TUGAS AKHIR

Pemanfaatan Media Bambu Sebagai Adsorbent Penyerap Logam Kadmium (Cd) dengan Perbandingan Tanpa Aktivasi dan Aktivasi dengan Asam Sitrat

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan



DISUSUN OLEH :

HENDRA FARDIANSYAH
(11513098)

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2017

TUGAS AKHIR

PEMANFAATAN MEDIA BAMBU SEBAGAI ADSORBENT PENYERAP LOGAM KADMIUM (Cd) DENGAN PERBANDINGAN TANPA AKTIVASI DAN AKTIVASI DENGAN ASAM SITRAT

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan



DISUSUN OLEH :

HENDRA FARDIANSYAH
(11513098)

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2017

ISLAM
UNIVERSITAS
INDONESIA

LEMBAR PENGESAHAN

PEMANFAATAN MEDIA BAMBU SEBAGAI ADSORBENT PENYERAP LOGAM KADMIUM (Cd) DENGAN PERBANDINGAN TANPA AKTIVASI DAN AKTIVASI DENGAN ASAM SITRAT

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan

Disusun Oleh :

HENDRA FARDIANSYAH

11513098

Disetujui :

Dosen Pembimbing

Eko Siswoyo, S.T, M.Sc.ES, M.Sc,Ph. D

Tanggal : 25 - 10 - 2017

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII

Hudori, ST., MT

Tanggal : 25 -10 -2017

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Penelitian ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Penelitian ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam penelitian ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia. (*apabila menggunakan software khusus*)
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sangsi akademik dengan pencambutan gelar yang sudah diperoleh, serta sangsi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta,

Yang membuat pernyataan,



Hendra Fardiansyah

11.513.098

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillahhirobbil'alamin, puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya baik berupa kenikmatan maupun kesehatan lahir dan batin sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini yang berjudul "*Pemanfaatan Media Bambu Sebagai Adsorbent Penyerap Logam Kadmium (Cd) Dengan Perbandingan Tanpa Aktivasi dan Aktivasi Asam Sitrat"*

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi syarat akademik untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik bagi mahasiswa program S1 pada jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Penulis menyadari adanya kekurangan yang terdapat dalam skripsi ini sehingga saran dan kritik dari pembaca untuk melengkapi kekurangan yang ada dalam skripsi ini sangat dibutuhkan penulis. Terlepas dari semua kekurangan dalam skripsi ini, penulis berharap dengan adanya skripsi ini dapat memberikan informasi atau pengetahuan yang bermanfaat bagi pembaca.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penulisan skripsi ini banyak terdapat hambatan, namun atas berkat bantuan dan bimbingan berbagai pihak sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu dalam kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang ikut terlibat dalam menyelesaikan skripsi ini baik secara langsung maupun tidak langsung. Terimakasih sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada :

1. Bapak Hudori ST., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia
2. Bapak Eko Siswoyo, S.T, M.Sc.ES, M.Sc, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penyusun dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Teristimewa kepada kedua orang tua tercinta Bapak Farkhan dan Ibu Rostiati yang selalu memberikan dukungannya baik berupa doa, motivasi dan materi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Bapak/Ibu dosen dan staff di lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, khususnya Program Studi Teknik Lingkungan yang telah banyak membantu penulis selama masa studi dan saat penyusunan skripsi.
5. Teman-teman Teknik Lingkungan angkatan 2011. Kalianlah yang selalu menghadirkan senyuman serta semangat untuk tetap menapaki langkah di Teknik Lingkungan. Terima kasih banyak telah membantu, menemani, menolong dan mendukung penyusun selama kuliah sampai sekarang mendapatkan gelar *Sarjana Teknik* UII. Semoga kita semua sukses dan selalu dalam limpahan rahmat Allah SWT.
6. Terima kasih juga kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata penulis menyadari akan adanya kelemahan dan kekurangaan dalam penyusunan skripsi ini, untuk itu penulis mohon maaf dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan menjadi bahan masukan dalam dunia pendidikan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Yogyakarta, 25-10-2017

Penulis

ABSTRAK

Bambu adalah kelompok tanaman paling beragam dan paling cepat berkembang, karena bambu dapat dipanen dalam 2 sampai 3 tahun, tanaman ini tergolong sumber daya murah dan cepat tumbuh dengan sifat fisik dan mekanik unggul dibandingkan dengan jenis kayu. Media dari bambu ini memiliki kandungan selulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ *yang cukup tinggi dan dapat dimanfaatkan sebagai biosorbent. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas adsorben dari media bambu dengan 2 perlakuan yang berbeda, diaktifkan dengan menggunakan asam sitrat 1 M dan tanpa diaktifkan, untuk menyerap ion Kadmium (Cd (II)) dalam air. Adsorpsi dilakukan menggunakan sistem batch dengan variabel seperti massa adsorben, pH larutan, waktu kontak dan konsentrasi Cd awal pada suhu ruang (*25^0C*). Adsorben ditandai dengan menggunakan FTIR untuk mengetahui kelompok fungsional, SEM untuk mengetahui morfologi dari adsorben dan kapasitas adsorpsi dari adsorben diperoleh dengan menggunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich. Berdasarkan hasil penelitian, untuk 10 mg/l larutan Cd, didapatkan kondisi optimum untuk massa adsorben adalah 100 mg, larutan pH 6 dan waktu kontak selama 120 menit. Kemampuan adsorpsi dari adsorben bambu tanpa aktivasi dan dengan aktivasi masing-masing sebesar 13,81 mg/g dan 17,01 mg/g. Studi ini menunjukkan bahwa bambu dapat digunakan sebagai adsorben untuk ion logam berat dan Langmuir isoterm cocok untuk adsorben ion Cd dalam air.*

Kata kunci *:Adsorpsi, Bambu, Langmuir , Cd, Sistem Batch*

ABSTRACT

Bamboo is the most diverse and the fastest growing among plant group, because bamboo can be harvested in 2 to 3 years, the plant is relatively cheap and rapidly growing with superior physical and mechanical properties compared to other types of wood. Media of bamboo contains cellulose $(C_6H_{10}O_5)_n$ *that quite high and can be used as biosorbent. This study aims to determine the effectiveness of the adsorbent from bamboo media with 2 different treatments, activated using citric acid 1 M and without activated, to adsorb Cadmium ion (Cd(II)) in water. The adsorption is conducted using a batch system with the variables such as mass of adsorbent, pH of solution, contact time and initial Cd concentration at room temperature* (25^0C)*. The adsorbent was characterized by using FTIR in order to know the functional groups, SEM to know the morphology of the adsorbent and the adsorption capacity of the adsorbent was obtained by using Langmuir and Freundlich isotherm models. Based on the results of the research for 10 mg/l of Cd solution, the optimum conditions were 100 mg of adsorbent mass, pH solution 6 and 120 minutes of contact time. The adsorption ability of bamboo adsorbent without activation and with activation was 13.81 mg/g and 17.01 mg/g, respectively. This study shows that bamboo can be used as adsorbent for heavy metal ion and Langmuir isotherm was fit for the adsorbent of Cd ion in water.*

Keywords: Adsorption, Bamboo, Batch System, Langmuir, Cd

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN i

HALAMAN PERNYATAAN..... ii

PERSEMBAHAN..... iii

KATA PENGANTAR..... iv

DAFTAR ISI..... v

ABSTRAK vi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang..... 1

1.2 Rumusan Masalah..... 3

1.3 Tujuan Penelitian..... 4

1.4 Batasan Masalah..... 4

1.5 Manfaat Penelitian..... 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Adsorpsi..... 5

2.2 Jenis Adsorpsi..... 6

2.3 Metode Adsorpsi..... 8

2.4 Proses Biosorpsi 9

2.5 Aktivasi Adsorben 9

2.6 Bambu Sebagai Bahan Media Adsorben 11

2.7 Logam kadmiun (Cd)..... 14

2.8 Metode Batch 15
2.9 Isoterm Langmuir 16
2.10 Isoterm Freundlich 16
2.11 Fourier Transorm Infrared (FTIR) 17
2.12 Scanning Electron Microscopy (SEM) 17
2.13 Atomic Absorbsion Spektrophotometri (AAS) 18
2.14 Penelitian Sebelumnya 19

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian 21
3.2 Metode Penelitian 22
3.3 Lokasi Penelitian 22
3.4 Variabel 22
3.5 Alat dan Bahan 23
3.6 Desain Penelitian 24
3.6.1 Metode Penyiapan Bahan Adsorbent 24
3.6.2 Metode Aktivasi Adsorbent 25
3.6.3 Menentukan Massa Optimum 26
3.6.4 Menentukan pH Optimum 27
3.6.5 Menentukan Waktu Kontak Optimum 28
3.6.6 Menghitung Efisiensi Kemampuan Adsorbent Konsentrasi 29
3.7 Metode Analisis Data 30
3.7.1 Metode Freundlich 30

3.7.2 Metode Langmuir 30
3.7.3 Karakterisasi Adsorbent 31
3.7.4 Pengukuran Dengan Spektrofotometri AAS 32
3.7.5 Pembuatan Grafik 32
3.8 Hipotesis Penelitian 33

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Penjelasan Umum 34
4.2 Persiapan Adsorben Bambu 35
4.3 Aktivasi Adsorben Bambu 38
4.4 Adsorben Bambu Tanpa Aktivasi 40
4.5 Karakterisasi Adosorbent 41
4.5.1 Fourier Transorm Infrared (FTIR) 41
4.5.2 Scanning Electron Microscopy (SEM) 45
4.6 Pengujian Kemampuan Adsorpsi 46
4.6.1 Variasi Massa 46
4.6.2 Variasi pH Larutan 48
4.6.3 Variasi Waktu Kontak 50
4.6.4 Variasi Konsentrasi 52
4.7 Isoterm 55
4.7.1 Metode Langmuir 55
4.7.2 Metode Freundlich 59
4.8 Mekanisme Adsorpsi Adsorben Bambu 63
4.9 Perbandingan Kapasitas Adsorben Aktivasi Dengan Tanpa Aktivasi 63

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan 65

5.2 Saran 66

5.3 Rekomendasi 66

Daftar Pustaka 67

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 71

Lampiran 2 72

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pencemaran logam berat oleh kadmium menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang wajib mendapat perhatian. Menurut Palar (1994) kadmium (Cd) memiliki karakteristik berwarna putih keperakan seperti logam aluminium, tahan panas, tahan terhadap korosi. Kadmium (Cd) digunakan untuk elektrolisis, bahan pigmen untuk industri cat, enamel, dan plastik. Kadmium (Cd) merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena elemen ini beresiko tinggi terhadap pembuluh darah.

Kadmium (Cd) berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal. Kadmium juga dapat menyebabkan impotensi pada manusia dan merupakan penyebab kanker karena bersifat karsinogenik. Logam kadmium (Cd) mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam. Sumirat (2003) menyebutkan kadmium akan mempengaruhi otot polos, pembuluh darah secara langsung maupun tidak langsung melalui ginjal. Kasus keracunan kadmium ditemukan di kota Togama Jepang yang dikenal dengan penyakit itaic atau aduh ketika bergerak.

Berdasarkan uraian diatas maka pengolahan air yang mengandung logam berat kadmium perlu dilakukan. Hal ini tentu karena sifatnya yang sangat merugikan kesehatan dan apabila dibiarkan akan menjadi suatu masalah lingkungan yang terus berkelanjutan. Berdasarkan Permenkes No. 492 tahun 2010 tentang persyaratan kualitas air minum bahwa ambang batas kandungan logam kadmium di air minum adalah 0.003 mg/l.

Metode yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan diatas salah satunya dengan proses pemisahan atau adsorpsi. Hal yang paling penting di dalam proses adsorpsi adalah pemilihan jenis adsorben yang baik. Salah satu adsorben

yang paling potensial adalah karbon aktif. Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi dari bahan-bahan (Chand et al,2005). Selama ini pembuatan karbon aktif sudah dikembangkan dengan menggunakan batu bara dan material organik dengan kandungan karbon yang tinggi seperti tempurung kelapa, serat, kayu dan lain-lain. Salah satu material yang juga dapat digunakan adalah tanaman bambu (Mui et al, 2010).

