

**OPTIMASI ADSORPSI ION LOGAM Cu^{2+} DENGAN MENGGUNAKAN
ADSORBEN CANGKANG TELUR AYAM RAS**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memenuhi Mata Kuliah Tugas Akhir



**Oleh :
NESYA FEBI UTAMI
NIM/TM. 17036128/2017**

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

PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul : Optimasi Adsorpsi Ion Logam Cu^{2+} Dengan
Menggunakan Adsorben Cangkang Telur Ayam Ras

Nama : Nesya Febi Utami

NIM : 17036128

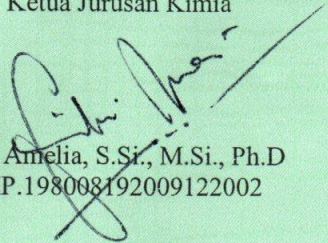
Program Studi : Kimia

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

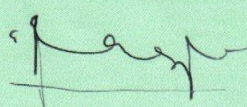
Padang, Februari 2022

Mengetahui:
Ketua Jurusan Kimia



Fitri Amelia, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP.198008192009122002

Disetujui oleh:
Pembimbing



Edi Nasra, S.Si, M.Si
NIP. 198106222003121001

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

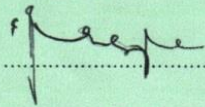
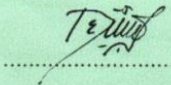
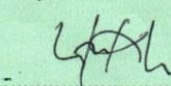
Nama : Nesya Febi Utami
NIM : 17036128
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

OPTIMASI ADSORPSI ION LOGAM Cu^{2+} DENGAN MENGGUNAKAN ADSORBEN CANGKANG TELUR AYAM RAS

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, Februari 2022

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	: Edi Nasra, S.Si, M.Si	
Anggota	: Dr. Desy Kurniawati, M.Si	
Anggota	: Umar Kalmar Nizar, S.Si, M.Si, Ph.D	

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nesya Febi Utami
NIM : 17036128
Tempat/Tanggal lahir : Duri/14 Februari 1999
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : **Optimasi Adsorpsi Ion Logam Cu^{2+} dengan Menggunakan Adsorben Cangkang Telur Ayam Ras**

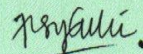
Dengan ini menyatakan bahwa:

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 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



Nesya Febi Utami
NIM: 17036128

OPTIMASI ADSORPSI ION LOGAM Cu^{2+} DENGAN MENGGUNAKAN ADSORBEN CANGKANG TELUR AYAM

Nesya Febi Utami

ABSTRAK

Semakin pesatnya perkembangan industri ini dapat menimbulkan efek negatif pada lingkungan berupa bahan buangan yang beracun, salah satunya yaitu limbah logam berat. Salah satu limbah logam berat pencemar dengan toksisitas tertinggi adalah tembaga (Cu). Logam ini akan sangat berbahaya pada lingkungan perairan jika dalam konsentrasi yang tinggi karena adanya sifat akumulasi dan toksisitas logam didalam rantai makanan terutama dalam persistensi lingkungan makhluk hidup. Cangkang telur ayam memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) sebesar 98,41% dan memiliki pori-pori alami sebanyak 10.000 hingga 20.000 sehingga diperkirakan dapat menyerap solut. Metode adsorpsi merupakan metode penyerapan kontaminasi ion logam berat yang efisien dan efektif. Salah satu bahan organik yang berpotensi sebagai bahan material adsorben ion Cu^{2+} adalah limbah cangkang telur ayam ras.

Penelitian penyerapan ion logam ini menggunakan metode batch, dianalisa menggunakan instrument AAS (*Atomic Adsorption Spectrophotometer*), dan menggunakan instrumen FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) untuk menganalisa gugus fungsi dari cangkang telur ayam ras. Penyerapan ion logam Cu dilakukan terhadap pengaruh pH, konsentrasi, kecepatan pengadukan, waktu kontak, dan berat adsorben. Dimana masing – masing pengontakan menggunakan adsorben sebanyak 0,5 gram dan adsorbat sebanyak 25 ml.

Hasil penelitian pada penyerapan ion logam Cu memiliki kondisi optimum setiap variabel dalam pengontakan cangkang telur ayam ras yang telah diaktivasi dengan ion logam Cu^{2+} adalah optimum pada pH 4, konsentrasi 250 ppm, dan massa adsorben 0,1 gram. Tidak berpengaruh terhadap variabel keepatan pengadukan dan waktu kontak. Kapasitas penyerapan ion logam Cu^{2+} dengan cangkang telur adalah pada kondisi optimum sebesar 55,2480 mg/g dengan presentase penyerapan 99,79318 %.

Kata Kunci : adsorption, eggshell, Cu^{2+} , batch method

OPTIMIZATION OF ADSORPTION OF METAL Cu^{2+} BY USING CHICKEN

EGG SHELL

Nesya Febi Utami

ABSTRACT

Industrial developments cause negative effects on the environment in the form of toxic wastes, one of which is heavy metal waste. One of the polluting heavy metal wastes with the highest toxicity is copper (Cu). This metal will be very dangerous in the aquatic environment if in high concentrations because of the accumulation and toxicity of metals in the food chain, especially in the persistence of the environment of living things. Chicken egg shell contains calcium carbonate (CaCO_3) of 98.41% and has natural pores of 10,000 to 20,000 so it is estimated that it can absorb solutes. The adsorption method is an efficient and effective method of absorbing heavy metal ion contamination. One of the potential organic materials as Cu^{2+} ion adsorbent material is broiler egg shell waste.

This research of metal ion absorption used the batch method, analyzed using the AAS (Atomic Adsorbition Spectrophotometer) instrument, and used the FTIR to analyze the functional groups of egg shells. The absorption of Cu metal ions was carried out on the effect of pH, concentration, stirring speed, contact time, and adsorbent weight. Where each contact uses an adsorbent of 0.5 grams and an adsorbate of 25 ml.

