

## EFEKTIVITAS ADSORPSI LOGAM $Pb^{2+}$ DAN $Cd^{2+}$ MENGGUNAKAN MEDIA ADSORBEN CANGKANG TELUR AYAM

Erna Wati Ibnu Hajar\*, Reny Suryani Sitorus, Novi Mulianingtias, Fransiska Jawa Welan

Program Studi S1Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

Jl. Sambaliung No.9 Kampus Gunung Kelua Samarinda,75123, Indonesia

\* E-mail corresponding author: e12nawati@hotmail.com

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i>            Received: 5-2-2016            Received in revised form: 15-2-2016            Accepted: 10-3-2016            Published: 7-4-2016</p> <p><i>Keywords:</i>            Adsorption            Chicken Egg Shells            Effectiveness            Adsorption Kinetics</p>	<p><i>An egg shells is the part of the egg which serves to provide protection for the components of the egg contents from damage because of physical, chemical and microbiological activity. Egg shells has 10,000-20,000 pores that are expected to absorb a solute and can be used as adsorbent to adsorb metals ion such as <math>Pb^{2+}</math> and <math>Cd^{2+}</math>. The aims of this study were to examine the effectivity of chicken egg shells as adsorbent by variation of contacting time ie 15, 30, 45 mins and the difference in mass of adsorbent which are 3, 6 and 9 grams, as well as to determine the kinetics model of adsorption on metal ion of <math>Pb^{2+}</math> and <math>Cd^{2+}</math>. This study begins with downsizing the size of chicken egg shells become to 200 mesh, then was performed a chemical activation by soaking the chicken egg shells with 0.1 M HCl. The adsorption was performed by contacting the adsorbent with a solution of the sample is based on the contacting time and mass of adsorbent, the concentration of the resulting solution adsorption then analyzed by AAS. The results showed that the % effectiveness adsorption of the <math>Pb^{2+}</math> highest that can be produced from chicken egg shells adsorbent that is 91.1242% by weight of 9 gram adsorbent by contacting time 15 mins, while on the adsorption <math>Cd^{2+}</math> can be produced from chicken egg shells adsorbent is 99.9515% on the weight of the adsorbent 9 grams with time contacting the 15 minutes. <math>Pb^{2+}</math> adsorption kinetics at 3, 6 and 9 grams following the second-order kinetic model, whereas the adsorption <math>Cd^{2+}</math> adsorption kinetics at 3 grams following the model zero-order kinetics.</i></p>

**Abstrak-** Cangkang telur merupakan bagian terluar dari telur yang berfungsi memberikan perlindungan bagi komponen-komponen isi telur dari kerusakan secara fisik, kimia maupun mikrobiologis. Setiap cangkang telur memiliki 10.000-20.000 pori-pori sehingga diperkirakan dapat menyerap suatu solute dan dapat digunakan sebagai adsorben untuk menyerap logam seperti  $Pb^{2+}$  dan  $Cd^{2+}$ . Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui efektivitas cangkang telur ayam sebagai adsorben dengan variasi waktu kontak yaitu 15, 30, 45 menit dan perbedaan massa adsorben yaitu 3, 6, dan 9 gram, serta untuk mengetahui model kinetika adsorpsi yang tepat pada penyerapan logam  $Pb^{2+}$  dan  $Cd^{2+}$ . Penelitian ini diawali dengan pengecilan ukuran cangkang telur ayam menjadi 200 mesh, kemudian dilakukan aktivasi kimia dengan merendam cangkang telur ayam dengan larutan HCl 0,1 M. Selanjutnya dilakukan proses adsorpsi dengan mengontakkan adsorben dengan larutan sampel berdasarkan perbedaan waktu dan massa adsorben, konsentrasi larutan hasil adsorpsi kemudian dianalisa dengan menggunakan AAS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa % efektivitas penyerapan  $Pb^{2+}$  tertinggi yang dapat dihasilkan dari adsorben cangkang telur ayam yaitu 91,1242% pada berat adsorben 9 gram dengan waktu pengontakan 15 menit, sedangkan pada penyerapan  $Cd^{2+}$  yang dapat dihasilkan dari adsorben cangkang telur ayam yaitu 99,9515% pada berat adsorben 9 gram dengan waktu pengontakan 15 menit. Kinetika adsorpsi penyerapan  $Pb^{2+}$  pada 3, 6, dan 9 gram mengikuti model kinetika orde 2, sedangkan kinetika adsorpsi penyerapan  $Cd^{2+}$  pada 3 gram mengikuti model kinetika orde 0.