Bambu dikenal oleh masyarakat memiliki sifat-sifat yang baik untuk di manfaatkan antara lain batangnya kuat, ulet, lurus, rata, keras, mudah di belah, mudah di bentuk serta ringan sehingga mudah di angkut. Dari kurang lebih 1000 spesies bambu dalam 80 negara,sekitar 200 spesies dari 20 negara ditemukan di Asia Tenggara (Dransfield, 1995), sedangkan di Indonesia ditemukan sekitar 60 jenis. Beberapa sifat kimia bambu meliputi selulosa, lignin, pentosan, abu, silika. Kadar selulosa berkisar antar 42,4 % - 53,6 % , kadar lignin bambu berkisar antara 19,8 % - 26,6 % , sedangkan kadar pentosan 1,24 % - 3,77 %, kadar abu 1,24 % - 3,77 % , kadar silika 0,10 % - 1,78 % (Krisdianto et al, 2000). Dari sifat-sifat tersebut maka perlu dilakukan pengolahan terhadap limbah media bambu tersebut sehingga dapat menambah nilai jual serta memberikan alternatif pemanfaatan terhadap limbah media bambu yang ada. Sehingga dari masalah lingkungan tersebut, penelitian kali ini merupakan perpaduan solusi dari pengolahan logam berat dengan menjadikan limbah media bambu yang tidak terpakai sebagai adsorben.

Ada banyak cara yang dapat dilakukan untuk menghasilkan karbon yang berpori yaitu dengan cara dekomposisi material organik melalui tiga tahapan yaitu dehidrasi, karbonisasi dan aktivasi. Penelitian terdahulu pembuatan adsorben dari bambu dengan menggunakan H_3PO_4 pada suhu 6000 ^{0}C/menit yang dapat menghasilkan luas permukaan cukup besar yakni 2123 m^2/g (Ip et al. 2008).

Penelitian yang akan dilakukan,menggunakan adsorben yang berbahan dari limbah bambu, akan diaktivasi oleh aktivator yaitu asam sitrat dan sebagai pembanding juga akan dilakukan pembuatan adsorben dengan metode tanpa aktivasi untuk mendapatkan dosis, derajat keasaman,waktu kontak dan variasi konsentrasi logam (Cd) menggunakan metode batch dan isoterm menggunakan metode Freundlich dan Langmuir

Pada dasarnya biomassa yang mengandung selulosa sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai biosorben dan tak terkecuali kandungan kapur sebagai tambahan pada komposisi bambu. Maka dari itu pada penelitian ini mencoba untuk memanfaatkan limbah bambu agar menjadi barang yang bermanfaat sebagai biosorben dan menjadi alternatif pengolahan pencemaran logam berat dari kadmium.

1.2 Rumusan Masalah

Pencemaran logam berat seperti kadmium (Cd^{2+}) pada air sangat berbahaya bagi kesehatan apabila sampai dikonsumssi oleh makhluk hidup. Adanya pengolahan terkait pencemaran tersebut wajib dilakukan. Maka pada penelitian ini pemanfaatan optimalisasi limbah bambu sebagai sampah untuk dijadikan biosorben baik teraktivasi mapun tanpa aktivasi, diharapkan mampu menyerap logam berat kadmium dan menjadi bahan alterntif pengolahan logam berat tersebut.

Melalui latar belakang yang telah ada maka dapat ditarik rumusan masalah sebagai berikut :

1. Berapa kadar Cd di dalam air yang dapat direduksi oleh media bambu ?
2. Bagaimana perbandingan kemampuan penyerapan media bambu murni dengan media bambu yang diaktivasi asam sitrat 1 M?
3. Bagaimana pengaruh massa, pH, waktu kontak, dan konsentrasi adsorben terhadap penyerapan Cd di dalam air ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian meliputi antara lain :

1. Mengetahui kadar Cd di dalam air yang diserap oleh media bambu yang teraktivasi asam sitrat 1 M dan tanpa aktivasi.
2. Mengetahui perbandingan kemampuan penyerapan media bambu tanpa aktivasi dengan media bambu yang diaktivasi asam sitrat 1 M.
3. Mengetahui pengaruh massa, pH, waktu kontak dan konsentrasi adsorben terhadap penurunan kadar logam Cd.

1.4 Batasan masalah

Penelitian ini dibatasi pada penentuan kemampuan media bambu untuk mengadsorbsi Cd di dalam air. Larutan sampel menggunakan larutan logam Cd yang dibuat sendiri (sintetis) serta variasi media bambu murni dan media bambu teraktivasi asam sitrat. Pemodelan adsorpsi menggunakan isoterm yang digunakan adalah Langmuir dan Freundlich.

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah mendapatkan adsorben dari bahan alami yang mengandung karbon tinggi di Indonesia yakni bambu dan mengetahui efektivitas penyerapan logam Kadmium (Cd) dari proses Adsorpsi menggunakan media bambu teraktivasi asam sitrat 1M dan tanpa aktivasi. Serta melihat pengaruh massa adsorben, kondisi pH, waktu kontak dan variasi konsentrasi dalam penyerapan logam Kadmium (Cd). Kemudian agar dapat memberikan masukan dalam pengembangan teknologi dan penelitian mengenai adsorben media bambu untuk penyerapan logam Kadmium (Cd).

ISLAM
UNIVERSITAS
INDONESIA

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Adsorpsi

Adsorpsi secara umum adalah proses penggumpalan substansi terlarut yang ada dalam larutan oleh permukaan benda atau zat penyerap yang membuat masuknya bahan yang mengumpul dalam suatu zat padat. Keduanya sering muncul bersamaan dengan suatu proses maka ada yang menyebutnya sorpsi (Giyatmi, 2008). Pada Adsorpsi ada yang disebut Adsorben dan Adsorbat. Adsorben adalah zat penyerap, sedangkan adsrobat adalah zat yang diserap.

Adsorben merupakan zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida (Saragih, 2008). Kebanyakan adsorben adalah bahan-bahan yang sangat berpori dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding pori-pori atau pada letak-letak tertentu di dalam partikel itu. Oleh karena pori-pori biasanya sangat kecil maka luas permukaan dalam menjadi beberapa orde besaran lebih besar dari pada permukaan luar dan bisa mencapai 2000 m^2/g. Pemisahan terjadi karena perbedaan bobot molekul atau karena perbedaan polaritas yang menyebabkan sebagian molekul melekat pada permukaan tersebut lebih erat daripada molekul lainnya. Adsorben yang digunakan secara komersial dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu kelompok polar dan non polar (Saragih, 2008).

Adsorpsi terbagi dalam dua jenis yaitu adsorpsi fisika dan kimia. Faktor yang berpengaruh terhadap adsorpsi adalah dosis adsorban, luas permukaan, pH, waktu kontak, kelarutan adsorbat, ukuran molekul adsorbat, pH, dan temperatur.

a. Proses Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses dimana molekul-molekul fluida menyentuh dan melakat pada permukaan padatan. Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi saat molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan sesuatu permukaan padatan dan sebagian dari molekul-molekul tadi mengembun pada permukaan padatan dan sebagian dari molekul-molekul tadi mengembun pada permukaan padatan tersebut. Adsorpsi adalah serangkaian proses yang terdiri atas reaksi-reaksi permukaan zat padat (adsorben) dengan zat pencemar (adsorbat), baik pada fase zair maupun gas.Sebab adsorpsi adalah fenomena permukaan, maka kapasitas adsorpsi dari suatu adsorben merupakan fungsi luas permukaan spesifik.

Adsorpsi akan terkonsentrasi pada tapak permukaan yang memiliki energi lebih tinggi. Aktivasi adsorben akan menaikkan energi pada permukaannya sehingga dapat meningkatkan tarikan terhadap molekul adsorbat.

Adsorben yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah adsorben yang dihasilkan dari pemanfaatan media bambu yang tidak di pakai lagi sebagai bahan baku untuk membuat adsorben.

2.2 Jenis Adsorpsi

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

1. Adsorpsi fisika terjadi bila gaya intermolekular lebih besar dari gaya tarik antar molekul atau gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Gaya ini disebut gaya van der 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 (Mu'jizah, 2010).

2. Adsorpsi kimia terjadi karena adanya pertukaran atau pemakaian bersama elektron antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben sehingga terjadi reaksi kimia. Ikatan yang terbentuk antara adsorbat dengan adsorben adalah ikatan kimia dan ikatan itu lebih kuat daripada adsorpsi fisika. Adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia dibedakan berdasarkan kriteria. (Mu'jizah, 2010).

b. Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Banyak faktor yang mempengaruhi laju proses adsorpsi dan banyaknya adsorbat yang dapat dijerap, di antaranya :

- ✓ Karakteristik Adsorben

  Karakteristik adsorben yang mempengaruhi laju adsorpsi adalah ukuran dan luas permukaan partikel. Semakin kecil adsorben maka laju adsorpsi akan semakin cepat, sementara semakin luas permukaan adsorben maka jumlah partikel adsorbat yang diserap akan semakin banyak.

- ✓ Agitasi

  Agitasi yang dimaksud adalah keadaan bergolak atau bisa disebut turbulen. Laju proses adsorpsi dikendalikan oleh difusi lapisan dan difusi pori,dan keadaan tergantung pada keadaan larutan, tenang atau bergolak/turbulen.

- ✓ Ukuran Pori Adsorben

  Ukuran pori merupakan salah satu faktor penting dalam proses adsorpsi, karena partikel adsorben harus masuk ke dalam pori adsorben. Proses adsorpsi akan lancar apabila ukuran pori dari adsorben cukup besar untuk dapat memasukan adsorbat ke dalam pori adsorben. Kebanyakan air limbah mengandung berbagai ukuran partikel adsorbat. Keadaan ini dapat merugikan, karena partikel yang lebih besar akan menghalangi partikel kecil untuk dapat masuk ke dalam pori adsorben.

- ✓ pH

  pH memiliki pengaruh yang besar terhadap tingkat proses adsorpsi. Ini disebabkan karena ion hidrogen dapat menjerap dengan kuat, selain itu pH juga dapat mempegaruhi ionisasi. Senyawa organik asam lebih

diabsorpsi dalam suasana pH rendah, sedangkan senyawa organik basa lebih bisa diadsorpsi pada suasana pH tinggi.Nilai optimum pH bisa ditentukan dengan melakukan pengujian di laboratorium.

- ✓ 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 menyerap, sedangkan ada beberapa senyawa yang sangat larut namun dapat diserap dengan mudah.

- ✓ Waktu Kontak

  Waktu kontak mempengaruhi banyaknya adsorbat yang terserap, ini dikarenakan perbedaan kemampuan mengikat logam Cd , Kondisi eqibrilium akan dicapai pada waktu yang tidak lebih dari 150 menit, setelah waktu itu jumlah adsorbat yang terserap tidak signifikan berubah terhadap waktu.

- ✓ Temperatur

  Temperatur dapat mempengaruhi laju adsorpsi dan tingkat terjadinya adsorpsi. Laju adsorpsi akan meningkat dengan meningkatnya temperatur, begitu pula sebaliknya. Bagaimanapun karena proses adsorpsi merupakan proses eksotermik, maka derajat adsorpsi akan meningkat saat temperatur rendah dan turun pada temperatur tinggi.

2.3 Metode Adsorpsi

Metode adsorpsi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu statis (batch) dan dinarnis (kolom).

1) Cara statis yaitu ke dalam wadah yang berisi sorben dimasukkan larutan yang mengandung komponen yang diinginkan. Selanjutnya diaduk dalam waktu tertentu. Kemudian dipisahkan dengan cara penyaringan atau dekantasi. Komponen yang telah terikat pada sorben dilepaskan kembali dengan melarutkan adsorben dalam pelarut tertentu dan volumenya lebih kecil dan volume larutan mula-mula.

2) Cara dinarnis (kolom) yaitu ke dalam kolom yang telah diisi dengan sorben dilewatkan larutan yang mengandung komponen tertentu selanjutnya komponen yang telah terserap dilepaskan kembali dengan mengalirkan pelarut (efluen) sesuai yang volumenya lebih kecil (Apriliani, 2010).

2.4 Proses Biosorpsi

Biosorpsi merupakan suatu proses penyerapan komponen tertentu dari suatu fase fluida dengan menggunakan substrat organik. Biosorpsi dapat didefinisikan sebagai penyisihan ion logam dengan cara adsorpsi pasif atau kompleksasi oleh biomassa hidup atau sampah organik. Biosorpsi merupakan kemampuan material biologi untuk mengakumulasikan logam berat. Proses biosorpsi ini dapat terjadi karena adanya material biologi yang disebut biosorben dan adanya larutan yang mengandung logam berat sehingga mudah terikat pada biosorben (Putra, 2005).