The results of the research on the absorption of Cu metal ions had optimum conditions for each variable in contacting broiler egg shells that had been activated with Cu^{2+} metal ions, which were optimum at pH 4, concentration of 250 ppm, and adsorbent mass of 0.1 grams. Does not affect the variable speed of stirring and contact time. The absorption capacity of Cu^{2+} metal ions with egg shell is at the optimum condition of 55.2480 mg/g with an absorption percentage of 99.79318%.

Keywords : adsorption, eggshell, Cu^{2+} , batch method

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur atas 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 penulisan skripsi yang berjudul **“Optimasi Adsorpsi Ion Logam Cu^{2+} dengan Menggunakan Adsorben 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 terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penulisan proposal penelitian ini terutama kepada:

1. Bapak Edi Nasra, S.Si, M.Si, selaku Dosen Pembimbing dan Penasehat Akademik.
2. Ibu Dr. Desy Kurniawati, S.Pd, M.Si dan bapak Umar Kalmar Nizar, S.Si, M.Si, Ph.D selaku dosen pembahas.
3. Ibu Fitri Amelia, M.Si, Ph.D selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan ilmu Pengetahuan Alam.
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, Januari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR LAMPIRAN.....	v
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	2
C. Batasan Masalah	3
D. Rumusan Masalah	3
E. Tujuan Penelitian	4
F. Manfaat Penelitian	4
BAB II	5
KERANGKA TEORITIS	5
A. Biosorpsi.....	5
B. Tembaga (Cu)	13
C. Cangkang Telur	16
D. Karakterisasi	19
1. Spektroskopi Fourier Transform Infra-Red (FTIR)	19
2. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	22
BAB III	25
METODE PENELITIAN.....	25
A. Waktu dan Tempat	25
B. Variabel Penelitian	25
C. Alat dan Bahan	25
D. Prosedur Kerja.....	26
BAB IV	30

PEMBAHASAN	30
A. Karakterisasi Cangkang Telur Ayam Ras	30
B. Proses Perlakuan Penelitian dengan Sistem Batch	32
BAB V	41
PENUTUP	41
A. Kesimpulan	41
B. Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	46

DAFTAR TABEL

GAMBAR	HALAMAN
1. Jenis Adsorpsi	7
2. Komposisi Nutrisi Cangkang Telur	18
3. Karakterisasi Serapab FTIR	21

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	HALAMAN
1. Logam Berat Cu.....	13
2. Cangkang Telur Ayam Ras	16
3. Instrumen FTIR.....	20
4. Instrumen Spektrofotometer Serapan Atom.....	22
5. Lampu Katoda.....	23
6. Skema Analisis Spektrofotometer Serapan Atom.....	24
7. Spektrum FTIR sebelum aktivasi, setelah aktivasi, dan setelah pengontakan	31
8. Variasi pH larutan	32
9. Variasi konsentrasi larutan.....	33
10. Kurva isoterm langmuir	35
11. Kurva isoterm freundlich	35
12. Variasi kecepatan pengadukan.....	36
13. Variasi waktu kontak	38
14. Variasi massa adsorben	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pembuatan larutan induk Cu 1000 ppm	46
Lampiran 2. Preparasi sampel	46
Lampiran 3. Aktivasi sampel	47
Lampiran 4. Desain penelitian	47
Lampiran 5. Variasi pH larutan.....	48
Lampiran 6. Variasi konsentrasi larutan	48
Lampiran 7. Variasi kecepatan pengadukan	49
Lampiran 8. Variasi waktu kontak.....	49
Lampiran 9. Variasi massa adsorben	50
Lampiran 10. Perhitungan pembuatan reagen.....	50
Lampiran 11. Kurva standar larutan	53
Lampiran 12. Data hasil pengujian	53

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Berkembangnya Industri di Indonesia memberikan pengaruh positif pada perekonomian masyarakat Indonesia (Asip, 2008). Namun demikian, semakin pesatnya perkembangan industri ini dapat menimbulkan efek negatif pada lingkungan berupa bahan buangan yang beracun, salah satunya yaitu limbah logam berat. Menurut (Adriyansyah, 2018), limbah logam berat pencemar dengan toksisitas tertinggi adalah Kromium (Cr) dan Tembaga (Cu). Logam ini akan sangat berbahaya pada lingkungan perairan jika dalam konsentrasi yang tinggi karena adanya sifat akumulasi dan toksisitas logam didalam rantai makanan terutama dalam persistensi lingkungan makhluk hidup.

Produksi telur ayam di Indonesia pada tahun 2015 hingga tahun 2019 rata-rata meningkat sebesar 3,29% per tahun. Banyaknya konsumsi telur ayam ini menyebabkan meningkatnya limbah dari cangkang telur ayam (Karo-karo, 2018). Pemanfaatan limbah cangkang telur ayam belum dimanfaatkan secara maksimal. Sebagian hanya dimanfaatkan sebagai bahan utama dalam pembuatan pupuk organik, kerajinan tangan dan pakan unggas. Kadar kalsium yang cukup tinggi pada cangkang telur ayam ras memiliki potensi untuk menjadi penyerap atau sorben yang baik (Surasen, 2002). Cangkang telur ayam memiliki kandungan Kalsium Karbonat (CaCO_3) sebesar 98,41% dan memiliki pori-pori alami sebanyak 10.000 hingga 20.000 sehingga diperkirakan dapat menyerap solut. Berdasarkan komposisi mineral

yang telah diketahui cangkangtelur ayam tersusun atas CaCO_3 (98,41%), $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (0,75%), dan MgCO_3 (0,84%). Sehingga dapat diketahui bahwa cangkang telur ayam memiliki kandungan Kalsium Karbonat yang tinggi, dimana kalsium karbonat ini merupakan adsorben polar (Jamila, 2014).