**Kata kunci :** Adsorpsi, Cangkang Telur Ayam, Efektivitas, Kinetika Adsorpsi

## PENDAHULUAN

Cangkang telur merupakan bagian terluar dari telur yang berfungsi memberikan perlindungan bagi komponen-komponen isi telur dari kerusakan secara fisik, kimia maupun mikrobiologis. Berdasarkan komposisi mineral yang ada, maka cangkang telur tersusun atas kristal  $\text{CaCO}_3$  (98,41%),  $\text{MgCO}_3$  (0,84%) dan  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  (0,75%) (Jamila, 2014). Konsumsi telur yang meningkat setiap harinya membuat berbagai jenis cangkang telur dianggap sebagai limbah, salah satunya adalah cangkang telur ayam. Menurut Asip (2008), cangkang telur merupakan limbah rumah tangga yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Saat ini cangkang telur hanya digunakan sebagai bahan baku industri kerajinan tangan. Setiap cangkang telur memiliki 10.000-20.000 pori-pori sehingga diperkirakan dapat menyerap suatu *solute* dan dapat digunakan sebagai adsorben. Disamping itu kandungan terbesar cangkang telur adalah kalsium karbonat, dimana kalsium karbonat ini termasuk ke dalam adsorben polar.

Pemanfaatan cangkang telur sebagai adsorben telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Asip (2008), cangkang telur ayam memiliki efisiensi sebesar 99,82% dalam mengadsorpsi logam Fe, sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Prasadha (2012) menunjukkan bahwa cangkang telur dapat menurunkan kandungan Pb pada limbah cair industri *electroplating* hingga 98,90%. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas cangkang telur ayam sebagai adsorben dengan variabel perbedaan waktu pengontakan dan massa adsorben, serta untuk mengetahui kinetika adsorpsi yang tepat pada penjerapan logam  $\text{Pb}^{2+}$  dan  $\text{Cd}^{2+}$ .

## Adsorpsi

Menurut Asip (2008), adsorpsi adalah proses perpindahan massa pada permukaan pori-pori dalam butiran adsorben. Perpindahan massa yang terjadi melalui batas antara dua fasa yaitu: gas-padat, cair-padat. Proses yang terjadi selama adsorpsi yaitu perpindahan massa dari cairan ke permukaan butir, difusi dari permukaan butir ke dalam butir melalui pori, perpindahan massa dari cairan dalam pori ke dinding pori dan adsorpsi pada dinding pori.

Adsorpsi dapat terjadi karena adanya energi permukaan dan gaya tarik-menarik permukaan. Sifat dari masing-masing permukaan berbeda, tergantung pada susunan dalam molekul-molekul zat. Setiap molekul dalam interior dikelilingi oleh molekul-molekul lainnya, sehingga gaya tarik menarik antar molekul akan sama besar, setimbang ke segala bagian. Sedangkan untuk molekul

dipermukaan hanya mempunyai gaya tarik kearah dalam (Asip, 2008).

## Media Penjerap (Adsorben)

Adsorben adalah bahan padat dengan luas permukaan dalam yang sangat besar. Permukaan yang luas ini terbentuk karena banyaknya pori-pori yang halus pada padatan tersebut. Disamping luas spesifik dan diameter pori, maka kerapatan unggun, distribusi ukuran partikel maupun kekerasannya merupakan data karakteristik yang penting dari suatu adsorbant (Asip, 2008).

## Faktor-faktor yang mempengaruhi Proses Adsorpsi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi yaitu:

1. Proses pengadukan  
Kecepatan adsorpsi selain dipengaruhi oleh *film diffusion* dan *pore diffusion* juga dipengaruhi oleh pengadukan. Jika proses pengadukan relatif kecil maka adsorben sukar menembus lapisan *film* antara permukaan adsorben dan *film diffusion* yang merupakan faktor pembatas yang memperkecil kecepatan penyerapan. Dan jika pengadukan sesuai maka akan menaikkan *film diffusion* sampai titik *pore diffusion* yang merupakan faktor pembatas dalam sistem batch dilakukan pengadukan yang tinggi.
2. Karakteristik adsorben  
Adsorpsi dipengaruhi oleh dua sifat permukaan yaitu energi permukaan dan gaya tarik permukaan, oleh karena itu sifat fisik yaitu ukuran partikel dan luas permukaan merupakan sifat yang terpenting dari bahan yang akan digunakan sebagai adsorben.
3. Kelarutan adsorben  
Proses adsorpsi terjadi pada molekul-molekul yang ada dalam larutan harus dapat berpisah dari cairannya dan dapat berikatan dengan permukaan adsorben. Sifat unsur yang terlarut mempunyai gaya tarik-menarik terhadap cairannya yang lebih kuat bila dibandingkan dengan unsur yang sukar larut. Dengan demikian unsur yang terlarut akan lebih sulit terserap pada adsorben bila dibandingkan dengan unsur yang tidak larut (Asip, 2008).

