

# **ADSORPSI ION LOGAM $\text{Cd}^{2+}$ DENGAN MENGGUNAKAN CANGKANG TELUR AYAM RAS**

## **SKRIPSI**

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelas Sarjana Sains*



**Oleh:  
NOVA FITRIANI  
NIM/ TM. 17036132/ 2017**

**PROGRAM STUDI KIMIA  
JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2022**

## PERSETUJUAN SKRIPSI

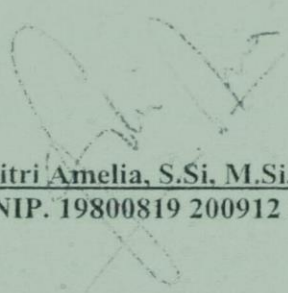
### ADSORPSI ION LOGAM $\text{Cd}^{2+}$ DENGAN MENGGUNAKAN CANGKANG TELUR AYAM RAS

Nama : Nova Fitriani  
NIM : 17036132  
Program Studi : Kimia  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Februari 2022

Mengetahui:  
Ketua Jurusan

Disetujui oleh:  
Dosen Pembimbing



Fitri Amelia, S.Si, M.Si, Ph.D  
NIP. 19800819 200912 2 002



Dr. Desy Kurniawati, S.Pd., M.Si  
NIP. 19751122 200312 2 003

## PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

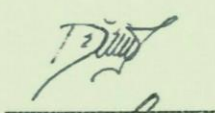
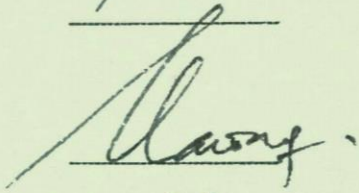
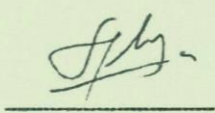
Nama : Nova Fitriani  
NIM : 17036132  
Program Studi : Kimia  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

### ADSORPSI ION LOGAM $\text{Cd}^{2+}$ DENGAN MENGGUNAKAN CANGKANG TELUR AYAM RAS

*Dinyatakan Lulus Setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi  
Program Studi Kimia Jurusan Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Padang*

Padang, Februari 2022

#### Tim Penguji

|         | Nama                               | Tanda tangan                                                                          |
|---------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Ketua   | : Dr. Desy Kurniawati, S.Pd., M.Si |  |
| Anggota | : Drs. Mawardi, M.Si               |  |
| Anggota | : Dra. Sri Benti Etika, M.Si       |  |

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Nova Fitriani  
NIM : 17036132  
Tempat/Tanggal lahir : Koto Hilalang/ 19 Januari 1999  
Program Studi : Kimia  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Judul Skripsi : Adsorpsi Ion Logam  $Cd^{2+}$  dengan menggunakan  
Cangkang Telur Ayam Ras

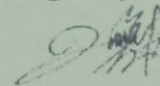
Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil karya saya dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis/skripsi ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada kepustakaan.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila telah ditandatangani **Asli** oleh tim pembimbing dan tim penguji.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi

Padang, Februari 2022

Yang menyatakan



Nova Fitriani  
NIM : 17036132

# **Adsorpsi Ion Logam $\text{Cd}^{2+}$ dengan menggunakan Cangkang Telur Ayam Ras**

**Nova Fitriani**

## **ABSTRAK**

Industri di Indonesia telah berkembang dengan pesat dengan bertambahnya waktu. Hal ini menyebabkan kurang baiknya kualitas udara dan kualitas lingkungan yang berada disekitar perindustrian. Salah satu yang menyebabkan menurunnya kualitas lingkungan terutama pada perairan oleh industri yaitu limbah yang dihasilkan. Limbah yang dihasilkan memiliki kandungan logam berat. Logam berat sangat berbahaya jika sampai dikonsumsi oleh makhluk hidup yang ada diperairan dan juga manusia yang menggunakan air yang mengandung logam berat tersebut. Salah satu logam berat yang bersifat karsinogenik adalah logam kadmium (Cd). Banyak metode yang dapat digunakan untuk mengurangi logam kadmium salah satunya adalah adsorpsi dengan menggunakan cangkang telur ayam ras yang dilakukan dengan sistem batch. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi optimum pada penyerapan ion logam kadmium terhadap parameter yang digunakan dan untuk mengetahui nilai kapasitas penyerapan pada adsorpsi ion logam kadmium dengan menggunakan cangkang telur.

Penelitian ini diawali dengan mempersiapkan adsorben yang akan digunakan yaitu cangkang telur ayam ras. Cangkang telur dibersihkan lalu di preparasi dan diaktivasi. Setelah adsorben selesai di preparasi maka dapat digunakan untuk menyerap ion logam kadmium dalam larutan. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa parameter, yaitu pH, konsentrasi larutan, kecepatan pengadukan, waktu kontak, dan massa adsorben. Volume larutan yang digunakan adalah 25 ml.

Hasil yang diperoleh pada penyerapan ion logam kadmium dengan menggunakan cangkang telur ayam ras adalah kondisi optimum pada variasi pH didapatkan pada pH 4, konsentrasi larutan pada konsentrasi 350 ppm, kecepatan pengadukan pada kecepatan 250 rpm, waktu kontak pada waktu 60 menit, dan massa adsorben pada 0,1 gram. Kapasitas penyerapan optimum yang diperoleh yaitu 6,775 mg/g sebesar 10,64%.

Kata kunci : Adsorpsi, Batch, Cangkang Telur, Logam Kadmium

# **Adsorption of Cd<sup>2+</sup> Metal Ions using Chicken Eggshells**

**Nova Fitriani**

## **ABSTRACT**

Industry in Indonesia has grown rapidly over time. This causes poor air quality and environmental quality around the industry. One of the causes of decline in environmental quality, especially in waters by industry, is the waste produced. The resulting waste contains heavy metals. Heavy metals are very dangerous if consumed by living things in the waters and also humans who use water containing these heavy metals. One of the carcinogenic heavy metals is cadmium (Cd). There are many methods that can be used to reduce metal cadmium, one of which is adsorption using broiler eggshells which are carried out in a batch system. This research was conducted to determine the optimum conditions for the adsorption of cadmium metal ions to the parameters used and to determine the value of the adsorption capacity of cadmium metal ion adsorption using eggshells.