Metode adsorpsi merupakan metode penyerapan kontaminasi ion logam berat yang efisien dan efektif. Hal ini karena penggunaan bahan adsorben yang digunakan lebih sederhana, ekonomis dan dapat diregenerasi, serta memiliki efisiensi untuk menyerap ion logam berat. Salah satu bahan organik yang berpotensi sebagai bahan material adsorben ion Cu^{2+} adalah limbah cangkang telur ayam ras (Adriyansyah, 2018). Metode adsorpsi ini pernah dilakukan pada penelitian Nasra (2019) adsorpsi fenol dengan menggunakan kulit pisang kapok.

Adsorben merupakan bahan bio material yang digunakan dalam penyerapan bahan pencemar dari suatu cairan (Suhendrayatna, 2001). Secara umum, proses adsorpsi dapat diartikan sebagai suatu proses dimana partikel pada larutan akan melekat pada permukaan material adsorben. Selain itu, adsorben dapat diartikan sebagai proses dimana molekul lepas dalam larutan dan menempel pada permukaan zat absorben (Reri, A, 2012).

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang, didapatkan identifikasi masalah sebagai berikut:

1. Tembaga tidak rusak di lingkungan sehingga dapat terakumulasi pada makhluk hidup jika berada di tanah maupun perairan melalui limbah industri.

2. Limbah cangkang telur ayam yang masih belum maksimal pemanfaatannya oleh masyarakat.
3. Adsorpsi merupakan salah satu metode dalam penyerapan ion logam Cu.

C. Batasan Masalah

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

1. Metode yang digunakan dalam penyerapan ion logam berat Cu^+ adalah adsorpsi.
2. Variasi pH yang digunakan pada proses adsorpsi adalah 2, 3, 4, 5, dan 6.
3. Konsentrasi larutan Cu adalah 50 mg/L; 100 mg/L; 150 mg/L; 200 mg/L; 250 mg/L, dan 300 mg/L
4. Variasi kecepatan pengadukan yang digunakan adalah 100 rpm, 150 rpm, 200 rpm, 250 rpm, dan 300 rpm.
5. Waktu kontak yang dilakukan adalah 30 menit; 60 menit; 90 menit; dan 120 menit.
6. Berat adsorben yang digunakan adalah 0,1 g; 0,3 g; 0,5 g; 0,7 g; dan 0,9 g.
7. Volume larutan Cu yang digunakan yaitu 25 ml.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana efektifitas adsorpsi ion logam Cu^{2+} terhadap pengaruh variasi pH, konsentrasi larutan, kecepatan pengadukan, waktu kontak, serta berat adsorben oleh daya serap cangkang telur ayam ras?

2. Berapa nilai kapasitas serapan cangkang telur ayam terhadap ion logam Cu^{2+} ?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui efektifitas adsorpsi ion logam Cu^{2+} dengan parameter yang digunakan.
2. Untuk mengetahui nilai kapasitas serapan dari cangkang telur ayam ras terhadap ion logam Cu^{2+} dengan metode Batch.

F. Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian, maka didapatkan manfaat penelitian sebagai berikut:

1. Dapat memberikan informasi tentang keefektifitasan adsorpsi logam Cu^{2+} dengan parameter yang digunakan.
2. Dapat mengatasi masalah pencemaran limbah cair ion logam Cu^{2+}

BAB II

KERANGKA TEORITIS

A. Adsorpsi

Adsorpsi adalah metode pengolahan limbah yang memiliki potensi untuk menghilangkan unsur logam berat yang beracun. Salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya proses adsorpsi yaitu adanya material biologis yang disebut adsorben. Larutan yang mengandung logam berat dengan afinitas tinggi mudah terikat dengan adsorben. adsorpsi merupakan suatu metode alternatif yang ramah lingkungan dalam mengolah limbah cair industri yang layak digunakan secara ekonomis. Hal lain yang membuat adsorpsi menjadi metode yang paling sering digunakan dan dinilai menarik adalah karena kesediaan bahan sebagai adsorben yang melimpah seperti limbah pakan, jamur, algae, yeast, bakteri dan biopolimer (Ratnawati, dkk, 2010).

Adsorpsi merupakan proses masuknya bahan yang menggumpal dalam suatu zat padat. Adsorpsi adalah proses pengumpulan substansi yang terlarut pada larutan oleh permukaan benda atau zat penyerap (Sukardjo, 1994). Media penyerap pada proses adsorpsi disebut sebagai adsorben, dimana adsorben merupakan bahan padat yang luas permukaannya sangat besar. Permukaan yang luas ini terjadi karena banyaknya pori-pori yang halus pada padatan tersebut. Selain itu, distribusi ukuran partikel, kerapatan, dan kekerasannya adalah karakteristik yang penting dari suatu adsorben (Asip, 2008).

Adsorpsi adalah proses penggumpalan substansi terlarut dalam larutan oleh permukaan zat penyerap yang membuat masuknya bahan dan menempel dalam suatu zat penyerap. Keduanya sering muncul bersamaan dengan suatu proses maka ada yang disebut adsorben dan adsorbat. Adsorben adalah zat penyerap, sedangkan adsorbat adalah zat yang diserap (Giyatni, 2008).

Salah satu aplikasi yang sering digunakan dalam adsorpsi yaitu menghilangkan ion logam berat dari limbah industri kimia. Adsorpsi juga dinilai sangat kompetitif karena biaya yang dibutuhkan lebih ekonomis dan efektif serta efisien dalam menghilangkan logam berat, zat warna, dan material atau senyawa berbahaya, seperti pengotor organik dan anorganik dari limbah cair (Annadurai, 2002).

Proses adsorpsi dapat berlangsung jika padatan atau molekul gas atau cair dikontakkan dengan molekul-molekul adsorbat, sehingga didalamnya terjadi gaya kohesif atau gaya hidrostatis dan gaya ikatan hidrogen yang bekerja diantara molekul seluruh material (Ginting, 2008). Proses adsorpsi menunjuk dimana molekul akan meninggalkan dan menempel pada permukaan zat adsorben akibat reaksi kimia dan fisika. Proses adsorpsi tergantung pada sifat zat padat yang mengadsorpsi, sifat antar molekul yang diserap, konsentrasi, temperatur, dan lain-lain (Khairunisa, 2008).