## Logam $\text{Pb}^{2+}$

Timbal (Pb) adalah logam lunak kebiruan atau kelabu keperakan yang lazim terdapat dalam kandungan endapan sulfat yang tercampur mineral-mineral lain, terutama seng dan tembaga. Penggunaan Pb terbesar adalah dalam industri baterai, kendaraan bermotor seperti timbal metalik dan komponen-komponennya. Timbal digunakan

pada bensin untuk kendaraan, cat dan pestisida. Pencemaran Pb dapat terjadi di udara, air, maupun tanah. Badan perairan yang telah kemasukan senyawa atau logam-logam Pb akan menyebabkan jumlah Pb yang ada melebihi konsentrasi yang dapat menyebabkan kematian bagi biota perairan tersebut (Suharto, 2005). Tingkat maksimum kandungan Pb yang diperbolehkan pada air minum adalah 0,01 mg/L atau setara dengan 0,01 ppm (Permenkes RI Nomor 492 Tahun 2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum).

### Logam Cd<sup>2+</sup>

Kadmium berasal dari beberapa sumber yaitu sumber alami, pertambangan dan industri. Gunung berapi merupakan sumber kadmium terbesar secara alami. Dari pertambangan, kadmium tidak ditambang secara tersendiri, tetapi merupakan bahan ikutan dari pengolahan tambang dan produksi timah hitam (Pb), Seng (Zn), Kuprum (Cu), batu bara dan minyak. Melalui interaksi dengan rantai makanan akhirnya kadmium yang mencemari lingkungan perairan akan sampai pada manusia. Kadmium merupakan bahan beracun yang menyebabkan keracunan kronik pada manusia. Tingkat maksimum kandungan Cd yang diperbolehkan pada air minum adalah 0,003 mg/L atau setara dengan 0,003 ppm (Permenkes RI Nomor 492 Tahun 2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum).

### Kinetika Adsorpsi

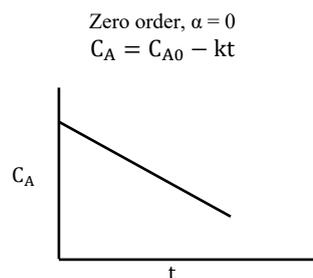
Kinetika adsorpsi menggambarkan tingkat laju penyerapan yang terjadi pada adsorben terhadap adsorbat. Karakteristik kemampuan penyerapan adsorben terhadap adsorbat dapat dilihat dari laju adsorpsinya. Laju adsorpsi dapat diketahui dari konstanta laju adsorpsi ( $k$ ) dan orde reaksi yang dihasilkan dari suatu model kinetika adsorpsi. Tahap pengujian laju adsorpsi dapat dilakukan dengan menduga orde reaksi (Muslich, 2010). Menurut Hidayati (2013), analisa kinetika adsorpsi didasarkan pada kinetika orde nol, orde satu dan orde dua, yaitu sebagai berikut:

#### Orde Nol

Suatu reaksi dikatakan mempunyai orde nol jika besarnya laju reaksi tidak dipengaruhi oleh berapapun perubahan konsentrasi pereaksinya. Artinya sebarang peningkatan konsentrasi pereaksi tidak akan mempengaruhi besarnya laju reaksi. Persamaan linear orde reaksi nol dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$C_A = C_{A0} - kt \quad (1)$$

Bila persamaan (1) di atas diplotkan dalam grafik  $y$  versus  $x$ , maka akan tampak seperti gambar dibawah ini



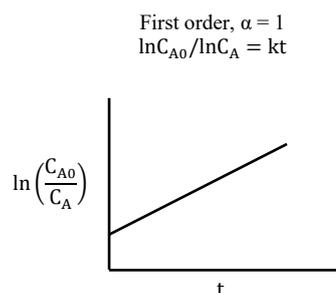
**Gambar 1.** Hubungan antara konsentrasi terhadap waktu pada orde nol

#### Orde Satu

Reaksi orde satu adalah suatu reaksi yang kecepataannya bergantung hanyalah pada salah satu zat yang bereaksi atau sebanding dengan salah satu pangkat reaktannya. Persamaan linear orde reaksi satu dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$\ln C_A = -kt + C_{A0} \quad (2)$$

Bila persamaan (2) di atas diplotkan dalam grafik  $y$  versus  $x$ , maka akan tampak seperti gambar dibawah ini:



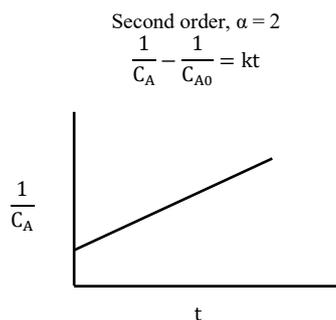
**Gambar 2.** Hubungan antara konsentrasi terhadap waktu pada orde satu

#### Orde Dua

Reaksi orde dua adalah suatu reaksi yang kelajuannya berbanding lurus dengan hasil kali konsentrasi dua reaktannya atau berbanding langsung dengan kuadrat konsentrasi salah satu reaktannya. Jika mekanisme adsorpsi yang terjadi adalah reaksi orde dua dimana kecepatan adsorpsi yang terjadi berbanding lurus dengan dua konsentrasi pengikutnya atau satu pengikut berpangkat dua. Laju kinetika adsorpsi orde dua dinyatakan dalam persamaan linear berikut:

$$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = kt \quad (3)$$

Bila persamaan (3) di atas diplotkan dalam grafik  $y$  versus  $x$ , maka akan tampak seperti gambar dibawah ini:



**Gambar 3.** Hubungan antara konsentrasi terhadap waktu pada orde dua

Dimana:

- $C_A$  = konsentrasi A pada saat  $t = t$  (ppm)  
 $C_{A0}$  = konsentrasi A pada saat  $t = 0$  (ppm)  
 $k$  = konstanta kinetika ( $\text{menit}^{-1}$ )  
 $t$  = waktu (menit)

#### METODE PENELITIAN

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas kimia, gelas ukur, *hot plate*, *magnetic stirrer*, batang pengaduk, labu erlenmeyer, alu dan mortar, ayakan 200 mesh, AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*), oven, botol sampel, *stopwatch* dan gunting.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang telur ayam ras, larutan  $\text{PbSO}_4$  10 ppm, larutan  $\text{Cd}(\text{COOH})_2$  10 ppm, HCl 0,1 M, kertas indikator pH dan kertas saring.

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini yaitu waktu pengontakan 15, 30 dan 45 menit dan massa adsorben 3, 6 dan 9 gram. Variabel tetap yang digunakan dalam penelitian ini yaitu ukuran adsorben 200 mesh, konsentrasi larutan sampel  $\text{Pb}^{2+}$  dan  $\text{Cd}^{2+}$  yaitu 10 ppm dan volume larutan sampel yaitu 20 mL.

#### Pembuatan Adsorben

Cangkang telur ayam dicuci bersih dan dihilangkan dari membran dan kotoran yang melekat pada cangkang telur. Cangkang telur ayam kemudian direndam dengan air panas selama 15 menit kemudian dijemur hingga kering dan

dihaluskan dengan menggunakan alu dan mortar. Bubuk cangkang telur kemudian diayak menggunakan ayakan 200 mesh. Setelah diayak, kemudian dipanaskan dengan oven selama 15 menit pada suhu  $100^\circ\text{C}$ .

#### Aktivasi Adsorben secara Kimia

Adsorben direndam di dalam larutan HCl 0,1 M selama 48 jam, kemudian ditiriskan, disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH-nya netral (pH=7). Setelah pH-nya netral, adsorben kemudian di oven selama 30 menit dengan suhu  $100^\circ\text{C}$ .

#### Proses Adsorpsi

Adsorben ditimbang sebanyak 3 gram, kemudian disiapkan larutan  $\text{PbSO}_4$  10 ppm sebanyak 20 mL di dalam gelas kimia. Dimasukkan adsorben ke dalam gelas kimia yang berisi larutan  $\text{PbSO}_4$  10 ppm dan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 15 menit. Sampel kemudian dianalisa dengan AAS untuk mengetahui kadar Pb. Dilakukan proses diatas dengan sampel larutan  $\text{Cd}(\text{COOH})_2$  dan dengan variabel berat adsorben dan waktu pengontakan.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Efektivitas Adsorpsi Logam $\text{Pb}^{2+}$ dan $\text{Cd}^{2+}$ dengan Cangkang Telur sebagai Adsorbent

Pada penelitian yang dilakukan, efektivitas adsorpsi logam  $\text{Pb}^{2+}$  dan  $\text{Cd}^{2+}$  ditentukan berdasarkan perbedaan massa adsorben yang digunakan yaitu 3, 6 dan 9 gram serta perbedaan waktu kontak yaitu 15, 30, dan 45 menit dengan konsentrasi sampel awal larutan  $\text{PbSO}_4$  dan  $\text{Cd}(\text{COOH})_2$  yang digunakan yaitu sebesar 10 ppm sebanyak 20 mL.