This research begins with preparing the adsorbent to be used, namely broiler eggshells. The eggshells is cleaned and then prepared and activated. After the adsorbent has been prepared, it can be used to adsorb cadmium metal ions in the solution. This research was conducted with several parameters, namely pH, solution concentration, stirring speed, contact time, and adsorbent mass. The volume of the solution used was 25 ml.

The results obtained on the adsorption of cadmium metal ions using broiler eggshells were the optimum conditions at pH variations were obtained at pH 4, the concentration of the solution at a concentration of 350 ppm, string speed at 250 rpm, contact time at 60 minutes, and adsorbent mass at 0,1 grams. The optimum adsorption capacity obtained was 6,775 mg/g of 10,64 %.

**Keywords:** Adsorption, Batch, Eggshells, Cadmium Metal

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada seluruh hamba-Nya. Shalawat beserta salam senantiasa tercurah kepada tauladan umat islam yakni Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah dengan nikmat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Adsorpsi ion logam  $Cd^{2+}$  dengan menggunakan cangkang telur ayam ras”**.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini, tidak dapat terselesaikan tanpa dukungan dari berbagai pihak baik moril ataupun materil. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini terutama kepada:

1. Ibu Dr. Desy Kurniawati, S.Pd, M.Si selaku Dosen Pembimbing dan Penasehat Akademik.
2. Bapak Dr. Mawardi, M.Si dan Ibu Dra. Sri Benti Etika, M.Si selaku dosen pembahas
3. Ibu Fitri Amelia, M.Si, Ph.D selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
4. Bapak Budhi Oktavia S.Si, M.Si, Ph.D selaku Ketua Program Studi Kimia.
5. Serta semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan hasil penelitian ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis berpedoman kepada buku Panduan Skripsi Program S1 Non Kependidikan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang. Penulis menyadari bahwa skripsi

yang penulis buat ini masih jauh dari sempurna hal ini karena terbatasnya pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki penulis. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan adanya saran dan masukan bahkan kritik membangun dari berbagai pihak. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi para pembaca dan pihak-pihak khususnya dalam bidang sains.

Padang, Februari 2022

Nova Fitriani

## DAFTAR ISI

|                                                          |      |
|----------------------------------------------------------|------|
| ABSTRAK .....                                            | i    |
| ABSTRACT .....                                           | ii   |
| KATA PENGANTAR .....                                     | iii  |
| DAFTAR ISI .....                                         | v    |
| DAFTAR TABEL .....                                       | vi   |
| DAFTAR GAMBAR .....                                      | vii  |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                    | viii |
| BAB I PENDAHULUAN .....                                  | 1    |
| A. Latar Belakang .....                                  | 1    |
| B. Identifikasi Masalah .....                            | 3    |
| C. Batasan Masalah .....                                 | 4    |
| D. Rumusan Masalah .....                                 | 5    |
| E. Tujuan Penelitian .....                               | 5    |
| F. Manfaat Penelitian .....                              | 5    |
| BAB II KERANGKA TEORITIS .....                           | 6    |
| A. Cangkang Telur .....                                  | 6    |
| B. Logam Cd .....                                        | 8    |
| C. Adsorpsi .....                                        | 11   |
| D. Karakterisasi .....                                   | 15   |
| 1. Spektroskopi Fourier Transform-Infra Red (FTIR) ..... | 15   |
| 2. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) .....             | 17   |
| 3. X-Ray Fluorescence (XRF) .....                        | 19   |
| BAB III METODE PENELITIAN .....                          | 21   |
| A. Waktu dan Tempat .....                                | 21   |
| B. Variabel Penelitian .....                             | 21   |
| C. Alat dan bahan .....                                  | 21   |
| D. Prosedur Kerja .....                                  | 22   |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....                        | 26   |
| BAB V PENUTUP .....                                      | 38   |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                     | 39   |
| LAMPIRAN .....                                           | 44   |

## DAFTAR TABEL

| TABEL                                                          | Halaman |
|----------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Bilangan gelombang dan interpretasi spektrum infrared ..... | 16      |
| 2. Variabel pengukuran kadmium pada SSA .....                  | 18      |
| 3. Hasil Analisa cangkang telur menggunakan FTIR .....         | 26      |
| 4. Hasil analisa cangkang telur menggunakan XRF .....          | 28      |

## DAFTAR GAMBAR

| GAMBAR                                                                                                 | Halaman |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Cangkang telur .....                                                                                | 6       |
| 2. Skema kerja FTIR (Thermo, 2010).....                                                                | 16      |
| 3. Prinsip XRF.....                                                                                    | 20      |
| 4. Spektrum FTIR cangkang telur sebelum di aktivasi, setelah diaktivasi dan setelah pengontakkan ..... | 26      |
| 5. Grafik pengaruh pH terhadap penyerapan logam kadmium menggunakan cangkang telur .....               | 29      |
| 6. Grafik pengaruh konsentrasi terhadap penyerapan logam kadmium menggunakan cangkang telur.....       | 31      |
| 7. Kurva isoterm langmuir .....                                                                        | 32      |
| 8. Kurva isoterm freundlich .....                                                                      | 32      |
| 9. Grafik pengaruh kecepatan terhadap penyerapan logam kadmium menggunakan cangkang telur .....        | 33      |
| 10. Grafik pengaruh waktu kontak terhadap penyerapan logam kadmium menggunakan cangkang telur.....     | 35      |
| 11. Grafik pengaruh massa adsorben terhadap penyerapan logam kadmium menggunakan cangkang telur.....   | 36      |