Mikroorganisme, termasuk ganggang,bakteri, ragi, jamur, dan daun tumbuhan serta jaringan akan dapat digunakan sebagai biosorben untuk menghilangkan logam berat dari hasil buangan industry (Pavasant et al. 2005).

2.5 Aktivasi Adsorben

Adsorben adalah materi yang mampu mengadsorpi/melakukan penjerapan. Salah satu adsorben yang banyak dipakai adalah karbon aktif/activated carbon. Karbon aktif yang umum dipakai bisa dalam bentuk granul (*GAC, Granular Activated Carbon*) atau bubuk (PAC, *Powdered Activated Carbon*). Karbon aktif secara umum digunakan sebagai adsorben karena memiliki banyak pori, yang membuat luas permukaan karbon aktif semakin besar.

Adsorben dapat digolongkan menjadi dua berdasarkan adsorbat yang dijerap, yaitu polar dan non-polar. Adsorben polar adalah adsorben hidrofilik, adsorben ini dapat menyerap air. Contoh dari adsorben ini adalah silica gel yang biasa digunakan untuk menyerap uap air di rak sepatu. Adsorben non polar adalah

adsorben hidrofobik, adsorben ini akan menyerap adsorbat selain air. Contoh dari adsorben non-polar adalah karbon aktif.

Aktivasi fisika merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas, uap dan CO_2 (Mu'jijah, 2010). Metode aktivasi secara fisika antara lain dengan menggunakan uap air, gas karbon dioksida, oksigen, dan nitrogen. Gas-gas tersebut berfungsi untuk mengembangkan struktur rongga yang ada pada arang sehingga memperluas permukaannya, menghilangkan konstituen yang mudah menguap dan membuang produksi tar atau hidrokarbon- hidrokarbon pengotor pada arang. Kenaikan temperatur aktivasi pada kisaran 450°C-700 °C dapat meningkatkan luas permukaan spesifik dari karbon aktif (Mu'jijah, 2010).

Aktivasi kimia merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia (Mu'jijah, 2010). Aktivasi secara kimia biasanya menggunakan bahan-bahan pengaktif seperti garam kalsium klorida ($CaCl_2$), magnesium klorida ($MgCl_2$), seng klorida ($ZnCl_2$), natrium hidroksida (NaOH), natrium karbonat (Na_2CO_3) dan natrium klorida (NaCl). Bahan-bahan pengaktif tersebut berfungsi untuk mendegradasi atau penghidrasi molekul organik selama proses karbonisasi, membatasi pembentukan tar, membantu dekomposisi senyawa organik pada aktivasi berikutnya, dehidrasi air yang terjebak dalam rongga-rongga karbon, membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan saat proses karbonisasi dan melindungi permukaan karbon sehingga kemungkinan terjadinya oksidasi dapat dikurangi (Mu'jijah, 2010).

Kemampuan dari suatu adsorben dalam menyerap zat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

1. Luas permukaan adsorben. Semakin besar luas permukaan maka semakin besar pula daya adsorpsinya karena proses adsorpsi terjadi pada permukaan adsorben.
2. Tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi

3. Kemurnian adsorben.
4. Jenis/gugus fungsi atom yang ada pada permukaan adsorben.

2.6 Bambu Sebagai Bahan Media Adsorben

Bambu merupakan tanaman yang tidak asing lagi bagi masyarakat Indonesia. Tanaman ini sudah menyebar diseluruh kawasan nusantara. Dalam pertumbuhannya tanaman ini tidak terlalu banyak menuntut persyaratan. Bambu dapat tumbuh di daerah iklim basah sampai kering, dari dataran rendah hingga ke daerah pegunungan. Tidak heran jika keberadaannya banyak dijumpai diberbagai tempat, baik sengaja ditumbuhkan maupun tumbuh secara alami. Tanaman ini termasuk dalam orde *Graminales*, famili *gramineae*, dan subfamili Bambusoideae (Berlian, 1995).

Tanaman bambu banyak ditemukan di daerah tropis dibenua Asia, Afrika, dan Amerika. Benua Asia merupakan daerah penyebaran bambu terbesar. Tanaman bambu yang kita kenal umumnya berbentuk rumpun. Arah pertumbuhan biasanya tegak, kadang-kadang memanjat, dan batangnya mengayu. Jika sudah tinggi, batang bambu ujungnya agak menjuntai dan daun-daunnya seakan melambai. Tinggi tanaman bambu pada umumnya sekitar 0,3 m sampai 30 m, diameter batangnya 0,25 – 25 cm dan ketebalan dindingnya sampai 25 mm. Tanaman ini dapat mencapai umur panjang dan biasanya mati tanpa berbunga (McClure, 1996).

Secara biofisik, pohon bambu menghasilkan selulosa per ha 2–6 kali lebih besar dari pohon kayu pinus. Peningkatan biomassa bambu per hari 10 – 30% dibanding 2,5% untuk pohon kayu pinus. Bambu dapat dipanen dalam 4 tahun, lebih singkat dibanding 8-20 tahun untuk jenis pohon kayu pinus.

Tabel 2.1 Persentase komponen yang terkandung dalam batang bambu

Komponen	Kandungan %
Selulosa	42,4 - 53,6
Lignin	19,8 - 26,6
Pentosan	1,24 - 3,77
Zat ekstraktif	4,5 - 9,9
Air	15 - 20
Abu	1,24 - 3,77
SiO_2	0,10 - 1,78

(Widya,2006)

Kandungan terbesar dalam batang bambu adalah selulosa. Selulosa adalah polisakarida yang tersusun dari monomer D-glukosa yang mempunyai tiga gugus hidroksil yang dapat disubstitusi. Ditinjau dari strukturnya,dapat saja diharapkan selulosa mempunyai kelarutan yang besar dalam air,karena banyaknya kandungan gugus hidroksil yang dapat membentuk ikatan hydrogen dengan air (interaksi yang tinggi antara pelarut-terlarut). Akan tetapi kenyataannya tidak demikian dan selulosa bukan hanya tak larut dalam air tetapi juga dalam pelarut lain. Penyebabnya ialah kekuatan rantai dan tingginya gaya antar garis rantai akibat ikatan hidrogen antar gugus hidroksil pada rantai yang berikatan. Faktor ini dipandang menjadi penyebab kekristalan yang tinggi dari serat selulosa. Jika ikatan hydrogen berkurang,gaya antaraksi pun berkurang dan oleh karenanya gugus hidroksil selulosa harus diganti sebagian atau seluruhnya oleh pengesteran. Hal ini dapat dilakukan,dan ester yang dihasilkan larut dalam sejumlah pelarut (Widya, 2006).

Tanaman bambu sudah menyebar ke berbagai daerah di Indonesia.Sebutan untuk tanaman ini berbeda-beda disetiap daerah.Adapun secara internasional bambu dikenal dengan sebutan bamboo. Di Indonesia terdapat lebih kurang 125 jenis bambu. Salah satu jenis bambu yang banyak tersebar di wilayah Indonesia adalah bambu betung.

✓ Bambu Betung

Bambu betung (*dendrocalammus*) memiliki sifat yang keras dan baik untuk bahan bangunan karena seratnya besar-besar dan ruasnya panjang. Jenis bambu ini mempunyai rumpun yang agak sedikit rapat. Warna batang hijau kekuning-kuningan. Ukurannya lebih besar dan lebih tinggi dari pada jenis bambu lain. Perbanyakan bambu betung dilakukan dengan potongan batang atau cabangnya. Jenis bambu ini mempunyai pertumbuhan yang cepat, mudah diperbanyak, dan dapat tumbuh baik ditempat yang cukup kering. Tanaman ini dapat ditemui di dataran rendah sampai ketinggian 2.000 m dpl (Berlian, 1995).

Bambu betung adalah bambu yang kuat,tingginya bisa mencapai 20 – 30 m dan diameter batang 8 – 20 cm. Ruas bambu betung cukup panjang dan tebal, panjangnya antara 40 – 60 cm dan ketebalan dindingnya 1 – 1,5 cm. Bambu betung bisa dipanen pada umur 3 – 4 tahun dengan produksi sekitar 8 ton/ha. Kerapatan serat bambu betung adalah 0,8 g/cm3 . Pada bambu betung, kecepatan munculnya tunas baru dan pertumbuhan akar serta tajuk relative lebih cepat pada penanaman horizontal.Namun demikian pertumbuhan akar dan tajuk dari penanaman vertikal jauh lebih baik dari penanaman horizontal.

Bambu betung memiliki keunggulan bila dibandingkan dengan jenis bambu lain.Hal ini dapat dilihat dari kandungan holoselulosa (selulosa dan hemiselulosa) yang terdapat didalamnya.



Gambar 2.2 Bambu Betung

Tabel 2.2 Kandungan selulosa yang terdapat pada beberapa jenis bambu

Jenis Bambu	Selulosa (%)
Tali	73,3
Hitam	76,2
Kuning	83,8
Andong	76,0
Betung	83,9
Ampel	3,7

(Widya,2006)

Kadar selulosa (selulosa dan hemiselulosa) pada keenam jenis bambu pada table di atas relatif tinggi (> 65%), sehingga diduga akan menghasilkan papan partikel dengan kualitas baik. Dari keenam jenis bambu,bambu betung memiliki kadar selulosa tertinggi atau terbaik.Dengan demikian bambu betung diperkirakan dapat menghasilkan papan partikel dengan kualitas yang relatif lebih baik dan rendemen yang relatif lebih tinggi dibandingkan lima jenis bambu lainnya (Widya, 2006).

2.7 Logam Kadmium (Cd^{2+})

Menurut Palar (1994) kadmium (Cd) memiliki karakteristik berwarna putih keperakan seperti logam aluminium, tahan panas, tahan terhadap korosi. Kadmium (Cd) digunakan untuk elektrolisis, bahan pigmen untuk industri cat, enamel, dan plastic. Kadmium (Cd) merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena elemen ini beresiko tinggi terhadap pembuluh darah. Kadmium berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal. Logam kadmium (Cd) mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam.

Kadmium akan mempengaruhi otot polos, pembuluh darah secara langsung maupun tidak langsung melalui ginjal. Kasus keracunan kadmium ditemukan di kota Togama Jepang yang dikenal dengan penyakit itai-itai atau

aduh-aduh ketika bergerak (Sumirat, 2003). Kadmium juga dapat menyebabkan impotensi pada manusia dan merupakan penyebab kanker karena bersifat karsinogenik. Telah banyak ditemukan beberapa macam kanker yang terjadi pada manusia disebabkan oleh makanan dan minuman mereka yang mengandung logam berat, karena jika enzim bergabung dengan logam berat terutama enzim yang mengandung sulfur maka enzim tersebut berubah sifat menjadi penyebab kanker. Terhadap hewan misalnya ikan mas, akan mengalami kematian dalam waktu 96 jam jika dalam media hidupnya terkontaminasi logam Cd dengan rentang konsentrasi 1,092-1,104 ppm. Sedangkan bila tumbuhan yang terkontaminasi logam Cd, akan mengakibatkan terhambatnya peristiwa penyerapan partikulat-partikulat yang sangat dibutuhkan oleh klorofil atau zat hijau daun dari tumbuhan (Palar, 1994).

Daya racun yang dimiliki logam Cd mempunyai konsentrasi berkisar antara 0,015-55 mg/L dan akan memperlihatkan sifat antagonis bila bertemu dengan logam-logam tertentu. Sifat antagonis adalah peristiwa di mana terjadi penurunan daya racun yang dimiliki oleh logam-logam beracun bila logam tersebut berkaitan dengan logam-logam lainnya. Logam Cd akan memperlihatkan sifat antagonisnya bila berikatan dengan logam Zn, Cu, dan Fe (Priyatno, 2007).

2.8 Metode Batch

Studi adsorpsi menggunakan sistem batch dilakukan dalam sejumlah gelas erlenmeyer yang berisi larutan yang mengandung zat tertentu yang akan diadsorpsi pada konsentrasi dan volume tertentu.Pada tiap-tiap tabung dibubuhkan sejumlah adsorben dengan berat yang bervariasi. Selanjutnya larutan dan adsorben dalam tabung tersebut dikocok dalam waktu tertentu dan setelah itu konsentrasi larutan dianalisa. Selisih konsentrasi adsorbat sebelum dan setelah adsorpsi dianggap sebagai konsentrasi adsorbat yang teradsorpsi oleh adsorben. Besarnya adsorbat yang teradsorpsi oleh tiap satuan berat adsorben dapat dihitung dari tiap gelas erlenmeyer.