Berdasarkan kekuatan dalam berintraksi, adsorpsi dapat dibedakan menjadi 2, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia.

- a. Adsorpsi fisika terjadi bila gaya intermolekular lebih besar dari gaya tarik antar molekul atau gaya yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Gaya ini disebut gaya *Vander Waals* sehingga adsorbat dapat bergerak dari satu bagian permukaan ke bagian permukaan lain dari adsorben. Gaya antar

molekul adalah gaya tarik antara molekul-molekul fluida dengan permukaan padat, sedangkan gaya intermolecular adalah gaya tarik antar molekul-molekul fluida itu sendiri (Sudirjo, 2005).

- b. Adsorpsi kimia terjadi karena adanya pertukaran atau pemakaian Bersama electron antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben sehingga terjadi reaksi kimia. Ikatan yang terbentuk antar adsorbat dengan adsorben adalah ikatan kimia dan ikatan itu lebih kuat daripada adsorpsi fisika. Adsorpsi fisika dan kimia dibedakan berdasarkan kriteria antara lain, dapat dilihat pada table berikut.

Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
Terjadi adsorpsi multilayer	Terjadi adsorpsi monolayer
Terjadi pada temperature dibawah titik didih adsorbat	Dapat terjadi pada temperatur tinggi
Tidak melibatkan energi aktivasi	Proses adsorpsi terjadi bila sistem mempunyai energi aktivasi

Tabel 1. Jenis Adsorpsi

(Bansal,2005)

Menurut Asip (2008), adapun beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi antara lain:

1. Proses pengadukan

Proses pengadukan jika dilakukan secara rendah maka adsorben akan sukar menembus lapisan film antara permukaan adsorben dan film diffusion. Jika pengadukan sesuai maka film diffusion hingga titik pore diffusion akan naik,

dimana faktor pembatas dalam sistem batch dilakukan pada pengadukan yang tinggi.

2. Karakteristik Adsorben

Energi permukaan dan gaya tarik permukaan sangat mempengaruhi proses adsorpsi. Oleh karena itu, luas permukaan dan ukuran partikel merupakan sifat yang penting dari bahan yang akan digunakan sebagai adsorben.

3. Kelarutan adsorben

Jika pada molekul-molekul yang ada dalam larutan harus dapat berpisah dari cairannya dan dapat berikatan dengan permukaan adsorben maka proses adsorpsi akan terjadi. Bila dibandingkan dengan unsur yang sukar larut, sifat unsur yang terlarut mempunyai gaya tarik-menarik yang lebih kuat terhadap cairannya. Dan bila dibandingkan dengan unsur yang tidak larut, unsur yang terlarut akan lebih sulit terserap pada adsorben.

Sementara itu, menurut (Zakiyyatunni'mah, 2016), factor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi yaitu:

1. Ukuran pori adsorben

Proses adsorpsi akan optimal apabila ukuran pori dari adsorben cukup besar untuk dapat memasukan adsorbat ke dalam pori adsorben (Culp & Culp, 1986).

2. Ukuran molekul adsorbat

Molekul yang berukuran kecil akan sukar teradsorpsi dibandingkan dengan molekul yang berukuran besar. Namun, pada difusi pori-pori molekul yang besar akan sulit teradsorpsi yang disebabkan oleh molekul yang tidak mendukung.

3. Konsentrasi adsorbat

Untuk menghasilkan daya dorong (*driving force*) yang tinggi, maka diperlukan konsentrasi adsorbat yang tinggi yang bertujuan untuk masuknya molekul adsorbat dalam situs aktif adsorben.

4. Suhu

Kecepatan adsorpsi sangat dipengaruhi oleh suhu. Laju adsorpsi akan meningkat dengan meningkatnya suhu, tetapi pula sebaliknya. Proses adsorpsi merupakan proses eksotermik, maka derajat adsorpsi akan meningkat saat temperatur rendah dan turun pada temperatur tinggi.

5. pH

Adanya ionisasi ion hidrogen yang sangat kuat teradsorpsi dipengaruhi oleh pH. Senyawa anorganik terjadi pada pH tinggi, sedangkan senyawa organik akan lebih mudah teradsorpsi pada pH rendah. Senyawa organik asam lebih mudah diadsorpsi pada suasana pH rendah, sedangkan senyawa organik basa lebih mudah diadsorpsi pada suasana pH tinggi.

6. Waktu kontak

Jika pengadukan yang dilakukan pada waktu yang relatif lama, maka waktu kontak yang terjadi akan semakin besar terhadap adsorben untuk berinteraksi dengan adsorbat. Waktu kontak mempengaruhi banyaknya adsorbat yang terserap, disebabkan perbedaan kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat berbeda-beda (Low, 1995). Kondisi ekuilibrium akan dicapai pada waktu yang tidak lebih

dari 150 menit, setelah waktu itu jumlah adsorbat yang terserap tidak signifikan berubah terhadap waktu (Han, 2007).

7. Kelarutan adsorbat

Proses adsorpsi terjadi saat adsorbat terpisah dari larutan dan menempel di permukaan adsorben. Partikel adsorbat yang terlarut memiliki afinitas yang kuat. Tetapi ada pengecualian, beberapa senyawa yang sedikit larut sulit untuk diserap, sedangkan ada beberapa senyawa yang sangat larut namun mudah untuk diserap (Hasler, 1974).

Proses adsorpsi terbagi 2 sistem, yaitu sistem statis (batch) dan sistem dinamis (coloum) (Ungureanu, 2017), sebagai berikut:

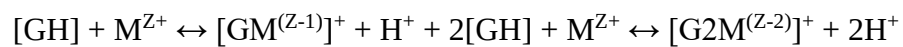
1. Sistem statis (batch)

Proses ini dilakukan dengan memasukkan adsorben ke dalam larutan kemudian diaduk dalam waktu tertentu. Selanjutnya larutan dipisahkan dengan cara disaring. Komponen yang terserap dapat dilepas kembali dengan cara melarutkan adsorben dengan pelarut tertentu dengan volume yang lebih kecil dari volume larutan mula-mula (Santoso, 2007).