## DAFTAR LAMPIRAN

| LAMPIRAN                                                                                           | Halaman |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Pembuatan larutan induk Cd 1000 ppm .....                                                       | 44      |
| 2. Preparasi sampel.....                                                                           | 44      |
| 3. Aktivasi sampel.....                                                                            | 45      |
| 4.Desain penelitian.....                                                                           | 45      |
| 5. Pengaruh pH larutan.....                                                                        | 46      |
| 6. Pengaruh konsentrasi larutan .....                                                              | 46      |
| 7. Pengaruh kecepatan pengadukan .....                                                             | 47      |
| 8. Pengaruh waktu kontak .....                                                                     | 47      |
| 9. Pengaruh berat adsorben .....                                                                   | 48      |
| 10. Perhitungan pembuatan reagen .....                                                             | 48      |
| 11. Kurva standar larutan kadmium .....                                                            | 51      |
| 12. Data hasil pengujian.....                                                                      | 51      |
| 13. Spektrum FTIR cangkang telur sebelum aktivasi, sesudah aktivasi dan setelah pengontakkan ..... | 57      |
| 14. Dokumentasi Kegiatan Penelitian.....                                                           | 59      |

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Pertumbuhan industri yang ada di Indonesia semakin berkembang dengan pesat. banyaknya industri ini dapat memberikan dampak negatif terhadap kehidupan dan lingkungan yang berada di dekat industri tersebut. Dampak negatif yang terjadi dapat berupa kurang baiknya sumber air yang ada di lingkungan sekitar, serta udara yang tercemar. Hal ini disebabkan oleh limbah yang dihasilkan dan tidak diolah dengan semestinya sehingga dapat mencemari lingkungan hidup manusia. Banyak kegiatan yang bisa menghasilkan limbah dan masuk ke perairan laut seperti rumah tangga, industri dan pertanian. Salah satu pencemaran yang memasuki perairan pesisir dan laut adalah limbah cair logam berat (Santosa, 2013). Beberapa peraturan yang mengatur tentang penanganan dan pencegahan logam berat industri, yaitu PP no.18 tahun 1999 *juncto* PP no.85 tahun 1999 tentang limbah B3, dan PP no. 74 tahun 2001 tentang bahan berbahaya dan beracun serta mengatur limbah yang dapat merusak lingkungan (Istarani & Pandebesie, 2014).

Logam berat (unsur dengan kerapatan lebih besar dari  $6 \text{ g/cm}^3$ ) adalah salah satu polutan yang persisten dalam air. Tidak seperti polutan yang lain, logam berat sulit untuk didegradasi, dapat menumpuk melalui rantai makanan, mengakibatkan potensi terhadap resiko kesehatan manusia dan kerusakan ekologi. Setidaknya 20 logam diklasifikasikan beracun dimana sebagian dari logam itu di

emisi ke lingkungan dengan konsentrasi yang dapat menimbulkan resiko besar bagi kesehatan manusia (Akpor & Muchie, 2010).

Berdasarkan fungsinya logam berat ada dua, yaitu logam esensial dan logam non-esensial. Logam esensial adalah logam yang diperlukan makhluk hidup dengan jumlah yang kecil. Jika berlebih dapat menimbulkan efek racun. Jenis logam esensial adalah: Zn, Cu, Mn, Se, Fe, Mo, dan Sn. Logam non-esensial adalah logam yang beracun yang tidak diketahui manfaat, contohnya Cd, Hg, Pb, Cr, Sn (Sosrosumihardjo, 2010). Salah satu logam non-esensial yang berbahaya karena beracun yaitu logam Cd. Logam dapat ditemukan dengan mudah di alam karena penyebaran yang luas. Kandungan kadmium yang banyak dapat meningkatkan konsentrasi logam kadmium pada perairan (Lestari et al., 2017).

Metode-metode yang digunakan untuk mengurangi logam berat pada limbah cair industri sebelum dibuang ke lingkungan, seperti presipitasi kimia, adsorpsi menggunakan karbon aktif, teknologi membran, biosorpsi, filtrasi, penukar ion dengan menggunakan resin, pengendapan dan penyerapan bahan pencemar oleh adsorben berupa karbon aktif maupun resin sintetik (Abdullah et al., 2019), (Afrianita & Dewilda, 2013). Adsorpsi logam berat dari larutan dapat dianggap sebagai teknologi alternatif pada pengolahan limbah cair industri (Antunes et al., 2003). Adsorpsi dianggap sebagai salah satu mekanisme yang cepat untuk mengurangi logam berat. Oleh karena itu, adsorpsi memiliki peran yang penting dan signifikan pada penyerapan logam dari limbah cair (Opeolu et al., 2010).

Cangkang telur memiliki pori-pori yang banyak, sehingga dapat digunakan pada adsorpsi. Oleh sebab itu, cangkang telur yang dianggap limbah bisa digunakan untuk adsorben dan juga dapat meningkatkan efisiensi serta produktivitas penggunaan cangkang telur dengan prinsip pungut ulang (recovery) dan pakai ulang (reuse) (Prasidha, 2012). Pada penelitian ini cangkang telur akan dilakukan aktivasi yang bertujuan untuk meningkatkan daya adsorpsi. Aktivasi dibagi menjadi dua yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Aktivasi fisika merupakan aktivasi yang dilakukan dengan bantuan panas, uap, dan CO<sub>2</sub>. Aktivasi kimia adalah aktivasi yang dilakukan dengan menggunakan bahan-bahan kimia (Silalahi, 2018).

Penelitian mengenai penggunaan cangkang telur sebagai adsorben salah satunya pada penelitian (Harripersadth et al., 2020) yang mendapatkan kapasitas penyerapan pada ion logam Pb dan Cd secara berturut-turut yaitu 277,78 mg/g dan 13.62 mg/g

Hal itu mendasari penulis untuk melakukan penelitian tentang penyerapan ion logam Cd menggunakan cangkang telur yang diaktivasi dengan metoda batch yang diharapkan dapat memberikan solusi untuk mengurangi kadar logam berat dalam limbah cair.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang, didapatkan identifikasi masalah sebagai berikut:

1. Logam kadmium merupakan salah satu logam yang bersifat karsinogenik dan dapat menimbulkan pencemaran melalui limbah industri yang dihasilkan.
2. Limbah cangkang telur yang belum banyak diketahui pemanfaatannya oleh masyarakat.
3. Salah satu cara dalam penyerapan ion logam kadmium adalah dengan metode adsorpsi.