Berdasarkan Larasati (2015), efektivitas adsorpsi logam dapat dianalisa dengan menghitung efektivitas penurunan ( $E_t$ ) yaitu kandungan logam berat awal ( $Y_i$ ) dikurangi dengan kandungan logam berat akhir ( $Y_f$ ) per kandungan logam berat awal ( $Y_i$ ) dalam  $\text{mgL}^{-1}$  seperti pada persamaan dibawah ini:

$$E_f (\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100\% \quad (4)$$

Adapun hasil perhitungan efektivitas adsorpsi logam  $\text{Pb}^{2+}$  dan  $\text{Cd}^{2+}$  dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil perhitungan efektivitas adsorpsi logam Pb<sup>2+</sup> dan Cd<sup>2+</sup>

Massa Adsorben (gram)	Waktu (menit)	Yi (ppm)		Yf (ppm)		% Efektivitas (%)	
		Pb <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>
3		10	10	2,8494	0,0754	71,5059	99,2462
6	15	10	10	1,3114	0,0240	86,8863	99,7602
9		10	10	0,8876	0,0049	91,1242	99,9515
3		10	10	2,9627	0,0677	70,3725	99,3233
6	30	10	10	1,4980	TTD	85,0196	TTD
9		10	10	0,9942	0,4186	90,0575	95,8143
3		10	10	2,6227	0,0051	73,7725	99,9486
6	45	10	10	1,3414	TTD	86,5863	TTD
9		10	10	0,9631	TTD	90,3686	TTD

\*TTD = Tidak Terdefinisi

Berdasarkan perhitungan efektivitas adsorpsi pada Tabel 1. menunjukkan bahwa hubungan antara massa adsorben dan % efektivitas adsorpsi berbanding lurus, dimana semakin tinggi massa adsorben yang digunakan maka % efektivitas adsorpsi logam semakin tinggi. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Krisnawati (2013), dimana konsentrasi ion logam akan semakin menurun dengan bertambahnya jumlah adsorben yang digunakan. Jumlah adsorben yang semakin banyak akan memperluas penjerapan ion logam yang ada pada suatu larutan sehingga % efektivitas adsorpsi pun akan semakin meningkat.

Selain jumlah adsorben, nilai % efektivitas penjerapan juga bergantung pada waktu kontak, dimana semakin lama waktu pengontakan antara adsorben dan adsorbat, maka akan semakin banyak juga ion yang dapat diserap.

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui % efektivitas penjerapan logam Pb<sup>2+</sup> dengan perbedaan massa adsorben yang paling tinggi yaitu 91,1242% pada berat adsorben 9 gram dengan waktu pengontakan 15 menit. Berdasarkan hasil tersebut, seharusnya waktu kontak dengan % efektivitas tertinggi yaitu pada 45 menit. Hal tersebut terjadi karena pada waktu kontak 15 menit adsorben yang digunakan telah mencapai kondisi jenuh, dimana adsorben tidak bisa lagi menyerap ion.

Pada adsorpsi logam Cd<sup>2+</sup> berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa % efektivitas penjerapan logam Cd<sup>2+</sup> dengan perbedaan massa adsorben pada waktu pengontakan 15 menit semakin tinggi dengan bertambahnya massa adsorben yang digunakan, sedangkan pada waktu pengontakan 30 menit menunjukkan hasil TTD pada massa adsorben 6 gram begitu juga pada saat waktu pengontakan 45

menit menunjukkan hasil TTD pada massa adsorben 6 dan 9 gram. Nilai TTD pada hasil tersebut menunjukkan bahwa kandungan Cd<sup>2+</sup> yang ada pada sampel tidak dapat terdefinisi lagi, dimana tidak terdapat lagi kandungan Cd<sup>2+</sup> atau kandungan Cd<sup>2+</sup> relatif sangat kecil pada sampel yang diuji. Oleh karena itu, berdasarkan Tabel 1. dapat diketahui % efektivitas penjerapan logam Cd<sup>2+</sup> yang paling tinggi berdasarkan perbedaan massa adsorben yaitu 99,9515% pada berat adsorben 9 gram dengan waktu pengontakan 15 menit. Berdasarkan hasil tersebut, seharusnya waktu kontak dengan % efektivitas tertinggi yaitu pada 45 menit. Hal tersebut terjadi karena pada waktu kontak 15 menit adsorben yang digunakan telah mencapai kondisi jenuh, dimana adsorben tidak bisa lagi menyerap ion.