2. Sistem dinamis (coloum)

Proses ini memasukan larutan dengan komponen yang diinginkan ke dalam wadah berisi adsorben, selanjutnya komponen yang telah terserap dilepaskan kembali dengan mengalirkan pelarut (efluen) sesuai yang volumenya lebih kecil (Apriliani, 2010). Metode ini menunjukan performa kolom menggunakan variabel tinggi massa biosorben dan laju air yang nantinya akan digunakan pada *scala up* pada aplikasi penyerapan ion logam (Acheampong, 2013).

Pada penyerapan logam berat menggunakan adsorben yang memiliki gugus fungsi yang dapat membentuk senyawa kompleks dengan ion logam. Adapun beberapa gugus fungsinya yaitu seperti karboksil, karbonil, amina dan hidroksi (Priya, dkk, 2008). Menurut (Amri, dkk, 2004), ikatan kimia pada gugus fungsi zat organik dengan molekul disebut sebagai interaksi asam-basa lewis yang dapat menghasilkan kompleks pada permukaan padatan tersebut. Interaksi sistem adsorpsi larutan ion logam, dapat ditulis dalam bentuk umum:



Dimana GH merupakan suatu gugus fungsional yang ditemukan dalam adsorben, M merupakan ion logam bervalensi Z.

Isoterm adsorpsi adalah dasar yang sangat penting dengan tujuan mengetahui bagaimana molekul adsorbat berinteraksi dengan permukaan adsorben. Sedangkan isoterm adsorpsi merupakan suatu keadaan kesetimbangan dimana konsentrasi adsorbat tidak mengalami perubahan (Vimonses, dkk, 2009), (Foo, dkk, 2010).

1. Isoterm Freundlich

Persamaan yang menunjukkan hubungan antar jumlah zat dalam larutan (Mawardi, 2002). Prinsip dasar isoterm freundlich adalah untuk mengadopsi adsorpsi multiplayer pada permukaan yang heterogen. Berikut adalah persamaan isoterm freundlich:

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

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

Persamaan diatas menjelaskan penyerapan atau koefisien distribusi dan memberikan jumlah banyaknya adsorbat agar mencapai kesetimbangan konsentrasi (Yasim, dkk, 2016).

2. Isoterm Langmuir

Prinsip dari langmuir adalah pada permukaan adsorben terdapat beberapa pusat aktif (*active site*) yang sebanding dengan luas biosorben. Pada setiap pusat aktif memiliki satu molekul yang diserap. Secara kimia, penyerapan terjadi apabila terbentuk ikatan kimia antara molekul yang terserap dengan penyerap yaitu pusat aktif yang akan membentuk lapisan tunggal pada permukaan penyerap (*monolayer adsorption*). Untuk mencegah terjadinya perpindahan molekul yang terserap, maka ikatan tersebut harus cukup kuat. Berikut adalah persamaan isoterm langmuir:

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

Keterangan:

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

q_e = jumlah logam yang terserap (mg/g)

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

K_l = konstanta langmuir (L/mg)

B. Tembaga (Cu)



Gambar 1. Logam Berat Cu

Nama kimia dari tembaga adalah cuprum yang dilambangkan dengan Cu. Tembaga menempati nomor atom 29 pada tabel periodik dan memiliki bobot atau berat atom 63,546. Tembaga (Cu) merupakan logam yang berwarna merah muda, lunak dan dapat ditempa serta memiliki tekstur yang liat dimana tembaga melebur pada 1038 °C (Palar H. , 2004) (Vogel, 1994). Tembaga biasanya ditemukan dalam bentuk persenyawaan CuOH^+ , CuCO_3^+ dan sebagainya. Sedangkan secara alamiah, pada proses pengikisan batuan mineral atau erosi serta adanya persenyawaan Cu di atmosfer yang dibawa turun oleh air hujan dapat menyebabkan masuknya tembaga ke dalam perairan (Vogel, 1990).

Cu merupakan logam berat yang berbeda dengan logam berat lainnya seperti, Cr, Hg, Cd, As, Pb, Zn, dan Ni (Wild, 1995). Tembaga (Cu) tergolong logam yang penting atau logam berat esensial, artinya meskipun Cu bersifat racun, namun unsur logam ini sangat dibutuhkan oleh tubuh walaupun dalam jumlah yang sedikit. Bila logam Cu masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah yang besar, maka toksisitas yang dimiliki oleh logam Cu baru akan bekerja (Vogel, 1990). Efek biotoksik yang disebabkan oleh logam berat pada manusia dapat menimbulkan penyakit akut maupun kronis. Organisasi Kesehatan Dunia (*World Health*

Organization/WHO) menyebutkan bahwa bahaya kesehatan dapat ditimbulkan dari keberadaan logam berat pada rantai makanan (Srivastava, 2010).

Tembaga terhadap kebutuhan manusia cukup tinggi. Manusia dewasa membutuhkan sekitar 30 μg Cu perkg berat tubuh. Sedangkan pada anak-anak membutuhkan Cu sebanyak 40 μg perkg berat tubuh. Dan pada bayi dibutuhkan 80 μg Cu perkg berat tubuh (Palar H. , 2004).

Adanya tembaga dalam air sangat dipengaruhi oleh pH, larutan ion zat lain, dan kadar karbonat (Sitepoe, 1997). Adapun kadar normal tembaga di dalam air adalah sebanyak 0,01-0,5 mg/L. Logam Cu bagi tubuh memiliki peran dalam pembuatan tulang dan syaraf sentral, pelepasan zat besi dari jaringan, pembuatan sel darah merah serta dapat mengikat zat lainnya. Penggunaan jumlah Cu yang berlebihan di alam dan tubuh akan mengakibatkan iritasi lambung, kerusakan jaringan hati, ginjal dan syaraf lainnya, kerusakan pembuluh darah kapiler serta mengakibatkan terjadinya depresi (Sitepoe, 1997). Adanya tembaga didalam tanah memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap kandungan logam yang ada pada tanaman yang tumbuh diatasnya (Darmono, 1995).