### **C. Batasan Masalah**

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah, maka masalah dibatasi dengan :

1. Metode yang digunakan dalam penyerapan ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  adalah adsorpsi.
2. Variasi pH yang digunakan pada proses adsorpsi adalah 2, 3, 4, 5, 6.
3. Konsentrasi larutan Cd adalah 200 mg/L; 250 mg/L, 300 mg/L, 350 mg/L, 400 mg/L.
4. Variasi kecepatan pengadukan yang digunakan adalah 100 rpm; 150 rpm; 200 rpm; 250 rpm; 300 rpm.
5. Waktu kontak yang dilakukan adalah 30 menit; 60 menit; 90 menit; 120 menit
6. Berat adsorben yang digunakan adalah 0,1 gram; 0,3 gram; 0,5 gram; 0,7 gram; 0,9 gram.
7. Volume larutan Cd yang digunakan yaitu 25 ml

#### **D. Rumusan Masalah**

1. Bagaimana kondisi optimum penyerapan ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  terhadap pengaruh variasi pH, konsentrasi larutan, kecepatan pengadukan, waktu kontak, serta berat adsorben terhadap daya serap cangkang telur?
2. Berapa nilai kapasitas serapan cangkang telur terhadap ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  ?

#### **E. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan dari rumusan masalah, didapatkan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui kondisi optimum pada penyerapan ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  terhadap parameter yang digunakan.
2. Untuk mengetahui nilai kapasitas pada serapan dari cangkang telur terhadap ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  dengan sistem batch.

#### **F. Manfaat Penelitian**

Berdasarkan tujuan penelitian, maka didapatkan manfaat penelitian yaitu:

1. Dapat memberikan informasi kondisi optimum penyerapan ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  dengan variasi pH, waktu kontak, kecepatan pengadukan, konsentrasi larutan, dan berat adsorben dengan menggunakan cangkang telur.
2. Dapat memanfaatkan limbah cangkang telur.
3. Dapat mengatasi masalah pencemaran limbah ion logam  $\text{Cd}^{2+}$ .

## **BAB II**

### **KERANGKA TEORITIS**

#### **A. Cangkang Telur**



Gambar 1. Cangkang telur

Cangkang telur merupakan bagian luar dari telur yang berguna sebagai pelindung untuk komponen-komponen di dalam telur dari kerusakan secara mikrobiologis, fisik maupun kimia (Jamila, 2014). Cangkang telur adalah salah satu jenis sampah yang berasal dari sampah rumah tangga yang jumlahnya banyak (Satriani et al., 2017).

Selama ini, cangkang telur hanya dianggap sebagai sampah dan belum diolah dengan baik. Sebagian masyarakat banyak menggunakan cangkang telur sebagai pupuk organik, dan beberapa kerajinan tangan, serta hiasan rumah. Struktur cangkang telur yang berpori, pori-pori cangkang telur bersifat adsorptif (Arunlertaree et al., 2007).

Cangkang telur disarankan digunakan sebagai adsorben karena murah, mudah ditemukan, dan memiliki potensial yang tinggi untuk pertukaran ion pada polutan yang bermuatan (Zhang et al., 2012). Penyerapan dengan menggunakan cangkang telur umumnya terjadi dengan reaksi penukaran ion (Choi & Lee,

2015). Sifat cangkang telur yang keropos membuat cangkang telur sebagai bahan yang baik untuk digunakan sebagai adsorben. Cangkang telur biasanya terdiri dari material keramik yang tersusun dalam tiga lapis yaitu kutikula pada permukaan luar. Lapisan spons (berkapur) dan lapisan lamelar bagian dalam (atau mammillary) (Tsai et al., 2006). Lapisan spons dan *mammillary* membentuk matriks dari serat-serat yang ada pada protein dan berikatan dengan kalsium karbonat, mewakili lebih dari 90% material. Lapisan- lapisan inilah yang membentuk pori pada cangkang telur (Carvalho et al., 2011).

Sekitar 85-95% cangkang telur kering mengandung kalsium karbonat; 1,4% magnesium karbonat; 0,76% fosfat; 4% bahan organik (Schaafsma et al., 2000). Cangkang telur juga mengandung sisa-sisa Natrium, Kalium, Seng, Mangan, Besi, dan Tembaga (Daengprok et al., 2002). Kualitas cangkang telur yang paling baik memiliki sekitar 2,2 gram kalsium dalam bentuk kalsium karbonat. Cangkang telur rata-rata mengandung 0,3% fosfor dan 0,3% magnesium dan sisanya natrium, kalium, seng, mangan, besi dan tembaga. Kalsium pada cangkang telur dihilangkan, bahan organik akan menggantikan kalsium (atau kation logam lain) sebagai pengikat (Butcher & Miles, 2018).

Kalsium karbonat memiliki interaksi yang kuat dengan beberapa ion logam divalent ( $M^{2+}$ ), pengurangan ion logam dapat menggunakan proses adsorpsi dalam larutan. Proses adsorpsi umumnya dilakukan dengan cara melarutkan pada permukaan kalsium karbonat (Godelitsas et al., 2003). Menurut (Asip et al., 2008) cangkang telur memiliki pori-pori 10.000 hingga 20.000 sehingga diperkirakan dapat menyerap suatu solute dan dijadikan adsorben. Kalsium karbonat yang terdapat dalam cangkang telur termasuk adsorben polar.

Penyerapan menggunakan cangkang telur terjadi terutama dengan reaksi pertukaran. Cangkang telur alami memiliki pori-pori yang lebih sedikit dibandingkan cangkang telur yang dikalsinasi (Choi & Lee, 2015).

(PARK et al., 2007) mempelajari adsorpsi terhadap kromium, kadmium dan timbal dari fasilitas pengolahan elektroplating air limbah. Mereka mengidentifikasi cangkang telur yang dikalsinasi sebagai adsorben yang baik untuk pengolahan air limbah asam dengan penyerapan logam berat yang cukup banyak, sebagai kapasitas netralisasi cangkang telur. Dalam makalah ini menilai kapasitas adsorpsi bubuk cangkang telur untuk menghilangkan senyawa organik dan anorganik baik dari simulasi air limbah dan berbagai jenis limbah cair yang sebenarnya, membandingkan kapasitas adsorpsi dari cangkang telur dengan berbagai kondisi.