2.9 Isoterm Langmuir

Model Langmuir mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (monolayer) adsorbat di permukaan adsorben. Persamaan isoterm Langmuir:

$$\frac{Ce}{qe} = \frac{1}{qm} Ce + \frac{1}{Kl.qm} \qquad (1)$$

Dimana :

- ✓ Ce = Konsentrasi Equilibrium (mg/l)
- ✓ qe = Nilai Adsorpsi logam saat Equilibrium (mg/g)
- ✓ qm = Nilai Serapan maksimum
- ✓ K_L = Nilai konstanta Langmuir

Isoterm Langmuir ini berdasar dengan asumsi bahwa adsrobent yang diuji memiliki sifat :

- ✓ Adsorben mempunyai permukaan yang homogen dan hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat untuk setiap molekul adsorbennya. Tidak ada interaksi antara molekul-molekul yang terserap.
- ✓ Semua proses adsorpsi dilakukan dengan mekanisme yang sama.

Hanya terbentuk satu lapisan tunggal saat adsorpsi maksimum.

2.10 Isoterm Freundlich

Isoterm Freundlich digunakan jika diasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (multilayer) dan site bersifat heterogen, yaitu adanya perbedaan energi pengikatan pada tiap-tiap site. Persamaan isoterm Freudlich:

$$x/m = K.Ce^{1/n}$$

$$\ln (x/m) = \ln K + 1/n \ln C$$

Dimana: x/m = Jumlah zat teradsopsi tiap unit massa absorben (mg/g)

Ce = Konsentrasi kesetimbangan zat teradsopsi di fase cair

K = konstanta Freundlich yang berkaitan dengan kapasitas

1/n = Konstanta Freundlich yang berkaitan dengan afinitas adsorpsi

2.11 Fourier Transform Infrared (FTIR)

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) atau spektoskopi infra merah merupakan suatu metode yang mengamati menganalisa komposisi kimia dari senyawa-senyawa organik, polimer, coating atau pelapisan, material semikonduktor, sampel biologi, senyawa-senyawa anorganik, dan mineral dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang 0,75 – 1.000 µm atau pada Bilangan Gelombang 13.000 – 10 cm^{-1}. Teknik spektroskopi infra merah terutama untuk mengetahui gugus fungsional suatu senyawa, juga untuk mengidentifikasi senyawa, menentukan struktur molekul, mengetahui kemurnian, dan mempelajari reaksi yang sedang berjalan (Benny . 2012).



Gambar 2.3 Alat FTIR

2.12 Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM (*Scanning Electron Microscope*) merk *Phenom world* adalah salah satu jenis mikroscop electron yang menggunakan berkas electron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Prinsip kerja

dari SEM ini adalah dengan menggambarkan permukaan benda atau material dengan berkas electron yang dipantulkan dengan energy tinggi. Permukaan material yang disinari atau terkena berkar electron akan memantulkan kembali berkas electron atau dinamakan berkas electron sekunder ke segala arah. Tetapi dari semua berkas electron yang dipantulkan terdapat satu berkas electron yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detector yang terdapat di dalam SEM akan mendeteksi berkas electron berintensitas tertinggi yang dipantulkan oleh benda atau material yang dianalisis. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1 – 0,2 nm.



Gambar 2.4 Alat SEM

2.13 Atomic Absorbsion Spectrophotometry (AAS)

Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) *merk GBC* adalah suatu alat yang digunakan pada metode analisis untuk penentuan unsur-unsur logam dan metaloid yang berdasarkan pada penyerapan absorbsi radiasi oleh atom bebas. Spektrofotometer serapan atom (AAS) merupakan teknik analisis kuantitafif dari unsur-unsur yang pemakaiannya sangat luas di berbagai bidang karena prosedurnya selektif, spesifik, biaya analisisnya relatif murah, sensitivitasnya tinggi (ppm-ppb), dapat dengan mudah membuat matriks yang sesuai dengan standar, waktu analisis sangat cepat dan mudah dilakukan. AAS pada umumnya digunakan untuk analisa unsur, spektrofotometer absorpsi atom juga dikenal

sistem single beam dan double beam layaknya Spektrofotometer UV-VIS. Sebelumnya dikenal fotometer nyala yang hanya dapat menganalisis unsur yang dapat memancarkan sinar terutama unsur golongan IA dan IIA. Umumnya lampu yang digunakan adalah lampu katoda cekung yang mana penggunaanya hanya untuk analisis satu unsur saja.

Metode AAS berprinsip pada absorbsi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya. Metode serapan atom hanya tergantung pada perbandingan dan tidak bergantung pada temperatur. Setiap alat AAS terdiri atas tiga komponen yaitu unit teratomisasi, sumber radiasi, sistem pengukur fotometerik. Teknik AAS menjadi alat yang canggih dalam analisis. Ini disebabkan karena sebelum pengukuran tidak selalu memerlukan pemisahan unsur yang ditentukan karena kemungkinan penentuan satu unsur dengan kehadiran unsur lain dapat dilakukan, asalkan katoda berongga yang diperlukan tersedia. AAS dapat digunakan untuk mengukur logam sebanyak 61 logam.



Gambar 2.5 Alat AAS

2.14 Penelitian Sebelumnya

Adapun penelitian sebelumnya terkait penyerapan logam Cd^{2+} oleh bambu belum didapatkan. Namun pendektan penelitian tersebut bisa dilihat pada Tabel 2.3 dan hasil perbandingannya dengan penelitian bambu ini.

Tabel 2.3 Penelitian Terkait Penyerapan Logam Cd^{2+}

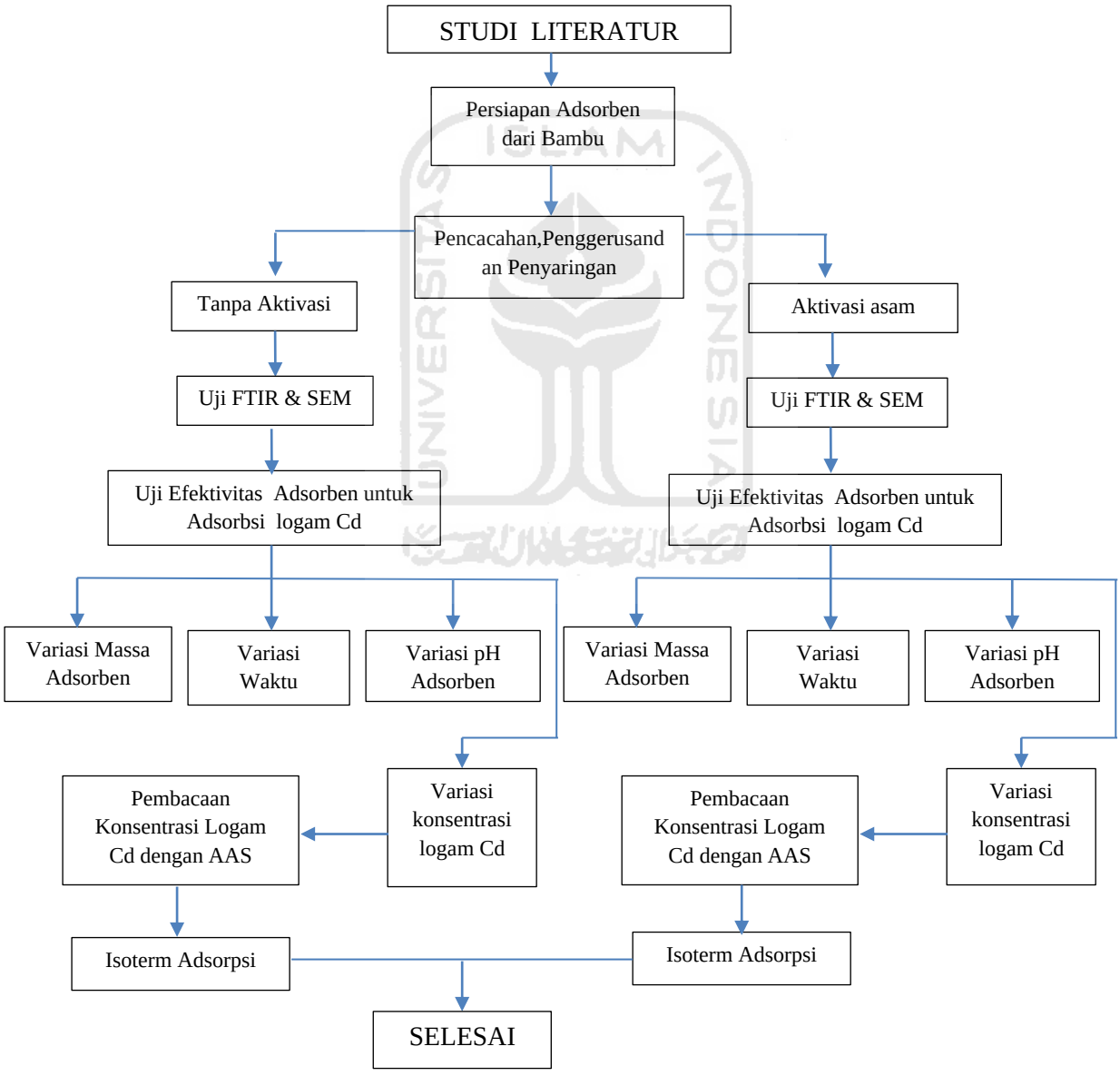
Jenis Adsorben	**Ringkasan Penelitian**	**Referensi**
Serbuk Kayu Meranti Merah *(Shorea parvifolia Dyer)*	a. Aktivasi dengan tolena dan etanol (1:1) b. Metode Batch c. Massa 50 gr d. Waktu optimum penyerapan larutan Cd^{2+} 120 menit sebanyak 4,3270 mg/g (tanpa aktivasi), dan 100 menit sebanyak 4,3381 mg/g (teraktivasi) dari 10 – 160 menit e. Uji pH 3-6. pH optimum 5. Diserap sebanyak 1,6188 mg/g (tidak teraktivasi), 1,1079 mg/g (teraktivasi) f. Variasi Konsentrasi 50 – 300 ppm. g. Kapasitas maksimum adsorbsi kayu meranti merah (Aktivasi) sebanyak 2,183 mg/g, dan 2,4631 mg/g untuk kayu meranti merah (Tanpa Aktivasi)	Nafie .dkk (2012)
Serbuk Kayu Pinus *halepensis*	a. Metode Batch b. pH 1-13. Optimum pada pH 9 dengan penyerapan >99% dari 5 ppm Cd^{2+} dengan 20 gr adsorben. Waktu pengadukan 30 menit. c. Konsentrasi Cd^{2+} 1 – 50 ppm. pH 9. Waktu kontak 30 menit. Maksimum penyerapan 5,36 mg/g d. Model adsorption lebih kepada Freundlich dengan nilai Kf 2,213 dan Nf 4,194. e. Pada Isoterm Langmuir diketahui kemampuan adsorbsinya 7,35 mg/g	Semerjian (2010)
Jerami Padi	a. Metode Batch b. Aktivasi dengan HNO_3 c. Waktu pengadukan 60 menit dengan massa 0,1 gr d. pH optimum terjadi pada pH 6 dari pH 1 – 9 e. Penyerapan sebanyak di atas 70% dari 25 ppm larutan Cd^{2+}	Fatoni .(2010)

ISLAM
UNIVERSITAS
INDONESIA

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Secara umum penelitian akan dilakukan dengan pemanfaatan limbah media Bambu yang akan digunakan sebagai adsorben dengan diagram alir keseluruhan pada Gambar 3.1 :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Secara Keseluruhan

3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian ini terdiri dari dua tahap yaitu metode pengumpulan data dan pengolahan data :

Metode pengumpulan data didapat dari pengujian laboratorium yaitu dengan pengujian optimasi massa adsorben, optimasi derajat keasaman (pH), waktu kontak dan konsentrasi logam optimum.

Metode pengolahan data di dapat dengan dilakukan penentuan isoterm menggunakan isoterm Freundlich dan Langmuir.