#### Penentuan Kinetika Adsorpsi Logam Pb<sup>2+</sup> dan Cd<sup>2+</sup>

Menurut Widihati (2012), kinetika adsorpsi merupakan salah satu faktor penting dalam proses adsorpsi karena menunjukkan tingkat kecepatan penyerapan adsorben terhadap adsorbatnya. Kemampuan penyerapan dapat dilihat dari laju adsorpsinya dalam hal ini pengujian terhadap laju adsorpsi yang dilakukan melalui penentuan orde reaksi secara eksperimen.

Kinetika adsorpsi logam Pb<sup>2+</sup> dan Cd<sup>2+</sup> dengan adsorben cangkang telur ayam ditentukan dengan menggunakan variabel bebas waktu pengontakan dan massa adsorben. Waktu pengontakan yang digunakan yaitu 15, 30, 45 menit dan massa adsorben yang digunakan yaitu 3, 6 dan 9 gram. Adapun data hasil perhitungan untuk penentuan kinetika adsorpsi logam Pb<sup>2+</sup> dan Cd<sup>2+</sup> dapat dilihat pada Tabel 2.

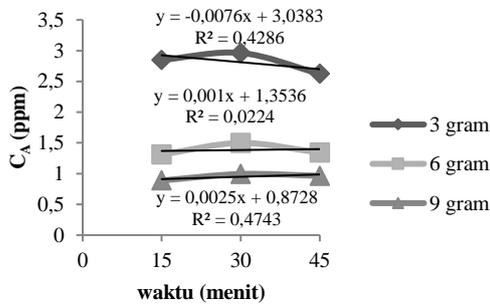
**Tabel 2.** Data penentuan kinetika adsorpsi logam Pb<sup>2+</sup> dan Cd<sup>2+</sup>

Massa (gram)	Waktu (menit)	C <sub>A</sub> (ppm)		C <sub>A0</sub> (ppm)		ln(C <sub>A0</sub> /C <sub>A</sub> )		1/C <sub>A</sub>	
		Pb <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>
3	15	2,8494	0,0753	10	10	1,2554	4,8878	0,3509	13,2668
	30	2,9627	0,0676	10	10	1,2164	4,9957	0,3375	14,7782
	45	2,6227	0,0051	10	10	1,3383	7,5734	0,3812	194,58
6	15	1,3113	0,0239	10	10	2,0315	6,0329	0,7625	41,6957
	30	1,4980	TTD	10	10	1,8984	TTD	0,6675	TTD
	45	1,3413	TTD	10	10	2,0088	TTD	0,7455	TTD
9	15	0,8875	0,0048	10	10	2,4218	7,6305	1,1266	206,0258
	30	0,9942	0,4185	10	10	2,3083	3,1735	1,0057	2,3891
	45	0,9631	TTD	10	10	2,3401	TTD	1,0382	TTD

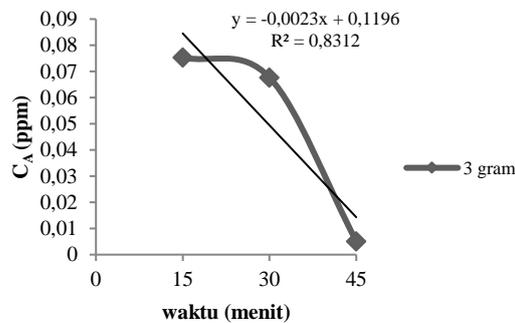
\*TDD=Tidak Terdefinisi

**Orde 0**

Penentuan kinetika adsorpsi pada orde 0 dilakukan dengan regresi linier menggunakan persamaan (1). Regresi linier orde 0 kinetika adsorpsi logam Pb<sup>2+</sup> dan Cd<sup>2+</sup> dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.



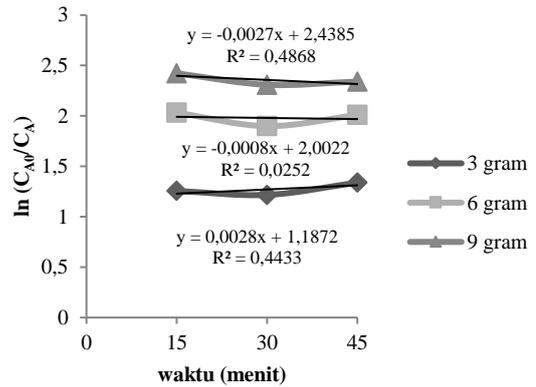
**Gambar 4.** Model kinetika adsorpsi orde 0 pada logam Pb<sup>2+</sup>