## **B. Logam Cd**

Logam Cd dapat berasal dari beberapa sumber yaitu pertambangan industri, serta sumber yang alami. Gunung merapi adalah satu sumber yang menghasilkan logam Cd terbesar secara alami. Kadmium adalah logam beracun yang dapat menyebabkan keracunan kronik pada manusia. Tingkat maksimum kandungan Cd dalam air minum adalah 0,003 mg/ L (Permenkes RI Nomor 492 tahun 2010 tentang persyaratan kualitas air minum) (Wati et al., 2016). Logam kadmium merupakan salah satu logam berat yang memiliki konsentrasi yang cukup tinggi yang mencemari tanah dan juga perairan (Darmono, 1995). Ion Cd merupakan penyumbang utama resiko kesehatan manusia karena mudah diserap oleh tanaman di lingkungan tanah yang asam (Zhao et al., 2012). Cd dianggap

karsinogenik potensial dan berhubungan dengan beberapa penyakit, terutama kardiovaskular, ginjal, darah, saraf dan tulang (Järup, 2003).

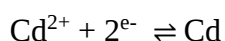
Kadmium merupakan logam berwarna putih perak, lunak, mengkilap, mudah bereaksi, tidak larut dalam basa, dan jika dipanaskan akan menghasilkan kalium Oksida. Logam kadmium cepat larut dalam asam nitrat dan lambat larut dalam asam klorida dan asam sulfat (Cotton & Wilkinson, 1989). Berdasarkan sifat kimianya kadmium membentuk ion  $\text{Cd}^{2+}$  yang bersifat tidak stabil. Nomor atom Cd 48, berat atom 112,4 u, titik leleh  $321^0 \text{ C}$ , titik didih  $767^0 \text{ C}$  dan massa jenis  $8,65 \text{ g/cm}^3$  (Widowati, 2008).

Logam kadmium memiliki warna seperti aluminium, tahan terhadap panas serta tahan korosi. Logam kadmium dimanfaatkan untuk elektrolisis bahan pigmen industri cat, enamel dan plastik. Pada pertambangan timah hitam dan seng, biasanya Cd selalu dalam bentuk campuran dengan logam lain. Cd didapat dalam jumlah kecil bersama-sama Zn, Cu, Pb, Cd. Pada pemurnian Zn, industri alloy, pestisida, dan lain-lain terdapat kadmium (Said, 2008).

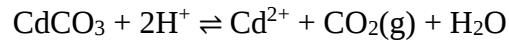
Pada kerak bumi, kelimpahan kadmium adalah  $0,13 \text{ } \mu\text{g/g}$ . Kadmium membentuk ikatan kompleks dengan ligan baik organik maupun anorganik, yaitu  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})^+$ ,  $\text{CdCl}^+$ ,  $\text{CdSO}_4$ ,  $\text{CdCO}_3$ , dan Cd organik (Sanusi, 2006).

Berikut contoh reaksi Cd (Lahuddin, 2007):

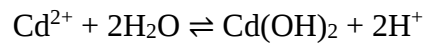
a) Reaksi redoks



b) Mineral octavite



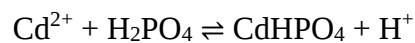
c) Hidrolisis



d) Kompleks halida



e) Ikatan dengan ion lain

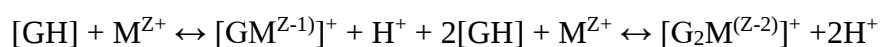


Logam Cd adalah salah satu logam berat, yang merupakan hasil akhir dari industri pengolahan biji logam dan digunakan pada industri pelapisan logam (Istarani & Pandebesie, 2014). Dampak kadmium pada kesehatan manusia bersifat kronis serta akut. Keracunan yang terjadi akibat logam Cd biasanya melalui saluran pernapasan, seperti menghirup asap dan debu kadmium terutama kadmium oksida (CdO). Gejala yang ditimbulkan akibat kadmium adalah gangguan saluran pernapasan, mual dan muntah, kepala pusing dan sakit pinggang. Keracunan akut dapat juga menyebabkan penyakit paru-paru akut hingga kematian. Efek kronis terjadi pada jangka waktu yang sangat panjang. Hal ini dikarenakan kadmium yang masuk ke dalam tubuh dalam jumlah yang kecil sehingga dapat ditolerir oleh tubuh. Efek akibat kadmium akan terjadi bila jumlah kadmium tidak dapat ditolerir lagi oleh tubuh karena penumpukan kadmium dalam tubuh (Darmono, 1995). Kadmium mempunyai efek buruk terhadap lingkungan dan manusia, karena dapat mengakibatkan kanker payudara, gangguan pernafasan, gagal ginjal hingga kematian (Istarani & Pandebesie, 2014).

### C. Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses penyerapan terhadap suatu zat yang terjadi pada permukaan padatan karena adanya gaya tarik atom atau molekul (Atkins, 1999). Adsorpsi merupakan suatu proses pemisahan dimana komponen dari satu fasa fluida cair atau gas berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap (adsorben). Biasanya partikel-partikel kecil zat penyerap dilepaskan pada adsorpsi kimia yang merupakan ikatan kuat antara penyerap dan zat yang diserap (Kosim & Arita, 2015)

Penyerapan logam berat dapat dilakukan karena menggunakan adsorben yang memiliki gugus fungsi yang bermacam-macam seperti hidroksi, karboksil, karbonil dan amina. Gugus-gugus fungsi ini dapat membentuk senyawa kompleks dengan ion-ion logam (Priya et al., 2008). Menurut Terada et al., (1983) dalam (Amri et al., 2004), ikatan kimia yang terjadi antara gugus fungsi pada zat organik dengan molekul dapat dijelaskan sebagai interaksi asam-basa lewis yang menghasilkan kompleks pada permukaan padatan. Pada sistem adsorpsi larutan ion logam, interaksi tersebut dalam bentuk umum ditulis:



Dengan GH adalah gugus fungsional yang terdapat pada adsorben, dan M adalah ion logam bervalensi Z.