3.3 Lokasi Penelitian

Lokasi pengambilan sampel media bambu yaitu di perumahan Griya Perwita Wisata,Kaliurang Km 12, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pengujian sampel ini akan dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

3.4 Variabel

Variabel penelitian ini meliputi variabel tetap dan variabel bebas, yaitu:

1. Variabel tetap:
   - Adsorben Media Bambu
   - Aktivasi dengan asam sitrat 1M
   - Pengadukan 150 rpm
2. Variabel bebas:
   - Dosis adsorben : 50 mg,100 mg,200 mg,400 mg, dan 500 mg
   - Waktu Kontak : 15, 30, 45, 60, 90, 120 dan 1440 menit
   - pH : 2, 3, 4, 5 ,6,7,8 dan 9
   - Konsentrasi Cd : 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, 150 Ppm, 200 ppm, 250 ppm dan 300 ppm

3.5 Alat dan Bahan

✓ Alat yang digunakan:

1.	Timbangan Analitik	1 buah
2.	Beaker gelas 500 ml	5 buah
3.	Beaker gelas 1000 ml	5 buah
4.	Beaker gelas 100 ml	5 buah
5.	Spektrofotometer	1 buah
6.	*Magnetic Stirrer*	6 buah
7.	Kaca Arlogi	2 buah
8.	Karet hisap	1 buah
9.	Stopwatch	1 buah
10.	Spatula	2 buah
11.	Kertas saring No. 1	3 lembar
12.	Saringan	1 buah
13.	Sendok	3 buah

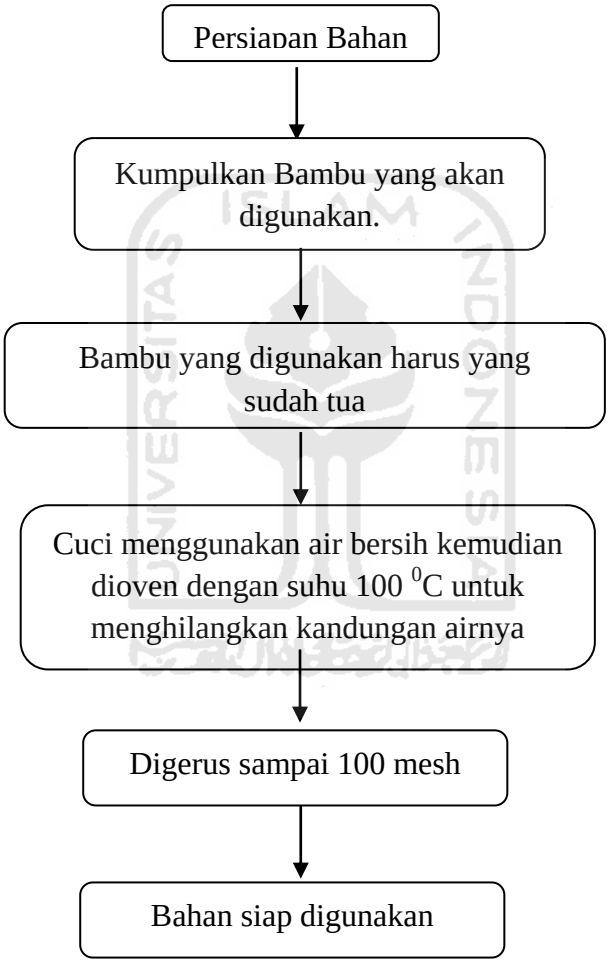
✓ Bahan yang digunakan:

1. Biosorben Media Bambu
2. Asam Sitrat 1M
3. Natrium Hidroksida (NaOH)
4. Larutan induk Timbal (Cd) konsentrasi 1000 ppm.

3.6 Desain Penelitian

3.6.1 Metode Penyiapan Bahan Adsorben

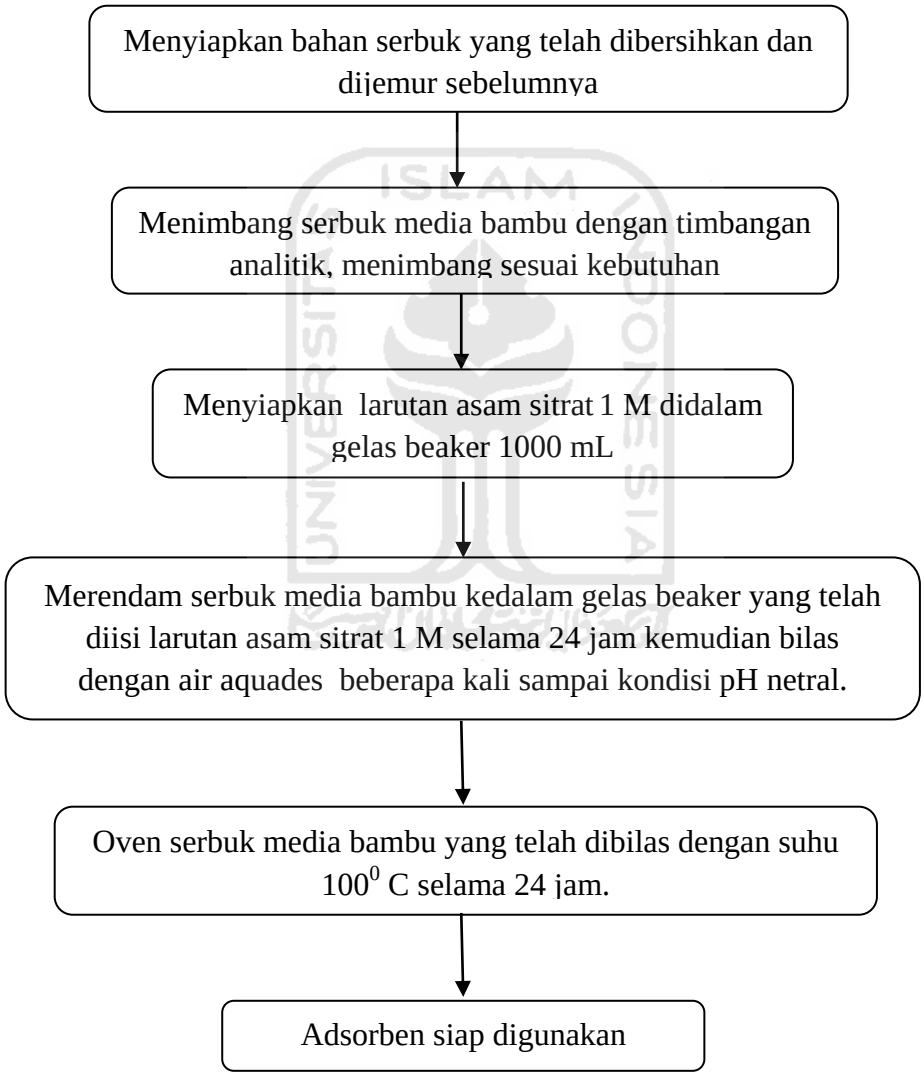
Proses pembuatan adsorben dimulai dari menyiapkan bahan yang akan digunakan, adapun langkah yang perlu dilakukan antara lain adalah :



Gambar 3.3 Metode Penyiapan Bahan

3.6.2 Metode Aktivasi Adsorben Asam Sitrat

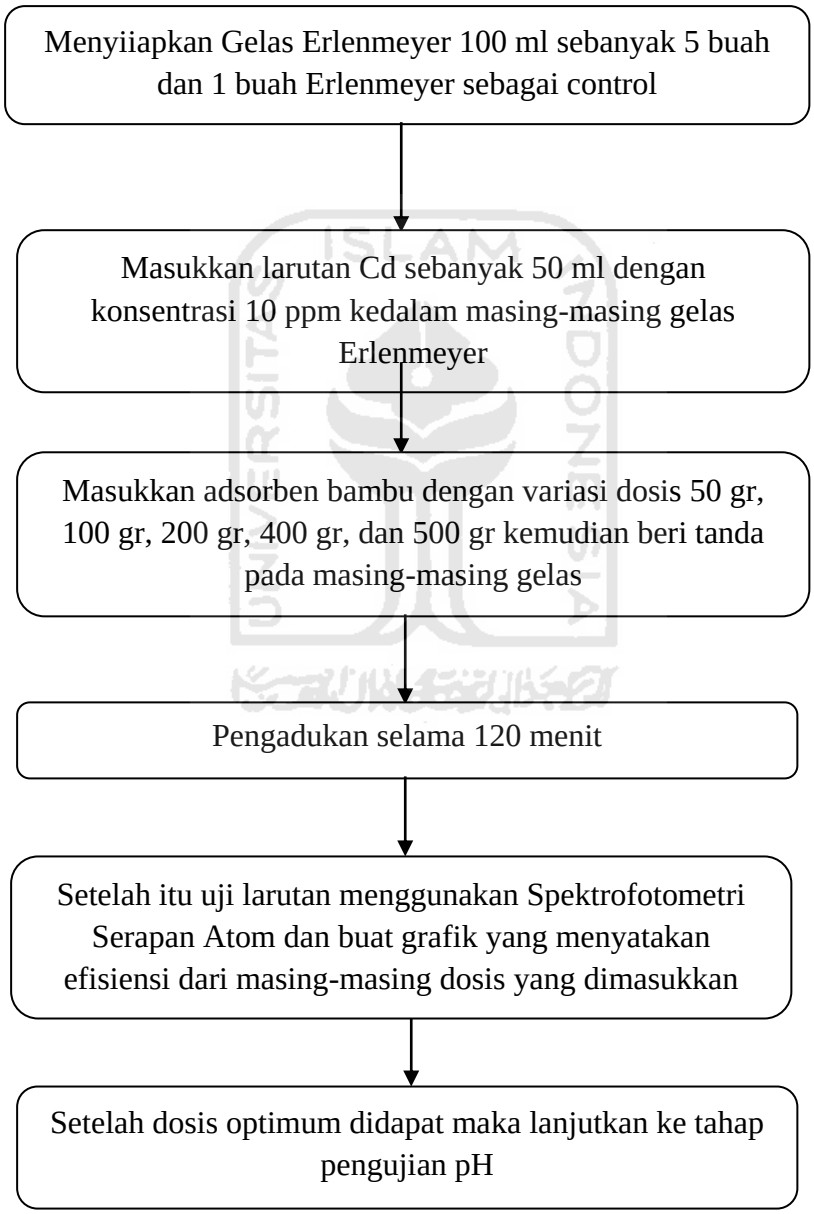
Bahan yang telah disiapkan dapat langsung digunakan untuk membuat adsorbent, jenis asam yang digunakan sebagai aktivator disini digunakan asam sitrat dengan konsentrasi 1 M. Adapun langkah yang dilakukan :



Gambar 3.4 Proses Aktivasi Pada Adsorbent

3.6.3 Menentukan Massa Optimum

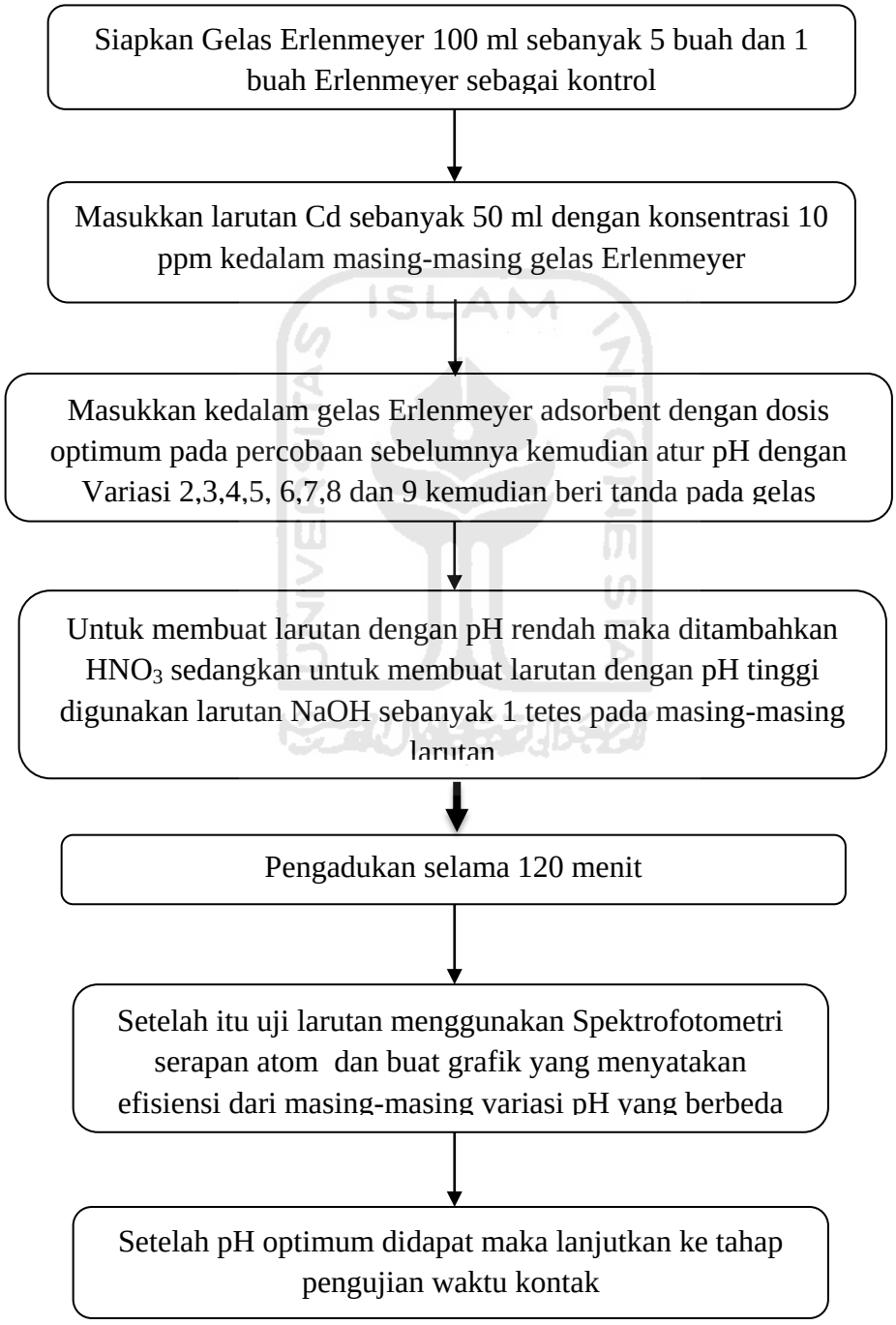
Dalam menentukan dosis optimum adsorben menggunakan kondisi dimana logam Kadmium (Cd) dalam kodisi Equilibrium dengan pH 6, dan waktu kontak 120 menit.Adapun langkah pengujian sebagai berikut :



