Kapasitas Adsorpsi, (q ₀), (mg/g)	$\frac{t}{q_t}$
10	1,8331	32,3953	0,0439	227,79
20	1,5321	43,4962	0,0589	339,56
30	1,2820	52,7199	0,0715	419,58
40	0,9929	63,3818	0,0859	465,66
50	0,7682	71,6688	0,0972	514,40



Gambar 2, Kurva hubungan t/qt vs t

Laju reaksi merupakan laju yang diperoleh dari perubahan konsentrasi reaktan dalam satu satuan waktu pada reaksi kimia yang mengalami kesetimbangan. Laju reaksi bergantung pada konsentrasi reaktan, tekanan, temperatur dan pengaruh katalis. Model kinetika pseudo orde pertama dan pseudo orde kedua digunakan untuk menyesuaikan hubungan data kinetika ion exchange atau proses adsorpsi (Bulgariu, 2010). Penentuan model kinetika adsorpsi dalam model pseudo orde pertama, dan pseudo orde kedua, masing-masing diplotkan pada kurva hubungan $\log(q_e - q_t)$ vs t , dan kurva hubungan t/q_t vs t pada Gambar 1 dan Gambar 2. Untuk model kinetika adsorpsi pseudo orde kedua memberikan hubungan data percobaan dan model yang sesuai, dan memberikan persamaan linier; $y = 6,9932 + 183,6$, dengan nilai korelasi (R^2) 0,9623.

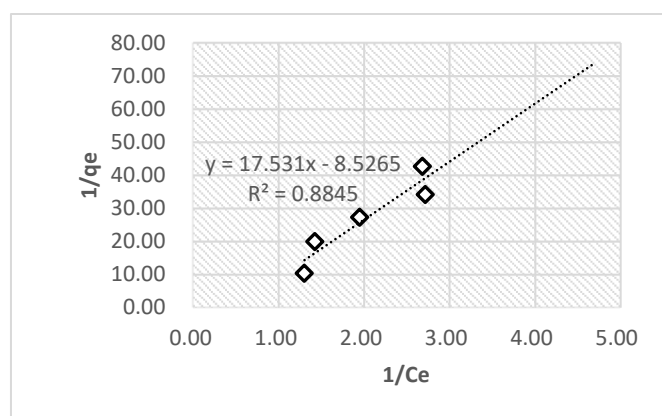
Berdasarkan data analisis model kinetika diatas, dapat diketahui bahwa adsorpsi logam Fe^{+2} karbon aktif cocok menggunakan model kinetika pseudo orde kedua, dengan konstanta kecepatan reaksi (k_2) 0,2667 mg/g.menit. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi terjadi secara kimia, yaitu adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kimia antara makromolekul adsorbat dengan adsorben. Adsorpsi kimia bersifat tidak reversibel. Proses adsorpsi kimia ini diawali dengan adsorpsi fisik dimana adsorbat melekat ke permukaan pori adsorben melalui gaya Van der Waals kemudian diikuti oleh adsorpsi kimia. Pada adsorpsi kimia, adsorbat melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia yang biasanya merupakan ikatan kovalen.

Penentuan Konstanta Model Adsorpsi Isotherm Langmuir

Penentuan Konstanta kapasitas adsorpsi maksimum (q_m) dan konstanta *Isotherm* Langmuir (K_L), dilakukan dengan mengplotkan data antara $1/q_e$ vs $1/C_e$, kemudian dihitung menggunakan model persamaan (Zheng, 2006. dalam Zaini et al., 2018).

Tabel 7. Tabel Penentuan Isotherm Adsorpsi Langmuir untuk Adsorben Karbon Aktif

Adsorben	Dosis Adsorben (g)	Konsentrasi awal Fe (C_o), mg/L	Konsentrasi akhir Fe (C_e), mg/L	Kapasitas Adsorpsi, (q_e), (mg/g)	$1/q_e$	$1/C_e$
Karbon Aktif	2	2,7155	0,7682	0,0974	10,2669	1,3017
	4	2,7155	0,7010	0,0504	19,8412	1,4265
	6	2,7155	0,5128	0,0367	27,2479	1,9500
	8	2,7155	0,3674	0,0293	34,1297	2,7218
	10	2,7155	0,3720	0,0234	42,7350	2,6881



Gambar 3. kurva hubungan $1/q_e$ vs $1/C_e$

Hasil perhitungan diperoleh, kapasitas penjerapan maksimum pada permukaan padatan (q_{max}) adalah 0,1132 mg/g adsorben, dan Konstanta kesetimbangan Langmuir (K_L) 0,5039 L/mg.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan sementara yang diperoleh adalah :

1. Efisiensi penyisihan maksimum adsorpsi ion logam Fe^{+2} dengan adsorben karbon aktif adalah 86,47%.
2. Kapasitas penyerapan maksimum dengan adsorben karbon aktif adalah 0,1132 mg/g adsorben, dan Konstanta kesetimbangan Langmuir adalah 0,5039 L/mg.