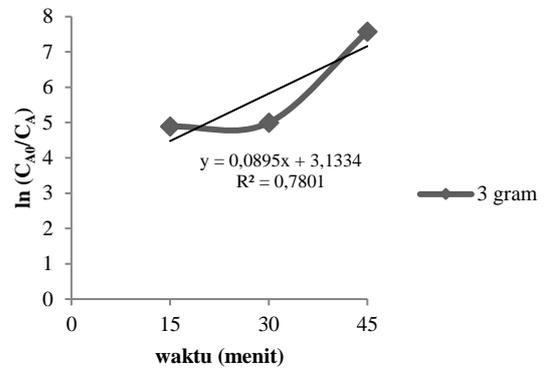
**Gambar 5.** Model kinetika adsorpsi orde 0 pada logam Cd<sup>2+</sup>

**Orde 1**

Penentuan kinetika adsorpsi pada orde 1 dilakukan dengan regresi linier menggunakan persamaan (2). Regresi linier orde 1 kinetika adsorpsi logam Pb<sup>2+</sup> dan Cd<sup>2+</sup> dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.



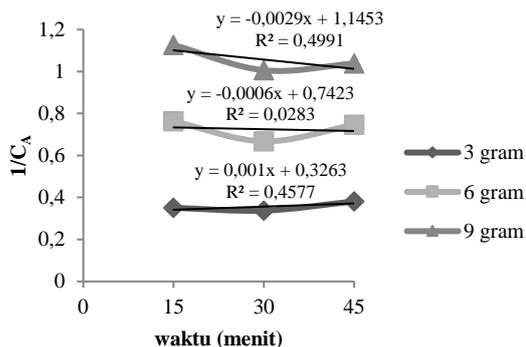
**Gambar 6.** Model kinetika adsorpsi orde 1 pada logam Pb<sup>2+</sup>



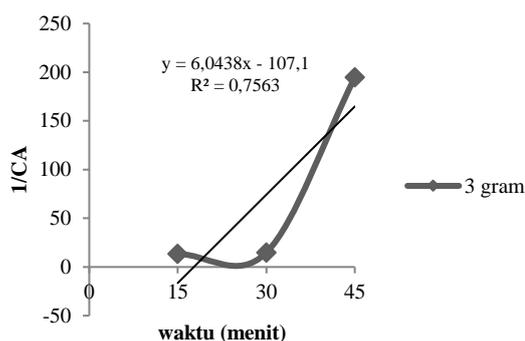
**Gambar 7.** Model kinetika adsorpsi orde 1 pada logam Cd<sup>2+</sup>

**Orde 2**

Penentuan kinetika adsorpsi pada orde 2 dilakukan dengan regresi linier menggunakan persamaan (3). Regresi linier orde 2 kinetika adsorpsi logam Pb<sup>2+</sup> dan Cd<sup>2+</sup> dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Model kinetika adsorpsi orde 2 pada logam Pb<sup>2+</sup>



Gambar 9. Model kinetika adsorpsi orde 2 pada logam Cd<sup>2+</sup>

Nilai R<sup>2</sup> (koefisien korelasi) dan k (konstanta laju adsorpsi) berdasarkan kinetika adsorpsi orde 0,1 dan 2 pada logam Pb<sup>2+</sup> dan Cd<sup>2+</sup> yang dihasilkan

dari persamaan regresi linier dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Nilai R<sup>2</sup> dan k kinetika adsorpsi logam Pb<sup>2+</sup>

Massa (gram)	Orde 0		Orde 1		Orde 2	
	R <sup>2</sup>	k (menit <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	k (menit <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	k (menit <sup>-1</sup> )
3	0,4286	-0,0076	0,4433	0,0028	0,4577	0,001
6	0,0224	0,001	0,0252	-0,0008	0,0283	-0,0006
9	0,4743	0,0025	0,4868	-0,0027	0,4991	-0,0029

Tabel 4. Nilai R<sup>2</sup> dan k kinetika adsorpsi logam Cd<sup>2+</sup>

Massa (gram)	Orde 0		Orde 1		Orde 2	
	R <sup>2</sup>	k (menit <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	k (menit <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	k (menit <sup>-1</sup> )
3	0,8312	-0,0023	0,7801	0,0895	0,7563	6,0438

Berdasarkan Tabel 3 dapat ditentukan bahwa kinetika adsorpsi yang tepat digunakan pada adsorpsi logam Pb<sup>2+</sup> dengan adsorben cangkang telur ayam pada 3 gram yaitu kinetika adsorpsi orde 2 dengan nilai R<sup>2</sup> = 0,4286 dan k = -0,0076, pada 6 gram yaitu kinetika adsorpsi orde 2 dengan nilai R<sup>2</sup> = 0,0283 dan k = -0,0006 menit<sup>-1</sup> dan pada 9 gram yaitu kinetika adsorpsi orde 2 dengan nilai R<sup>2</sup> = 0,4991 dan k = -0,0029 menit<sup>-1</sup>.