Gambar 3.5 Metode Pengujian Massa Optimum

3.6.4 Menentukan pH Optimum

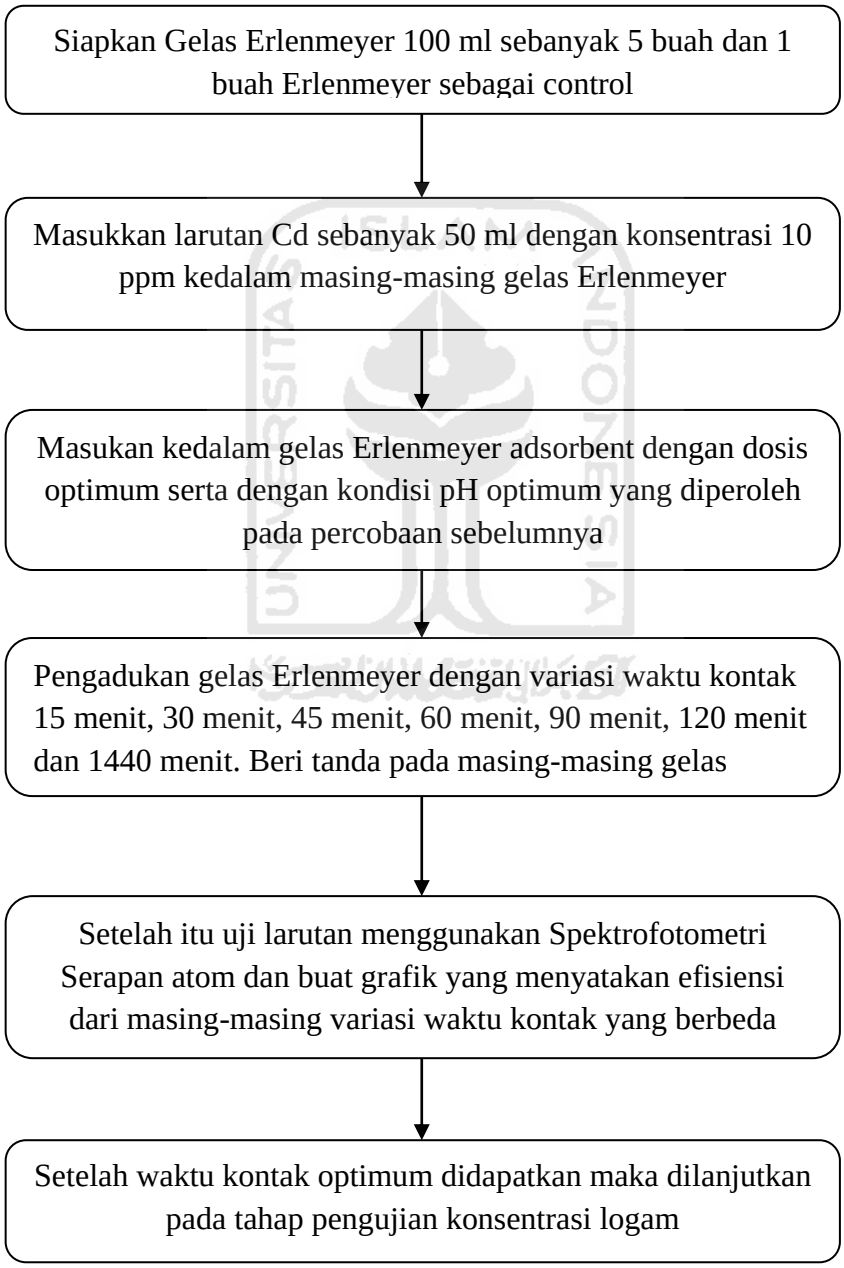
Setelah didapatkan massa adsorbent yang optimum maka data tersebut digunakan untuk menentukan pH optimum seperti pada tahap berikut ini :



Gambar 3.6 Metode Pengujian pH Optimum

3.6.5 Menentukan Waktu Kontak Optimum

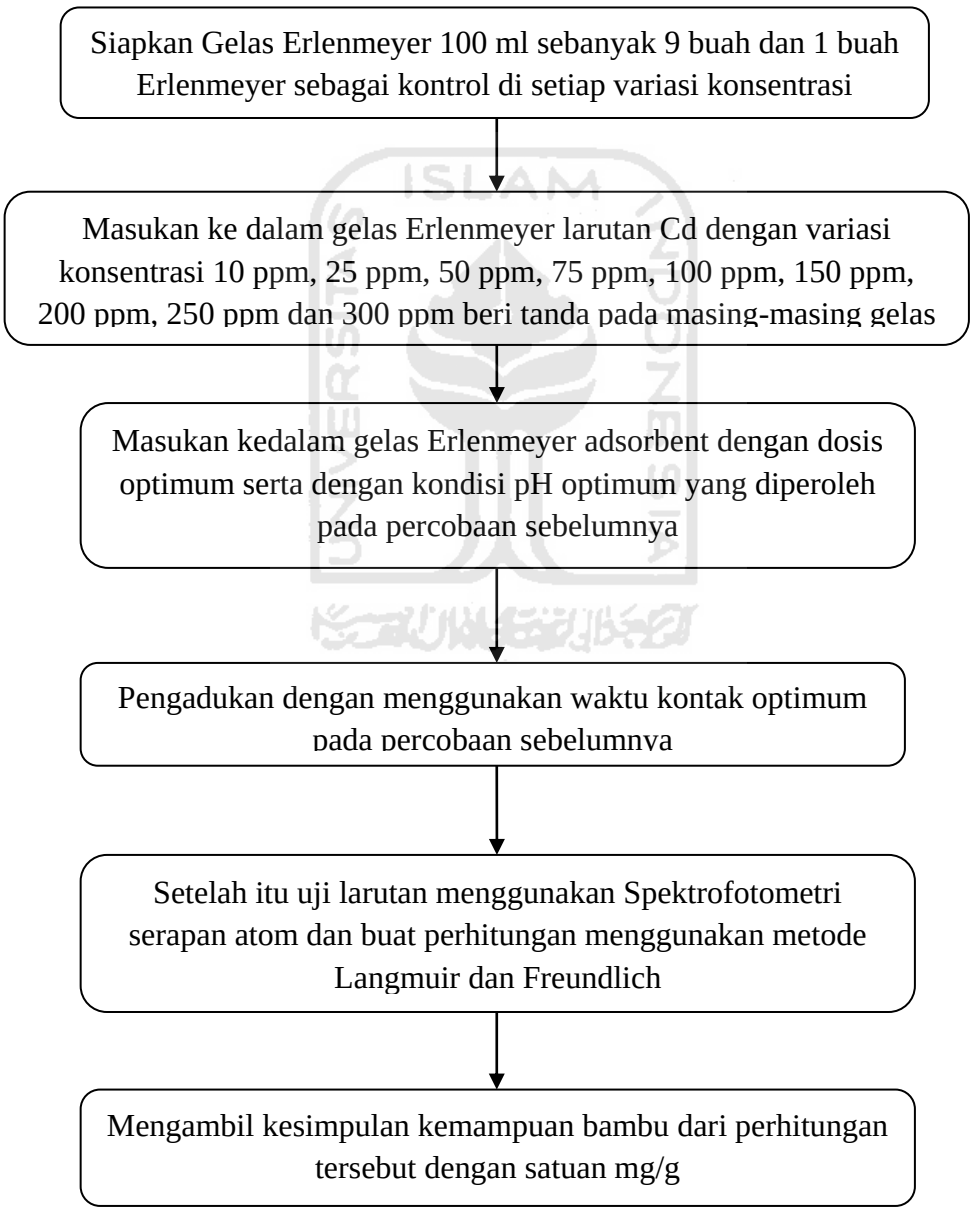
Setelah massa adsorbent optimum serta pH larutan optimum, maka dilanjutkan dengan meneliti waktu kontak optimum larutan dengan adsorbent seperti langkah berikut :



Gambar 3.7 Metode Pengujian Waktu Kontak Optimum

3.6.6 Menentukan Efisiensi Kemampuan Adsorbsi dengan Variasi Konsentrasi Cd

Setelah didapatkan massa, pH dan waktu optimum, maka data dari variasi tersebut digunakan untuk menentukan kemampuan bambu dalam menyerap logam Cd. Langkah kerja pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 3.8 Metode Pengujian Efisiensi Adsorbent

3.7 Metode Analisis Data

Data yang akan diperoleh akan dianalisis menggunakan metode Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich adapun tahapan-tahapan yang digunakan dalam metode tersebut antara lain :

3.7.1 Metode Freundlich

Adsorpsi zat terlarut (dari suatu larutan) pada padatan adsorben merupakan hal yang penting. Pendekatan isoterm adsorpsi yang cukup memuaskan dijelaskan oleh H. Freundlich. Menurut Freundlich, jika *y* adalah berat zat terlarut per gram adsorben dan *c* adalah konsentrasi zat terlarut dalam larutan. Dari konsep tersebut dapat diturunkan persamaan sebagai berikut :

- ✓ $Xm / m = k.C1/n$
- ✓ $Log (Xm / m) = log\ k + 1 /n\ .\ log\ C$

dimana:

Xm = berat zat yang diadsorpsi

m = berat adsorben

C = konsentrasi zat

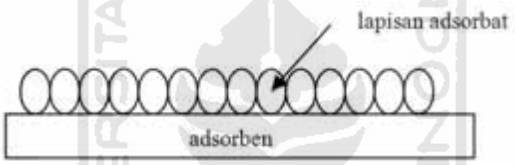
Kemudian *k* dan *n* adalah konstanta asdsorbsi yang nilainya bergantung pada jenis adsorben dan suhu adsorpsi. Bila dibuat kurva log (*Xm* /*m*) terhadap log *C* akan diperoleh persamaan linear dengan intersep log *k* dan kemiringan 1/*n*, sehingga nilai *k* dan *n* dapat dihitung.

3.7.2 Metode Langmuir

Pada tahun 1918, Langmuir menurunkan teori isoterm adsorpsi dengan menggunakan model sederhana berupa padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaannya. Model ini mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum

terjadi akibat adanya lapisan tunggal (*monolayer*) adsorbat di permukaan adsorben. Pendekatan Langmuir meliputi lima asumsi mutlak, yaitu:

- ✓ Gas yang teradsorpsi berkelakuan ideal dalam fasa uap.
- ✓ Gas yang teradsorpsi dibatasi sampai lapisan *monolayer*.
- ✓ Permukaan adsorbat homogen, artinya afinitas setiap kedudukan ikatan untuk molekul gas sama.
- ✓ Tidak ada antaraksi lateral antar molekul adsorbat.
- ✓ Molekul gas yang teradsorpsi terlokalisasi artinya mereka tidak bergerak pada permukaan.