Proses penyerapan dapat terjadi pada adsorben yang pada umumnya berupa zat padat. Penyerapan oleh zat padat dibedakan menjadi dua yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika terjadi interaksi van der Waals pada jarak yang jauh. Adsorpsi fisika molekul-molekul akan berikatan pada permukaan

dan ikatan yang lemah. Adsorpsi fisika terjadi pada suhu yang rendah apabila temperatur semakin meningkat maka penyerapan akan turun secara drastis (Wang et al., 2016). Pada adsorpsi kimia jumlah elektron yang lepas pada biosorben akan sama jumlahnya dengan elektron yang berikatan dengan biosorben yang teradsorpsi. Adsorpsi kimia biasanya terjadi pada katalis heterogen (Kurniasari, 2010).

Adsorpsi adalah salah satu metode yang banyak digunakan karena sederhana dan bisa diregenerasi juga ekonomis. Adsorpsi terbukti sebagai salah satu cara yang efektif dalam pengolahan limbah cair. Proses adsorpsi dimaksudkan proses suatu partikel larutan melekat pada permukaan adsorben (Afrianita & Dewilda, 2013). Proses adsorpsi menggunakan karbon aktif diminati oleh banyak ilmuwan karena keefektifan untuk menghilangkan ion logam berat dengan jumlah kecil. Oleh karena itu, penggunaan material yang murah sebagai sorben untuk menghilangkan logam dari limbah cair telah disorot (Benjamin et al., 1996), (Marshall & Champagne, 1995), (Martín et al., 2005).

Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi adalah (Wulandari, 2016):

#### 1. Derajat keasaman (pH)

pH dapat mempengaruhi kelarutan pada logam, kemampuan berikatannya ion logam pada adsorben dan muatan pada biomassa. Pada pH rendah akan terdapat ion hidrogen ( $H^+$ ) yang tinggi sehingga mengakibatkan adanya persaingan antara ion  $H^+$  dengan ion logam. Semakin meningkatnya pH mengakibatkan sisi aktif pada biosorben akan semakin bermuatan negatif sehingga memudahkan untuk proses biosorpsi, namun semakin tinggi pH akan

mengakibatkan proses hidrolisis yang mengakibatkan pengompleksan hidroksi logam yang akhirnya akan membentuk endapan hidroksida logam.

## 2. Temperatur

Temperatur mempengaruhi proses adsorpsi karena dapat mempengaruhi kecepatan dan jumlah adsorbat yang terserap. Kecepatan adsorpsi meningkat dengan meningkatnya temperatur, begitu juga sebaliknya.

## 3. Waktu kontak

Waktu kontak dapat mempengaruhi penyerapan adsorbat. Pada waktu tertentu, adsorbat akan jenuh dikarenakan permukaannya sudah banyak terikat.

## 4. Luas permukaan

Semakin luas permukaan maka semakin banyak adsorbat yang diserap.

## 5. Kelarutan adsorbat

Tingginya kelarutan adsorbat akan sulit untuk terikat pada adsorben, begitu juga sebaliknya.

## 6. Ukuran molekul

Ukuran molekul mempengaruhi proses adsorpsi, karena akan mempengaruhi proses masuknya adsorbat ke dalam pori-pori adsorben.

Isoterm adsorpsi merupakan dasar yang penting untuk mengetahui bagaimana molekul adsorbat berinteraksi dengan permukaan adsorben. Isoterm biosorpsi adalah suatu keadaan kesetimbangan dimana konsentrasi adsorbat tidak mengalami perubahan (Vimonsees et al., 2009), (Foo & Hameed, 2010).

## 1. Isoterm langmuir

Langmuir menggambarkan bahwa pada permukaan biosorben terdapat beberapa pusat aktif (*active site*) yang sebanding dengan luas biosorben. Pada setiap pusat aktif hanya satu molekul yang diserap. Penyerapan secara kimia terjadi apabila terbentuk ikatan kimia antara molekul terserap dengan pusat aktif penyerap, membentuk lapisan tunggal pada permukaan penyerap (*monolayer adsorption*). Ikatan antara zat yang diserap dengan penyerap dapat terjadi secara fisika atau kimia. Ikatan tersebut harus cukup kuat untuk mencegah terjadinya perpindahan molekul yang terserap sepanjang permukaan penyerap. Persamaannya sebagai berikut:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{KI \cdot q_m}$$

Keterangan:

$C_e$  = konsentrasi kesetimbangan logam dalam larutan (mg/L)

$q_e$  = jumlah logam yang terserap saat kesetimbangan (mg/g)

$q_m$  = kapasitas serapan maksimum teoritis (mg/g adsorben)

$KI$  = konstanta langmuir (L/mg)

## 2. Isoterm freundlich

Adsorpsi isoterm freundlich merupakan persamaan yang menunjukkan hubungan antar jumlah zat yang terserap dengan konsentrasi zat dalam larutan (Mawardi, 2002). Persamaannya:

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} C_e$$

Keterangan:

$q_e$  = jumlah logam yang terserap saat kesetimbangan (mg/g)

$C_e$  = konsentrasi kesetimbangan logam dalam larutan (mg/L)

$K_f$  = parameter kesetimbangan (mg/g)

$n$  = parameter empiris

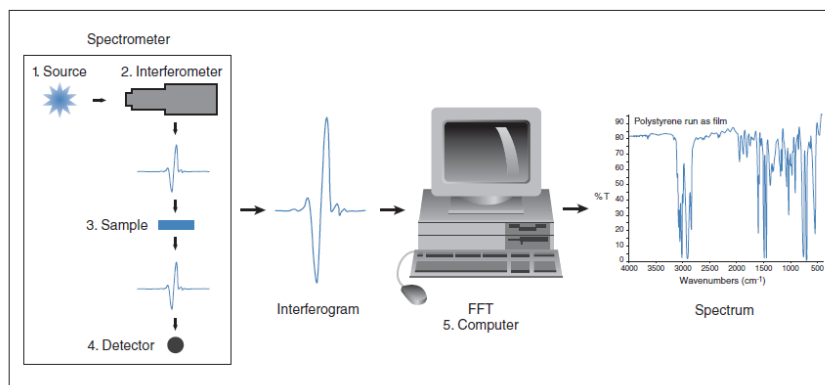
isoterm adsorpsi freundlich mengadopsi adsorpsi multilayer pada permukaan heterogen. Persamaan di atas dapat menjelaskan penyerapan atau koefisien distribusi dan memberikan jumlah banyaknya adsorbat untuk mencapai kesetimbangan konsentrasi (Yasim et al., 2016).