Adapun beberapa faktor yang menyebabkan logam berat menjadi logam pencemar adalah karena logam berat memiliki sifat-sifat yang tidak dapat terurai (*non degradable*) dan mudah diadsorpsi, dimana logam berat memiliki sifat yang tidak dapat dihancurkan secara alami melalui proses biomagnifikasi pada rantai makanan (Darmono, 1995).

Pencemaran lingkungan yang ditimbulkan oleh logam berat ini adalah sebagai berikut:

1. Berhubungan dengan estetika (perubahan bau, rasa pada air, dan warna).
2. Berbahaya bagi kehidupan binatang dan tanaman.
3. Berbahaya bagi kesehatan manusia.
4. Menyebabkan kerusakan pada ekosistem.

Secara biologis, Cu ada dalam bentuk Cu^+ atau Cu^{2+} dalam garam inorganik dan kompleks inorganik. Adanya perpindahan Cu pada konsentrasi tinggi ditentukan oleh cuaca, pengairan, proses pembentukan tanah, jumlah bahan organik ditanah, pH, dan potensial oksidasi reduksi (Merian, 1994), yang dimana sumber Cu dalam lingkungan diprediksi paling banyak berasal dari kegiatan perindustrian, limbah rumah tangga, dan pada pembakaran mobilitas bahan bakar (Palar, 2008). Apabila logam Cu masuk kedalam tubuh dengan konsentrasi yang cukup besar, maka akan sangat meracuni manusia. Pengaruh racun yang ditimbulkan adalah adanya rasa terbakar di daerah esofagus dan lambung, adanya radang jika terkena kulit, muntah-muntah, diare, kolik, dan juga bisa menyebabkan nekrosis hati dan koma (Supriharyono, 2000). Cu dapat mempengaruhi sistem enzim, dimana Cu dapat menghambat enzim *dihydrolipoyl dehydrogenase* yang berpotensi menghambat *pyruvate dehydrogenase* sehingga dapat mengganggu metabolisme energi dalam sel (Widowati, 2008).

Menurut (Palar H. , 2004), bentuk bentuk keracunan Cu adalah sebagai berikut:

1. Keracunan akut

Gejala yang ditimbulkan adalah adanya rasa terbakar pada epigastrium, rasa logam pada pernafasan, dan berupa muntah secara berulang.

2. Keracunan kronis

Penyakit yang ditimbulkan oleh Cu dapat dilihat dari adanya penyakit *Wilson* dan *Kinsky*. Gejala penyakit *Wilson* ditunjukkan dengan adanya kerusakan pada otak, pengendapan Cu pada kornea mata, *hepatic cirrhosis*, dan terjadinya penurunan fungsi ginjal. Sedangkan pada penyakit *Kinsky* ditunjukkan pada rambut yang kaku dan berwarna kemerahan.

Penisilamin merupakan obat untuk keracunan tembaga yang berfungsi untuk mengikat tembaga dan dapat memudahkan pengeluaran atau pembuangannya (Rahmayani, 2009).

C. Cangkang Telur



Gambar 2. Cangkang Telur Ayam Ras

Cangkang tersusun atas lapisan kutikula, lapisan *sponge* (busa), dan lapisan lamellar. Dimana lapisan kutikula merupakan protein transparan yang melapisi permukaan cangkang. Lapisan ini berfungsi melapisi pori-pori cangkang telur, namun lapisan ini masih dapat dilalui gas sehingga terjadinya keluar uap air dan gas CO₂ dari cangkang telur (Rivera, 1999).

Lapisan *sponge* (busa) adalah lapisan yang terdiri dari protein dan lapisan kapur yang terbentuk dari kalsium fosfat, kalsium karbonat, magnesium karbonat, dan magnesium fosfat. Lapisan ini membentuk matriks dengan lamellar yang

tersusun atas serat protein yang terikat dengan kristal kalsium karbonat (CaCO_3) (Rivera, 1999).

Lapisan lamellar memiliki bentuk kerucut dengan penampang yang berbentuk bulat atau lonjong. Lapisan ini tersusun oleh protein dan mineral. Dibawah lapisan lamellar terdapat lapisan membran yang memiliki fungsi untuk melindungi telur dari masuknya bakteri (Wirakusumah, 2011).

Kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan komposisi utama dalam cangkang telur, dimana terdapat sebanyak 94% kalsium karbonat (CaCO_3) dari total keseluruhan cangkang telur, 4% bahan-bahan organik, 1% kalsium fosfat $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, dan 1% magnesium karbonat (MgCO_3) (Schaafsma, 2000). Sedangkan menurut Jamila (2014), cangkang telur tersusun atas kristal CaCO_3 sebesar 98,41%, MgCO_3 sebanyak 0,84%, dan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ sebanyak 0,75%.

Cangkang telur memiliki pori-pori sebanyak 10.000-20.000 sehingga disimpulkan bahwa cangkang telur memiliki potensi dalam menyerap solute dan dapat dijadikan sebagai salah satu adsorben (Asip, 2008). Cangkang telur tersusun dari bahan anorganik 95,1%, protein 3,3%, dan air 1,6% (Syam dkk, 2014). Selain strukturnya yang berpori, cangkang telur mengandung asam protein mukopolisakarida sehingga dapat dijadikan sebagai adsorben. Gugus penting yang ada pada cangkang telur adalah amina, karboksil, dan sulfat membentuk ion logam membentuk ikatan ionik (Surasen, 2002).