3. Waktu kontak optimum adalah 50 menit, dimana tidak terjadi perubahan signifikan konsentrasi adsorbat setelah waktu tersebut.
4. Model kinetika adsorpsi mengikuti model pseudo orde kedua dengan konstanta kecepatan reaksi (k_2) adalah 0,2667 mg/g.menit, dan pemodelan isoterm adsorpsi diwakili oleh model Langmuir.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budi, F Setia, Silvina, “ Penurunan Kadar Fe dan Mn Dalam Penyediaan Air Bersih Dengan Perlakuan Fosfat,” Jurusan Teknik Kimia UNDIP Semarang, 2003.
- [2] Bulgariu, L., Anca, C., Liliana, L., Igor, C., dan Balasanian. 2010. *Equilibrium and Kinetics Study of Nitrate Removal from Water by Purolite A100 Resin*. *Revista de Chimie* 61: 1136-1141.
- [3] Caliman, F.A., Gavrilescu, M., Pharmaceuticals, Personal Care Products and Endocrine Disrupting Agents in the Environment – a Review, *Clean – Soil Air Water* 2009, 37, 277.
- [4] Estiaty, L.M., 2012. Kestimbangan Dan Kinetika Adsorpsi Ion Cu^{2+} Pada Zeolit-H. *J. Ris. Geol. dan Pertamb.* 22, 115. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2012.v22.63>
- [5] Febrina Laila , Ayuna Astrid. 2015. Studi Penurunan Kadar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Dalam Air Tanah Menggunakan Saringan Keramik: *Jurnal Teknologi FtUmj* [Diunduh 2021 Februari 10]; 7 (1): 1-7. Tersedia pada: <http://jurnal.ftumj.ac.id/index.php/Jurtek>.
- [6] Gonzo, E.E.; Adsorption of Organic Compounds on Activated Carbon Derived from Peanut Shells. Potential Theory Correlation for Estimating Adsorption Capacities and Affinity Coefficients, *Adsorpt. Sci. Technol.* 2003, 21, 911.
- [7] Masukume, M., Onyango, M.S., Maree, J.P., 2014. Sea shell derived adsorbent and its potential for treating acid mine drainage. *Int. J. Miner. Process.* 133, 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2014.09.005>
- [8] Putri, Winanda & Musfirah. 2019. Efektivitas Arang Aktif Kayu Bakau Terhadap Penurunan Kadar Logam Besi (Fe) Air Sumur Gali: *Jurnal UAD, Yogyakarta*.
- [9] Rasman dan Muh. Saleh., 2016. Penurunan Kadar Besi (Fe) Dengan Sistem Aerasi Dan Filtrasi Pada Air Sumur Gali: *Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Makassar*, 2016.
- [10] Susilo, B., Ulfinasari, A., Yulianingsih, R., 2018. Pemurnian Alkohol Menggunakan Proses Destilasi-Adsorpsi dengan Penambahan Adsorben Zeolit. *Adsorbent* 6, 9–12
- [11] Widayatno, T., Yuliawati, T., Susilo, A.A., 2009. Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *J. Teknol. Bahan Alam* 1, 17–23.
- [12] Widwiasuti, H., Bisri, C., Rumhayati, B., 2019. Pengaruh Massa Adsorben dan Waktu Kontak terhadap Adsorpsi Fosfat menggunakan Kitin Hasil Isolasi dari Cangkang Udang 93–98.
- [13] Zaini, H., Rachmawati, C.A., Abubakar, S., 2018. Penyisihan Ion Fe (II) dalam Air Sumur Bor dengan Metode Kolom Menggunakan Adsorben dari Ampas Tebu yang Diaktivasi secara Fisika dan Kimia A-128 A-129 2, 128–133.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang dan Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (P3M) atas dukungan dana yang diberikan.