Gambar 3.9 Proses Adsorpsi Pada Persamaan Langmuir

Dimana persamaan Langmuir ditulis sebagai berikut :

$$\frac{Xm}{m} = \frac{a \,.\, C}{1 + b.c} \quad (4)$$

$$\frac{m.c}{Xm} = \frac{1}{a} + \left(\frac{b}{a}\right).C \quad (5)$$

Dengan membuat kurva *m.c* / *Xm* terhadap *C* akan diperoleh persamaan linear dengan intersep 1/*a* dan kemiringan (*b*/*a*), sehingga nilai *a* dan *b* dapat dihitung, dari besar kecilnya nilai *a* dan *b* menunjukkan daya adsorpsi.

3.7.3 Karakterisasi Adsorben

Karakterisasi adsorben menggunkan alat *spektrofotometer Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Gugus fungsi yang akan diidentifikasi dari adsorben menggunakan *spektrofotometer Fourier Transform Infra Red* (FTIR). FTIR akan menunjukan gelombang gugus

fungsi pada adsorben yang digunakan saat penelitian sedangkan untuk mengetahui morfologi dari permukaan adsorben diteliti menggunakan SEM.

3.7.4 Pengukuran dengan Spectrofotometry AAS

Setelah diperoleh adsorbent yang teraktivasi maka langkah berikutnya adalah pengukuran dengan peralatan AAS untuk melakukan analisis ion Cd dalam larutan. Dalam pembacaan AAS ini salah satunya adalah pembuatan larutan ion logam Cd dalam berbagai konsentrasi yaitu konsentrasi 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, 250 ppm, dan 300 ppm. sebanyak 10 buah larutan. Kemudian larutan tersebut masing-masing dianalisis dengan AAS sehingga diperoleh puncak-puncak data. Masing-masing larutan tersebut ditambahkan dengan adsorbent sebanyak nilai dari data dosis optimum dan diaduk dengan *stirer* selama waktu optimum yang telah didapat sebelumnya, kemudian disaring dan filtrat yang diperoleh diukur dengan alat AAS model, hasil pengukuran dalam satuan mg/L (ppm).

3.7.5 Pembuatan Grafik

Setelah dilakukan proses penyiapan bahan baku dengan mengukur larutan ion Cd hasil adsorpsi oleh zeolit maka dilakukan perhitungan dan memplotkan pada grafik dan akan diperoleh puncak-puncak data. Dari gambar grafik tersebut selanjutnya diperoleh garis ekstrapolasi berupa garis lurus dengan persamaan Freundlich dan Langmuir. Persamaan garis dihitung dengan menggunakan program Microsoft Excel sehingga diperoleh persamaan dengan *margin* penyimpangan pada angka tertentu yang dihitung berdasarkan dua persamaan yaitu Freunlich dan Langmuir.

3.8 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian meliputi antara lain :

1. Diduga persentase penyerapan logam Cd dengan menggunakan media bambu cukup tinggi karena memiliki beberapa kandungan gugus fungsi seperti karboksil dan hidroksil yang bisa menyerap logam Cd.
2. Diduga perbandingan kemampuan penyerapan media bambu tanpa aktivasi dengan media bambu aktivasi asam sitrat, cukup baik menggunakan media bambu aktivasi asam sitrat karena memiliki gugus fungsi karboksil dan hidroksil seperti gugus milik selulosa pada bambu yang sama-sama dapat digunakan untuk berinteraksi dengan logam Cd sehingga proses aktivasi dengan asam sitrat akan meningkatkan kemampuan adsorpsi media bambu teraktivasi.
3. Diduga terdapat pengaruh variasi massa,pH,waktu kontak dan konsentrasi logam terhadap adsorpsi Cd dengan menggunakan media bambu.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penjelasan Umum

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah bambu dapat digunakan sebagai bahan baku adsorben serta pengaruh dari perbandingan bambu tanpa aktivasi dengan aktivasi asam sitrat terhadap luas permukaan adsorben yang dihasilkan dan penelitian ini juga akan dijadikan sebuah adsorben untuk menyerap logam berat seperti logam kadmium (Cd) buatan (sintetis), tidak menggunakan air limbah langsung dari perairan, karena air limbah langsung mengandung bermacam – macam logam berat lain yang dapat mengurangi kemampuan adsorben dalam menyerap logam Cd. Konsentrasi Cd yang digunakan pada penentuan massa, pH, dan waktu hanya sebesar 2 ppm untuk menentukan keadaan optimum penyerapan. Metode dalam penelitian ini menggunakan metode Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich serta menggunakan alat *spektrofotometer Fourier Transform Infra Red* (FTIR), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Atomic Absorbsion Spektrophotometri* (AAS). FTIR akan menunjukan gelombang gugus fungsi pada adsorben yang digunakan saat penelitian sedangkan untuk mengetahui morfologi dari permukaan adsorben diteliti dengan menggunakan SEM.

Penelitian ini akan dimulai dari proses penyiapan bahan yang mana bahan adsorben yang berasal dari bambu tidak dapat langsung digunakan bagitu saja sehingga diperlukan untuk dibersihkan terlebih dahulu dari pengotor yang berada pada bambu tersebut. Proses pembersihannya mencakup pencucian hingga dijemur dibawah terik matahari agar mengurangi kadar air. Setelah semua proses tersebut maka bahan adsorbent akan disaring dan akan digunakan dua perlakuan yang berbeda, yang pertama akan dilakukan aktivasi menggunakan asam sitrat dan perlakuan kedua hanya akan dikurangi kadar airnya (dioven) tanpa diaktivasi dengan menggunakan asam sitrat untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada daya serap adsorbent.

Pengujian akan menggunakan volume larutan logam Cd sebesar 50 ml, waktu pengadukan 120 menit, kecepatan pengadukan 150 rpm, derajat keasaman (pH) 6 dan pada suhu ruangan, pengadukan untuk kontak antara adsorben dengan larutan logam Cd menggunakan alat magnetic stirer, setelah proses diperlakukan dengan massa, kondisi pH dan waktu berdasarkan variabel yang sudah ditentukan.

Pada tahap akhir dari penelitian ini, hasil penelitian dari variabel massa optimum adsorbent, pH optimum, waktu kontak optimum dengan kondisi suhu ruangan 25^0C akan digunakan sebagai kondisi saat melakukan percobaan dengan variasi konsentrasi dari konsentrasi rendah ke konsentrasi tinggi untuk mengetahui nilai kemampuan penyerapan maksimum yang bisa dilakukan oleh adsorbent.

4.2 Persiapan Adsorben Bambu

Pada tahap persiapan bahan adsorben yang berasal dari bambu,dimulai pembersihan bambu dengan pencucian menggunakan air biasa dahulu, pencucian dilakukan dengan cara direndam dan mengusap di bagian bambu menggunakan kain baju yang sudah tidak terpakai lagi untuk membuat bambu terkena air secara merata.



Gambar 4.1 Proses Pencucian Bambu

Setelah proses pencucian bambu,maka proses selanjutnya adalah penjemuran bambu dibawah sinar matahari selama kurang lebih 3 hari agar mempermudah proses penyerutan bambu dan penghalusan bambu (blender).



Gambar 4.2 Bambu Telah Dijemur 3 Hari

Setelah bambu selesai dijemur, selanjutnya adalah proses penyerutan hal ini dikarenakan semakin kecil ukuran bambu maka semakin besar luas permukaan bambunya.Setelah penyerutan bambu, proses selanjutnya dehidrasi,dehidrasi adalah proses penghilangan kandungan air yang terdapat dalam bahan baku bambu dengan tujuan untuk mnyempurnakan proses adsorben dengan cara memanaskannya dalam oven dengan suhu 100 ^{0}C untuk memudahkan atau mempercepat saat menggunakan blender untuk pencacahan dengan ukuran yang lebih kecil dan tipis. Berdasarkan penelitian untuk menguji sifat mekanika bambu menurut ISO 22157 (2004) kadar air bambu yang harus dihilangkan berkisar ± 12 % air didalam bambu tersebut (Mustafa,2010).



Gambar 4.3 proses penyerutan dan oven

Setelah selesai tahap tersebut,tahap selanjutnya adalah proses pencacahan dan penggerusan menggunakan blender untuk mempercepat pencacahan, namun ada juga dengan mengunakan penggerusan manual, setelah selesai dicacah maka bambu tadi disaring menggunakan saringan dengan ukuran 100 mesh. diharapkan tujuan penggerusan dan penyaringan agar luas permukaan adsorben lebih besar. Dalam proses adsorbsi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi penyerapan logam oleh adsorbent adalah besarnya nilai luas permukaan karena ion logam akan terjebak pada pori – pori permukaan adsorbent, sehingga luas permukaan total adsorbent akan berbanding lurus dengan kemampuan dari penyerapan. Pada tahap ini adsorben dihancurkan menggunakan blender (Gambar 4.4), setelah halus maka adsorbent akan disaring lagi menggunakan filter dengan ukuran 100 mesh seperti yang tertera pada (Gambar 4.5). sehingga diperoleh bahan yang telah siap digunakan sebagai adsorbent.



Gambar 4.4 Proses Penghalusan Bambu (blender)



Gambar 4.5 Proses Penyaringan fillter 100 mesh



Gambar 4.6 Bahan adsorben bambu siap digunakan

4.3 Aktivasi Adsorben Bambu

Pada tahap ini, adsorben yang telah dibersihkan dan dihaluskan akan diaktivasi dengan menggunakan asam sitrat 1 M. Adsorbent yang akan diaktivasi terlebih dahulu direndam didalam larutan asam sitrat selama 24 jam kemudian dicuci dengan menggunakan aquades hingga pH mendekati netral (7). Proses netralisasi bertujuan untuk menghindari terjadinya pengendapan dan korosi yang bisa menyebabkan kualitas adsorben berkurang pada saat penyerapan logam Cd tersebut.



Gambar 4.7 Proses Aktivasi Dengan Asam Sitrat 1 M



Gambar 4.8 Pengujian pH Adsorbent Saat Diasamkan

Menurut Sherly (2014) aktivasi adsorben dengan asam paling umum dilakukan terbukti sangat efektif dalam meningkatkan kapasitas penyerapan oleh adsorben. Aktivasi dengan asam sitrat diharapkan dapat menambah gugus fungsi yang dapat mengikat ion-ion yang terdapat didalam logam sehingga kemampuan penyerapanpun meningkat. Setelah proses aktivasi dengan merendam adsorben bambu pada larutan asam sitrat 1M selama 24 jam dan dilakukan proses netralisasi maka adsorbent dapat langsung dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 100 ^{0}C selama 24 jam agar kadar air didalam adsorbent dapat hilang.



Gambar 4.9 Adsorbent Setelah Di Oven

4.4 Adsorben Bambu Tanpa Aktivasi

Pada penelitian ini selain menggunakan adsorbent dengan aktivasi asam sitrat juga digunakan adsorbent tanpa menggunakan aktivasi asam sitrat. Hal ini bertujuan untuk melakukan perbandingan sejauh mana perubahan yang terjadi didalam gugus fungsi dari adsorbent tersebut apakah akan dapat meningkatkan kemampuan penyerapan atau tidak. Berbeda dengan adsorbent yang telah diaktivasi, adsorbent tanpa aktivasi atau alami ini tidak perlu dilakukan aktivasi karena nilai pH dari adsorbent nya sudah mendekati nilai netral (pH 7), sehingga dapat langsung dioven untuk menghilangkan kadar airnya (Gambar 4.10).



Gambar 4.10 Nilai pH Dari Adsorbent Non Aktivasi dan Adsorben Yang Telah Di Oven

4.5 Karakterisasi Adsorbent

Pada penelitian ini, karakterisasi dilakukan dengan menggunakan alat berupa *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) atau spektoskopi infra merah yang bertujuan untuk mengidentifikasi senyawa, menentukan struktur molekul, mengetahui kemurnian, dan mempelajari reaksi yang sedang berjalan serta menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) atau mikroscop electron yang menggunakan berkas electron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis.