Komposisi nutrisi cangkang telur adalah sebagai berikut:

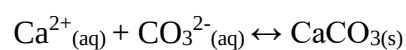
Tabel 2. Komposisi Nutrisi Cangkang Telur

Nutrisi	Cangkang telur (% berat)
Air	29 – 35
Protein	1,4 – 4
Lemak murni	0,10 – 0,20
Abu	89,9 – 91,1
Kalsium	35,1 – 36,4
Kalsium karbonat (CaCO ₃)	90,9
Fosfor	0,12
Sodium	0,15 – 0,17
Magnesium	0,37 – 0,40
Pottasium	0,10 – 0,13
Sulfur	0,09 – 0,19
Alanin	0,45
Arginin	0,56 – 0,57
Glutamat	0,61

(Zulti, 2008)

Kadar asam amino pada cangkang telur diperoleh dari penguraian protein kasar. Asam amino yang paling besar kandungannya pada cangkang telur adalah glutamat yaitu sebanyak 0,61%. Dimana asam amino pada cangkang telur sangat berpengaruh baik terhadap tubuh. Glutamat berperan dalam system pencernaan dan mendukung kesehatan otak.

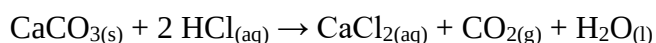
Kalsium yang terdapat pada cangkang telur sebagian besarnya akan mengendap sekitar ± 16 jam. Berikut adalah proses klasifikasi reaksi pengendapan cangkang telur:



Ion Ca^{+} bebas dalam darah akan setimbang dengan ion kalsium yang terikat pada protein. Ketika kelenjar cangkang telur mengambil ion bebas lebih banyak lagi maka dihasilkan penguraian kalsium yang terikat protein (Chang, R, 2005).

Adapun beberapa sifat khas Kalsium karbonat dibandingkan dengan senyawa karbonat lain, yaitu :

1. Dapat bereaksi dengan asam kuat, melepaskan karbon dioksida:



2. Jika dipanaskan, akan melepaskan CO_2 yang disebut dengan reaksi dekomposisi termal, atau kalinasi, (diatas 840°C pada kalsium karbonat), yang bertujuan untuk membentuk kalsium oksida, atau biasa disebut batu kapur.

D. Karakterisasi

1. Spektroskopi Fourier Transform Infra-Red (FTIR)

FTIR merupakan salah satu instrumen yang digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi, mengidentifikasi senyawa dan menganalisis campuran dari sampel tanpa merusak sampel tersebut. Spektrum panjang gelombang elektromagnetik FTIR adalah 14000 cm^{-1} hingga 10 cm^{-1} . Menurut (Schechter, 1997), dan (Griffith, 1975), panjang gelombang daerah inframerah dibagi menjadi 3 yaitu:

- a. IR dekat, sekitar $14000\text{-}4000 \text{ cm}^{-1}$. IR dekat peka terhadap vibrasi *overtone*.
- b. IR sedang, sekitar $4000\text{-}400 \text{ cm}^{-1}$. Panjang gelombang ini berkaitan dengan transisi energi vibrasi dari molekul yang memberikan informasi mengenai gugus-gugus fungsi dalam molekul tersebut.

- c. IR jauh, sekitar $400\text{-}10\text{ cm}^{-1}$. Panjang gelombang ini menganalisis molekul yang mengandung atom berat. Biasanya pada senyawa anorganik. Analisis senyawa biasanya dilakukan pada daerah IR sedang (Tanaka, 2008)

Adapun prinsip kerja dari FTIR yaitu interaksi antar energi dan materi. Inframerah akan melewati celah sampel, dimana celah tersebut berfungsi untuk mengontrol jumlah energi yang masuk ke sampel. Kemudian beberapa sinar inframerah akan diserap oleh sampel yang lain dan juga akan diteruskan melalui permukaan sampel sehingga sinar inframerah dapat lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke computer, direkam dan akan menghasilkan bentuk puncak-puncak spektrum (Thermo, 2001) .



Gambar 3. Instrumen FTIR

Menurut (Pescok, 1976), dan (Skoog, 1971), analisis senyawa dengan FTIR dapat dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Metode FTIR ini salah satu metode yang bebas reagen, tidak menggunakan radioaktif, dan dapat mengukur kadar hormon. Analisis kuantitatif FTIR menggunakan hukum Lambert Beer. Hukum Lambert Beer dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$A = \epsilon b c$$

Keterangan:

A = Absorbansi

ε = Absorptivitas

b = ketebalan tempat sampel

c = Konsentrasi sampel

Menurut (Hardjono, 1992), serapan ikatan FTIR seperti, N – H, C – H, C – O, C – C, C = O, C = C, C = N, O – H hanya dapat diperoleh dalam bagian-bagian kecil tertentu dari daerah gelombang FTIR. Serapan kecil adalah yang dapat digunakan untuk menentukan tipe ikatan. Adapun karakterisasi dari serapan FTIR sebagai berikut:

Tabel 3. Karakterisasi Serapab FTIR

Gugus fungsional	Frekuensi cm^{-1}	Intensitas adsorpsi
Alkana, gugus alkil C – H	2850 – 2960	Sedang
Alkohol O – H C – O	3400 – 3640 1050 – 1150	Kuat, lebar Kuat
Alkena C = C	1620 – 1680	Medium
Keton C = O	1850 – 1630	Kuat

(Hardjono, 1992)

Kelebihan dari instrumen FTIR ini adalah sangat efisiensi, cepat, dan prosesnya sederhana. Metode FTIR tidak membutuhkan preparasi sampel yang rumit untuk menghasilkan spektrum baik berupa sampel padatan ataupun cairan. Selain itu, FTIR juga dapat mengukur intensitas pada berbagai panjang gelombang secara bersamaan (Skoog, 1971). Namun demikian, kelemahan FTIR yaitu tidak dapat

mengidentifikasi jenis kandungan dari komponen asam lemak dalam suatu sampel (Irwandi, 2003).

2. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) adalah analisa kimia menggunakan teknik adsorpsi untuk menentukan kadar unsur logam dan semi logam yang terdapat dalam suatu zat. Prinsip kerja interaksi antar radiasi dan materi, dimana sumber energinya adalah lampu katode berlubang (*hollow cathode lamp*) (Khopkar, 1990). Hampir semua atom logam dapat dideteksi konsentrasinya menggunakan metode ini (Hendayana, 1994).