#### **D. Karakterisasi**

##### **1. Spektroskopi Fourier Transform-Infra Red (FTIR)**

FTIR adalah instrumen yang menentukan kandungan suatu sampel atau unsur berdasarkan pada adsorpsi inframerah (Chaber et al., 2017). FTIR mendeteksi struktur molekul senyawa melalui identifikasi gugus fungsi yang menyusun senyawa tersebut. Sampel yang digunakan dapat berupa padat, cair maupun gas. Metode yang digunakan adalah metode spektroskopi adsorpsi berdasarkan perbedaan penyerapan radiasi infra merah oleh molekul suatu materi. FTIR banyak digunakan untuk mengetahui spektrum vibrasi molekul yang dapat digunakan untuk memprediksi struktur senyawa kimia (Sulistiyani, 2017). Pada umumnya FTIR digunakan untuk menganalisis gugus fungsi suatu sampel. Pada

spektroskopi inframerah sebagian radiasi inframerah diserap oleh sampel dan sebagian lagi dilewatkan (ditransmisikan).



Gambar 2. Skema kerja FTIR (Thermo, 2010)

Jika suatu sampel yang dilewati oleh radiasi inframerah maka molekulnya akan menyerap energi dan terjadi transisi antara tingkat vibrasi dasar dengan tingkat vibrasi tereksitasi. Spektrum yang terbentuk akan memberikan informasi tentang gugus fungsi suatu molekul (Puspitasari, 2012).

Tabel 1. Bilangan gelombang dan interpretasi spektrum infrared

| No | Gugus Fungsi                    | Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> ) |
|----|---------------------------------|----------------------------------------|
| 1  | C – C (aril)                    | 1450-1600                              |
| 2  | C = C                           | 1600-1700                              |
| 3  | C ≡ C                           | 2100-2250                              |
| 4  | C – H (alkena atau gugus alkil) | 2800-3000                              |
| 5  | C- H ( = CH -)                  | 3000-3300                              |
| 6  | C-H ( ≡ CH)                     | ~ 3300                                 |
| 7  | OH atau NH                      | 3000-3700                              |
| 8  | C – O atau C – N                | 900-1300                               |
| 9  | C- X                            | 500-1430                               |
| 10 | C – O (eter)                    | 1050-1260                              |
| 11 | C – O (ester)                   | 1110-1300                              |
| 12 | C = O                           | 1640-1820                              |
| 13 | Aldehyd                         | 1720-1740                              |
| 14 | Keton                           | 1705-1750                              |
| 15 | Asam karboksilat                | 1700-1725                              |
| 16 | Ester                           | 1735-1750                              |

(Fessenden & Fessenden, 1992)

## 2. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) merupakan salah satu instrumen yang digunakan untuk menentukan konsentrasi penyerapan logam berat terhadap adsorben. Umumnya SSA didasarkan pada penyerapan sinar energi oleh atom-atom netral dalam bentuk gas. Sinar yang digunakan dalam pengujian menggunakan SSA adalah sinar tampak/ UV. Prinsip SSA hampir sama dengan prinsip dari spektrofotometer UV-VIS, akan tetapi yang membedakannya dari segi pengerjaan, cuplikan, peralatan dan bentuk dari spectrum atom yang digunakan. SSA juga digunakan untuk mengukur secara kuantitatif. SSA berfungsi untuk mengukur kadar logam berat dalam suatu cuplikan bukan untuk mengukur bentuk dari cuplikan tersebut (Underwood & Day, 2001).

Spektrofotometer serapan atom adalah suatu metode analisis yang digunakan untuk penentuan unsur-unsur logam dan pengukuran didasarkan pada penyerapan cahaya oleh atom logam dalam keadaan bebas dengan panjang gelombang tertentu (Skoog & Holler FJ, 2007). Sensitivitas yang tinggi pada instrumen ini dijadikan pilihan utama untuk menganalisis unsur logam yang memiliki konsentrasi sangat kecil yaitu ppm bahkan ppb (Skoog & dkk, 2004). Prinsip dari SSA yaitu atomisasi, dimana sampel diatomisasi dan diubah menjadi atom bebas dalam keadaan dasar (Levinson, 2001).

Prinsip dasar dari SSA adalah interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan atom. SSA merupakan metode yang tepat digunakan untuk analisis zat pada konsentrasi rendah (Khopkar, 1990). SSA mempunyai prinsip penguapan misalnya ketika suatu larutan disemprotkan kedalam sebuah lampu listrik yang

akan menghasilkan suatu unsur yang akan ditetapkan. Atom-atom gas yang terdapat dalam SSA akan berada dalam keadaan tereksitasi atau dalam keadaan dasar, yaitu mampu menyerap energi yang khas untuknya, yaitu panjang gelombang radiasi yang dihasilkan dari tereksitasi suatu atom dari keadaan dasarnya. Oleh karena itu, cahaya yang mengandung panjang gelombang resonansi akan dilewatkan pada nyala yang mengandung atom-atom yang akan diukur sehingga cahaya akan diserap, banyaknya penyerapan akan berbanding lurus dengan banyaknya atom-atom yang terdapat dari suatu nyala (Basset & Mendham, 1994)

Tabel 2. variabel pengukuran kadmium pada SSA

| Panjang gelombang absorpsi (nm) | Bahan bakar     | Sensitivitas absorpsi 1% (ppm) | Rentangan pengukuran (ppm) |
|---------------------------------|-----------------|--------------------------------|----------------------------|
| 228,80                          | Asetilena-udara | 0,03                           | 0,2-2,0                    |
| 326,1                           | Astilenap-udara | 1,0                            | -                          |

(Robinson, 1990)

Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi diturunkan dari hukum lambert-beer yaitu :

$$A = \epsilon \cdot b \cdot c$$

Keterangan :

A= absorbansi

b = panjang medium

c = konsentrasi atom yang menyerap sinar

$\epsilon$  = absortivitas molar

Pada penentuan kapasitas penyerapan sampel pada adsorben yang telah diadsorpsi dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q = \frac{(C_o - C_f)}{w} V$$