Pada Tabel 4, nilai R<sup>2</sup> dan k tidak dapat dianalisa pada massa adsorben 6 gram dan 9 gram. Hal tersebut terjadi karena berdasarkan hasil analisa kandungan Cd<sup>2+</sup> setelah diadsorpsi yaitu TTD (Tidak Terdefinisi) sehingga tidak dapat dilakukan perhitungan data untuk membuat kurva regresi linier kinetika adsorpsi untuk massa 6 gram dan 9 gram. Sehingga, berdasarkan Tabel 4 dapat ditentukan bahwa kinetika adsorpsi yang tepat digunakan pada adsorpsi logam Cd<sup>2+</sup> dengan adsorben cangkang telur ayam pada 3 gram yaitu kinetika adsorpsi orde 0 dengan nilai R<sup>2</sup> = 0,8312 dan k = -0,0023 menit<sup>-1</sup>.

Pemilihan orde masing-masing kinetika adsorpsi tersebut didasarkan pada nilai koefisien

korelasi tertinggi, dimana semakin tinggi nilai koefisien korelasi maka kelinieritasan kurva

berdasarkan persamaan regresi linier masing-masing orde akan lebih mudah tercapai.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan yaitu cangkang telur ayam ras dapat digunakan sebagai adsorben penjerap logam Pb<sup>2+</sup> dan Cd<sup>2+</sup>. Efektivitas adsorben cangkang telur ayam ras pada berat adsorben 9 gram dengan waktu pengontakan 15 menit untuk penjerapan Pb<sup>2+</sup> sebesar 91,1242%, sedangkan pada penjerapan Cd<sup>2+</sup> sebesar 99,9515%.

Kinetika adsorpsi penjerapan Pb<sup>2+</sup> pada 3, 6 dan 9 gram mengikuti model kinetika orde 2, sedangkan kinetika adsorpsi penjerapan Cd<sup>2+</sup> pada 3 gram mengikuti model kinetika orde 0.

**DAFTAR PUSTAKA**

ASIP, F., MARDHIAH, R., & HUSNA, 2008. *Uji Efektivitas Cangkang Telur dalam Mengadsorpsi Ion Fe dengan Proses Batch*. Jurnal Teknik Kimia, Volume 15 (2), pp. 22-26.

- HIDAYATI, B., SUNARNO & YENTI, S. R., 2013. *Studi Kinetika Logam  $Cu^{2+}$  dengan menggunakan Adsorben Zeolit Alam Teraktivasi*. Jurnal Laboratorium Dasar-dasar Proses dan Operasi Pabrik.
- JAMILA. 2014. *Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur*, Modul Mata Kuliah Teknologi Pengolahan Limbah dan Sisa Hasil Ternak, Program Studi Peternakan, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- KRISNAWATI, JASINDA & IRIANY, 2013. *Penjerapan Logam Kadmium ( $Cd^{2+}$ ) dengan Adsorben Cangkang Telur Bebek yang Telah Diaktivasi*. Jurnal Teknik Kimia USU, Volume 2 (3), pp. 29-32.
- LARASATI, A. I., SUSANAWATI, L. D & SUHARTO, B., 2015. *Efektivitas Adsorpsi Logam Berat pada Air Lindi menggunakan Media Karbon Aktif, Zeolit, dan Silika Gel di TPA Tlekung, Batu*. Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan, pp 44-48.
- MUSLICH, P. S., & R, INDRI, R., 2010. *Kinetika Adsorpsi Isotermal  $\beta$ -Karoten dari Olein Sawit Kasar dengan menggunakan Bentonit*. Departemen Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB, Bogor.
- PERATURAN MENTERI KESEHATAN RI NO. 492, 2010, *Persyaratan Kualitas Air Minum*.
- PRASIDHA, I. D. N. W., 2012. *Adsorpsi Logam Berat pada Limbah Industri Elektroplating menggunakan Kulit Telur*, Skripsi, Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jatim, Jawa Timur.
- SUHARTO, B., SUSANAWATI, L. D., & WILISTIEN, B. I. 2011. *Penurunan Kandungan Logam Pb dan Cr Leachate Melalui Fitoremediasi Bambu Air (*Equisetum Hymale*) dan Zeolit*. Agorintek, Volume 05 (02), pp. 133-143.
- WIDIHATI, I. A. G., SUASTUTI, N. G. A. M. D. A., & NIRMALASARI, M. A. Y. 2012. *Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Ion Logam Kromium (Cr) menggunakan Arang Batang Pisang (*Musa Paradisiaca*)*, Jurnal Kimia, Vol. 6, No. 1, pp. 8-16.