Gambar 4. Instrumen Spektrofotometer Serapan Atom

Menurut (Ginanjari, 2007), komponen spektrofotometer serapan atom sebagai berikut:

1. Sumber sinar

Lampu katoda berongga (*hollow cathode lamp*) adalah sumber sinar yang biasa digunakan pada instrumen SSA. Lampu ini berbentuk tabung kaca tertutup yang mengandung anoda dan katoda. Namun, lampu ini hanya dapat digunakan untuk satu unsur, atau satu lampu untuk satu unsur.



Gambar 5. Lampu Katoda

2. Tempat sampel

Sampel yang akan dianalisa terlebih dahulu harus diuraikan menjadi atom-atom netral. Alat yang digunakan untuk menguraikan sampel menjadi uap atom-atom adalah dengan nyala (*flame*) dan dengan tanpa nyala (*flameless*). Dimana nyala (*flame*) digunakan untuk mengubah sampel padatan dan cairan menjadi uap atom-atom atau disebut atomisasi. Sedangkan tanpa nyala (*flameless*) digunakan karena dengan nyala (*flame*) dinilai kurang peka terhadap atom sehingga gagal mencapai nyala. Teknik tanpa nyala (*flameless*) memiliki 3 tahap yaitu, pengeringan, pengabuan, dan pengatoman.

3. Monokromator

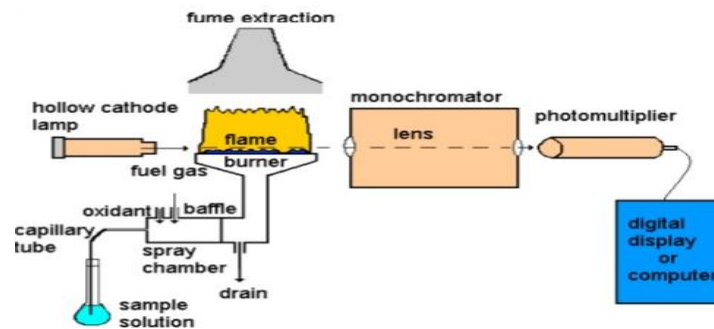
Monokromator berfungsi untuk menentukan panjang gelombang yang akan digunakan dalam Analisa.

4. Detektor

Untuk mengukur intensitas cahaya melalui tempat pengatoman adalah detektor. Biasanya alat yang digunakan adalah tabung penggandaan foton (*photomultiplier tube*).

5. Read Out

Read Out merupakan sistem pencatatan hasil, dimana dilakukan dengan alat yang telah dikalibrasi untuk membaca suatu absorbansi. Hasil pencatatan berupa angka atau kurva yang menggambarkan absorbansi.



Gambar 6. Skema Analisis Spektrofotometer Serapan Atom

Gangguan utama dalam SSA adalah efek matriks, dimana efek matrik akan sangat berpengaruh terhadap proses pengatoman (Azis, 2007). Efek matriks merupakan zat-zat dari matriks yang memprngaruhi respons analit dalam pengukuran dan gangguan semacamnya (Underwood, 1996).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kondisi optimum setiap variabel dalam pengontakan cangkang telur ayam ras yang telah diaktivasi dengan ion logam Cu^{2+} adalah optimum pada pH 4, konsentrasi 250 ppm, dan massa adsorben 0,1 gram.
2. Penyerapan ion logam Cu^{2+} tidak berpengaruh terhadap kecepatan pengadukan dan waktu kontak.
3. Kapasitas penyerapan ion logam Cu^{2+} dengan cangkang telur adalah pada kondisi optimum sebesar 55,2480 mg/g dengan presentase penyerapan 99,79318 %.

B. Saran

1. Mengembangkan penelitian adsorpsi cangkang telur ayam ras untuk adsorbat lain.
2. Melakukan penelitian pengaruh beberapa jenis activator terhadap kinerja cangkang telur ayam ras.

DAFTAR PUSTAKA

- Acheampong, M. K. (2013). Removal of Cu(II) by biosorption onto coconut shell in fixed-bed coloumn systems. *Journal of industrial and Engineering Chemistry*, 19(3), 841-848. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2012.10.029>
- Adriyansyah, R. (2018). Biosorpsi ion logam berat Cu(II) dan CR(VI) menggunakan biosorben kulit kopi terxanthasi. *Jurnal pendidikan dan ilmu kimia*, 2(2), 114-121.
- 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, dkk. (2004). Keseimbangan Adsorpsi Optional Campuran Biner Cd(II) dan Cr(III) dengan Zeolit Alam Terimpegnasi 2-merkaptobenzotiazol. *Journal of Physical Sciences*, 6(2), 1807-1817.
- Annadurai, J. (2002). Factorial Design Analysis of Dye on Activated Carbon Beads Incorporated With Calcium Alginate. *Journal of Advance Environment of Research*, 6, 191.
- Apriliani, A. (2010). Pemanfaatan Arang Ampas Tebu sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu dan Pb dalam Air Limbah. *Repositoy UIN*, 1–91.
- Asip, F. (2008). Uji efektifitas cangkang telur dalam mengadsorpsi ion Fe dengan proses batch. *Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya*, 15, 22-26.
- Azis, V. (2007). *Analisis Kandungan Sn, Zn dan Pb dalam Susu Kental Manis Kemasan Kaleng Secara Spektrofotometri Serapan Atom*. Yogyakarta: Fakultas Ilmu Kimia dan ilmu Pengetahuan Alam.
- Batool, S., Idrees, M., Hussain, Q., & Kong, J. (2017). Adsorption of copper (II) by using derived-farmyard and poultry manure biochars: Efficiency and mechanism. *Chemical Physics Letters*, 689(Ii), 190–198. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2017.10.016>
- Darmono. (1995). *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Jakarta: UI Press.
- Nasra, E., Sari, R., Etika, S. B., Kurniawati, D., & Sari, T. K. (2020). Optimization of Phenol Absorption Using Banana Peel (*Musa balbisiana Colla*) as Biosorbent. *10(ICoBioSE 2019)*, 238–243. <https://doi.org/10.2991/absr.k.200807.048>