Keterangan:

Q = jumlah ion logam yang terserap (mg adsorbat/g adsorban )

C<sub>o</sub> = konsentrasi awal ion logam dalam larutan (mg/L)

C<sub>f</sub> = konsentrasi akhir ion logam yang telah setimbang (mg/L)

V = volume larutan ion logam (L)

W = jumlah biosorben yang ditambahkan (gram)

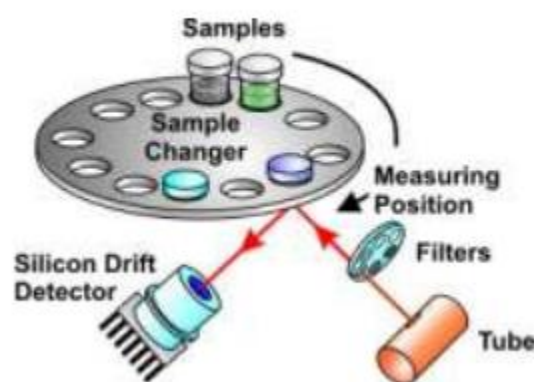
### 3. X-Ray Fluorescence (XRF)

XRF merupakan metoda analisis untuk menentukan komposisi kimia dari semua jenis material. Material dapat berupa padat, cair, bubuk, atau dalam bentuk lain yang diinginkan.

Metoda XRF sangat cepat, akurat dan tidak destruktif serta hanya memerlukan sampel yang sangat sedikit. Pemakaian instrumen ini sangat luas meliputi logam, semen, minyak bumi, polimer, plastik, dan industri makanan, pertambangan, mineralogi, geologi dan analisis air dan material sampah pada ilmu lingkungan. XRF juga terpakai dalam riset analitik dan farmasi (Beri & Sanjaya, 2012).

Analisis XRF berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efekfotolistrik. Efekfotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena berkas berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-

X). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X.



Gambar 3. Prinsip XRF

Sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (*discreet*) yang berasal bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum *discreet* yang terjadi bergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spektrum ini dikenal dengan spektrum sinar-X karakteristik. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan. Analisa unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan. Sinar-X yang dihasilkan dari peristiwa seperti peristiwa tersebut ditangkap oleh detektor semi konduktor Silikon Litium (SiLi) (Zainuri et al., 2012).

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Pada adsorpsi ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  dengan menggunakan cangkang telur didapatkan kondisi optimum pada pH 4, konsentrasi 350 ppm, kecepatan pengadukan 250 rpm, waktu kontak 60 menit, dan massa adsorben 0,1 gram.
2. Nilai penyerapan optimum ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  pada pH 4, konsentrasi 350 ppm, kecepatan pengadukan 250 rpm, waktu kontak 60 menit, dan massa adsorben 0,1 gram adalah 6,775 mg/g sebesar 10,64%.

#### **B. Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Melakukan penelitian untuk pengaruh aktivator terhadap kinerja cangkang telur .
2. Melakukan penelitian adsorpsi cangkang telur untuk jenis adsorbat lainnya.
3. Melakukan penelitian untuk pengaruh ukuran cangkang telur terhadap penyerapan adsorbat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, N., Yusof, N., Lau, W. J., Jaafar, J., & Ismail, A. F. (2019). Recent trends of heavy metal removal from water/wastewater by membrane technologies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 76, 17–38. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.03.029>
- Afrianita, R., & Dewilda, Y. (2013). STUDI PENENTUAN KONDISI OPTIMUM FLY ASH SEBAGAI ADSORBEN DALAM MENYISIHKAN LOGAM BERAT KROMIUM (Cr). *Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas*, 10(2), 104. <https://doi.org/10.25077/dampak.10.2.104-110.2013>
- Akpor, O. B., & Muchie, M. (2010). Remediation of heavy metals in drinking water and wastewater treatment systems: Processes and applications. *International Journal of Physical Sciences*, 5(12), 1807–1817.
- Al-Ghouti, M. A., & Salih, N. R. (2018). Application of eggshell wastes for boron remediation from water. *Journal of Molecular Liquids*, 256(2017), 599–610. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.02.074>
- Amri, A., Supranto, & Fahrurrozi, M. (2004). Kesetimbangan Adsorpsi Optional Campuran Biner Cd ( II ) dan Cr ( III ) dengan Zeolit Alam Terimpregnasi 2-merkaptobenzotiazol. *Jurnal Natur Indonesia*, 6(2), 111–117.
- Antunes, W. M., Luna, A. S., Henriques, C. A., & Da Costa, A. C. A. (2003). An evaluation of copper biosorption by a brown seaweed under optimized conditions. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6(3), 11–21. <https://doi.org/10.2225/vol6-issue3-fulltext-5>
- Arunlertaree, C., Kaewsomboon, W., Kumsopa, A., Pokethitiyook, P., & Panyawathanakit, P. (2007). Removal of lead from battery manufacturing wastewater by egg shell. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 29(3), 857–868.
- Asip, F., Mardhiah, R., & Husna. (2008). Uji Efektifitas Cangkang TELUR DALAM MENGADSORBSI ION Fe DENGAN PROSES BATCH. *Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya*, 15(2), 22–26.
- Benjamin, M. M., Sletten, R. S., Bailey, R. P., & Bennett, T. (1996). Sorption and filtration of metals using iron-oxide-coated sand. *Water Research*, 30(11), 2609–2620. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00161-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00161-3)
- Beri, D., & Sanjaya, H. (2012). *Analisis Instrumen 2*.
- Bhaumik, R., Mondal, N. K., Das, B., Roy, P., Pal, K. C., & Das, C. (2012). *Eggshell Powder as an Adsorbent for Removal of Fluoride from Aqueous Solution : Equilibrium , Kinetic and Thermodynamic Studies*. 9(3), 1457–1480.
- Butcher, G. D., & Miles, R. (2018). *Concepts of Eggshell Quality 1*. 1–2.
- Butcher, G. D., Ph, D., Miles, R., & Ph, D. (2012). *Concepts of Eggshell Quality 1*. 1–2.