4.5.1 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Penggunaan alat *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi dari adsorbent yang akan digunakan dalam penelitian, Bambu yang digunakan sebagai adsorben, dengan mengetahui gugus fungsi dari nilai selulosa yang terdapat dalam adsorben maka akan diketahui seberapa besar perbedaan yang akan terjadi jika adsorben diaktivasi dengan asam sitrat atau tidak diaktivasi dari sudut pandang gugus fungsinya, dianalisis dengan menggunakan FTIR, kemudian dibandingkan perbedaan untuk mengetahui gugus fungsi apa yang terlibat dalam proses adsorpsi ion logam Cd.

Hasil dari penelitian gugus fungsi menggunakan FTIR untuk adsorben yang diaktivasi dengan asam sitrat dan tanpa aktivasi dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan Tabel 4.1. Berdasarkan analisis FTIR yang dilakukan, spektra menunjukkan bahwa puncak adsorben tanpa aktivasi dan setelah aktivasi dengan asam sitrrat sama-sama menunjukkan keberadaan gugus fungsi karboksil dan hidroksil, hal tersebut menunjukkan bahwa gugus fungsi yang terdapat pada asam sitrat sama seperti gugus fungsi yang terdapat pada bambu.

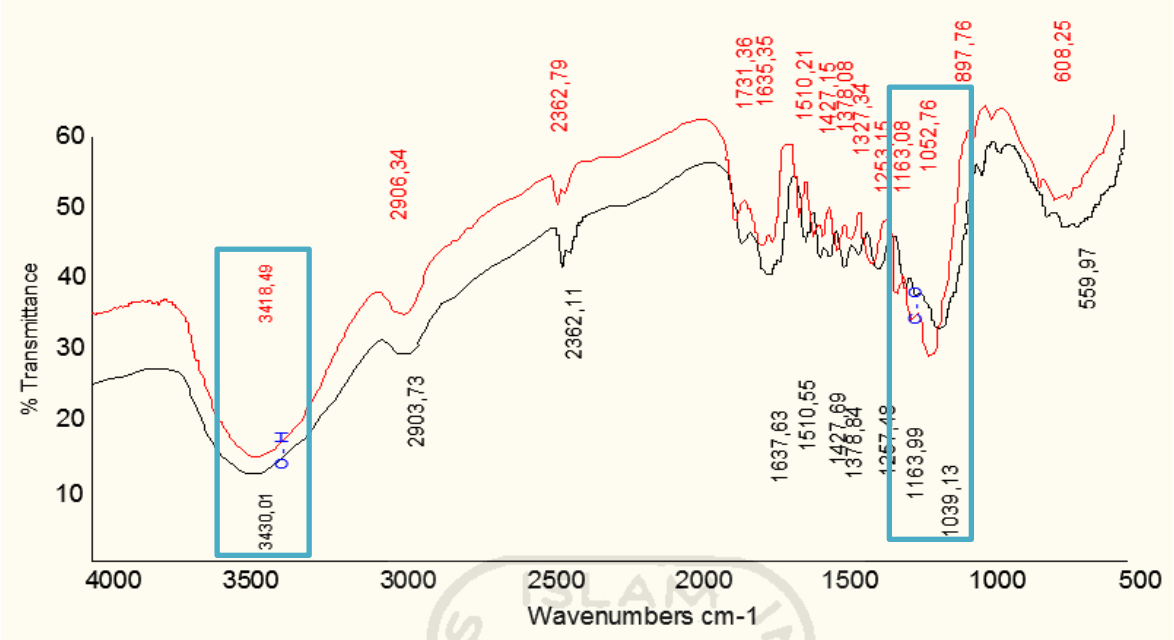
Tabel 4.1 Gugus Fungsi

Jenis Adsorbent	Frekuensi (cm^{-1})	Senyawa	Gugus Fungi
Adsorbent Tanpa Aktivasi	3418,49	Asam Karboksilat	O-H
	1052,76	Asam Karbosilat	C-O
	2906,34	Asam Karboksilat	O-H
	1163,08	Asam Karbosilat	C-O
	1253,15	Asam Karbosilat	C-O
	1731,36	Ester	C=O
	2362,79	Ester	>CO
Adsorbent Aktivasi	3430,01	Asam Karboksilat	O-H
	2903,73	Asam Karboksilat	O-H
	1039,13	Asam Karbosilat	C-O
	1163,99	Asam Karboksilat	C-O
	1637,63	Amide	C=O
	1257,48	Asam Karboksilat	C-O
	2362,11	Ester	>CO

Hasil dari uji FTIR ini memfokuskan pada keberadaan selulosa dalam biosorben yang berperan dalam penyerapan logam berat kadmium (Cd). Menurut (Ibbet,2006 dan Herwanto,2006) selulosa memiliki gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam yaitu gugus karbonil (C=O) dan Hidroksil (O-H).

Asam karboksilat mengandung gugus karbonil dan gugus hidroksil. Walaupun gugus karboksilat merupakan gabungan gugus karbonil dan gugus hidroksil, tetapi sifat-sifat gugus tersebut tidak muncul dalam asam karboksilat karena menjadi satu kesatuan dengan ciri tersendiri. Ester adalah turunan dari asam karboksilat dengan mengganti gugus hidroksil oleh gugus alkoksi dari alkohol. Terjadinya adsorpsi logam Cd pada bambu karena logam berat Cd berinteraksi dengan bambu sehingga membentuk ikatan kimia. Ikatan kimia antara logam Cd dengan bambu terjadi karena dalam bambu mengandung selulosa. Keberadaan gugus hidroksil dan karboksil milik selulosa, menjadikan bambu (yang mengandung selulosa) sebagai polisakarida yang reaktif untuk adsorpsi dan dapat berinteraksi dengan adsorbat yang bermuatan positif. Mekanisme serapan yang terjadi adalah gugus O-H dan C=O bermuatan negatif sedangkan logam bermuatan positif maka akan tejadi tarik menarik antara gugus dengan logam yang akan diserap.

Cara yang dapat digunakan untuk menentukan jenis senyawa yang didapat dari hasil FTIR adalah dengan menggunakan Tabel korelasi pada Lampiran 1. Nilai frekuensi yang diperoleh dicocokan dengan rentang nilai pada tabel korelasi sehingga diperoleh jenis senyawa serta gugus fungsi dari adsorbent tersebut.



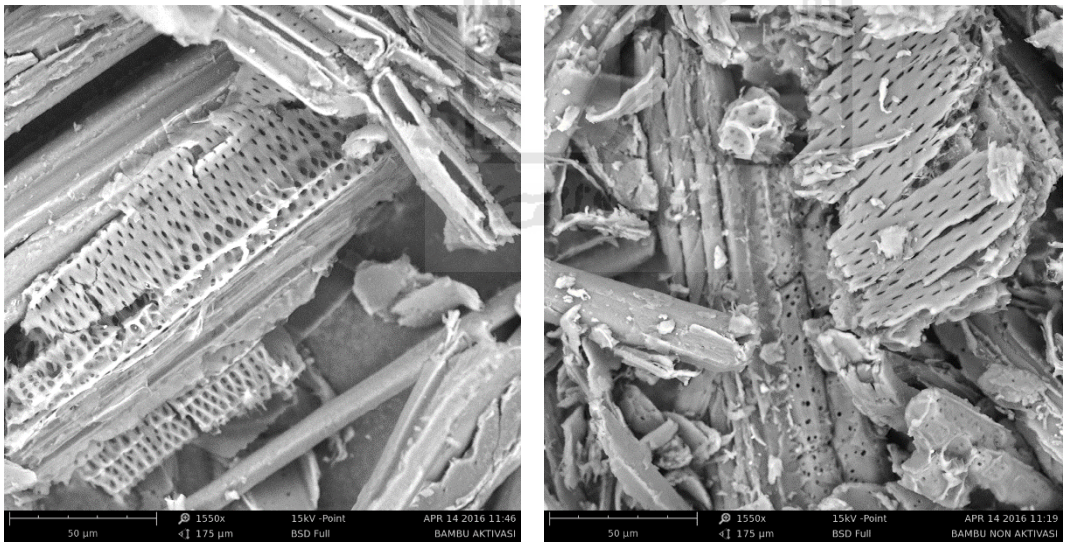
Gambar 4.11 Perbandingan Gugus Fungsi Adsobent Tanpa Aktivasi (Merah) dan Aktivasi (Hitam) Grafik FTIR

Berdasarkan hasil uji menggunakan FTIR bisa dilihat perbandingan antara adsorben tanpa aktivasi dengan aktivasi. bahwa kedua spektra sama-sama menunjukkan adanya kedua gugus fungsi yang dapat digunakan untuk berinteraksi dengan logam. Peningkatan adsorpsi terjadi karena gugus fungsi dalam asam sitrat sama seperti pada selulosa sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi.

4.5.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah salah-satu jenis mikroskop yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan profil permukaan benda. Berkas elektron pada SEM ditembakkan pada permukaan benda dan melewati beberapa lensa elektromagnetik sehingga berkas tersebut akan memantul kembali atau menghasilkan elektron sekunder ke segala arah. Namun ada satu arah dimana berkas tersebut dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detektor yang terdapat di dalam SEM akan mendeteksi elektron dan menentukan lokasi benda ke dalam layar. jika semakin besar luas total permukaan maka adsorbent akan memiliki kemampuan penyerapan yang semakin baik karena besarnya jumlah ion logam yang dapat diikat dipermukaan adsorbent. Pengujian SEM dilakukan untuk melihat pola atau gambaran permukaan dari suatu sampel. Dari pengujian tersebut, gambaran permukaan pori-pori adsorben bambu dapat dilihat pada Gambar 4.12.

Pada pengujian ini, perbesaran pada mikroskop yang digunakan sebesar 1550x perbesaran.Pengujian dilakukan terhadap bambu aktivasi dan tanpa aktivasi yang akan digunakan didalam uji SEM.



Gambar 4.12 Adsorbent Aktivasi Perbesaran (Kiri) dan Tanpa Aktivasi (Kanan) Pembesaran 1550x

Dari hasil gambar tersebut dapat diamati perbedaan antara adsorben bambu aktivasi dengan adsorben bambu. Perbesaran 1550 kali menunjukkan bahwa adsorben bambu dengan aktivasi memiliki permukaan pori-pori yang lebih teratur dibandingkan dengan adsorben bambu yang tanpa aktivasi. Pengaruh utama aktivasi kimia tidak hanya menguapkan material

non-karbon tapi cukup efektif dalam membentuk pori-pori yang cukup banyak dan teratur dipermukaan adsorben.

4.6 Pengujian Kemampuan Adsorpsi

Pada tahap ini, pengujian adsorben yang diaktivasi dan tanpa adanya aktivasi akan dilakukan menggunakan larutan kadmium (Cd) buatan. Pengujian sendiri akan dimulai dari variasi massa adsorbent, variasi pH larutan, variasi waktu kontak, dan variasi konsentrasi larutan uji. Pengujian nilai konsentrasi akan menggunakan Spektrofotometri AAS serta menggunakan bahan aktivasi berupa larutan asam sitrat.

4.6.1. Pengujian Variasi Massa

Dalam Penelitian variabel massa, pH ,waktu, adsorbent, ada penambahan satu sampel tanpa adanya penambahan adsorbent didalam larutan yang akan menjadi kontrol, kondisi sampel yang menjadi kontrol haruslah memiliki kondisi yang sama dengan larutan yang diuji seperti pH larutan yang sama, volume larutan yang sama, konsentrasi, serta waktu kontak yang sama. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah akan terjadi proses pengendapan logam yang akan terjadi akibat adanya proses kimiawi saat kondisi Equilibrium, jika terjadi proses pengendapan yang sangat besar maka hal tersebut akan sangat mempengaruhi hasil yang akan diuji nantinya artinya proses adsorpsi yang semestinya dilakukan oleh adsorbent pada kondisi tersebut jadi tidak bisa terhitung maksimal sebab telah banyak konsentrasi logam yang disisihkan oleh proses kimiawi.

Tabel 4.2 Hasil Uji Adsorpsi Massa Adsorben Aktivasi

Massa mg	Konsentrasi Awal (C0)	Konsentrasi Akhir (C)	Persentase Removal (%)	pH Awal	pH Akhir
50	10,01	5,55	44,56	6,2	6,05
100	10,01	2,15	78,52	6,1	6,31
200	10,01	1,65	83,52	6,2	6,1
400	10,01	0,13	98,70	6,2	6,09
500	10,01	0,00	100,00	6	6,02
Kontrol pH 6		1,99	80,12	6,07	6,07
Inlet	10,01			6,01	6,01

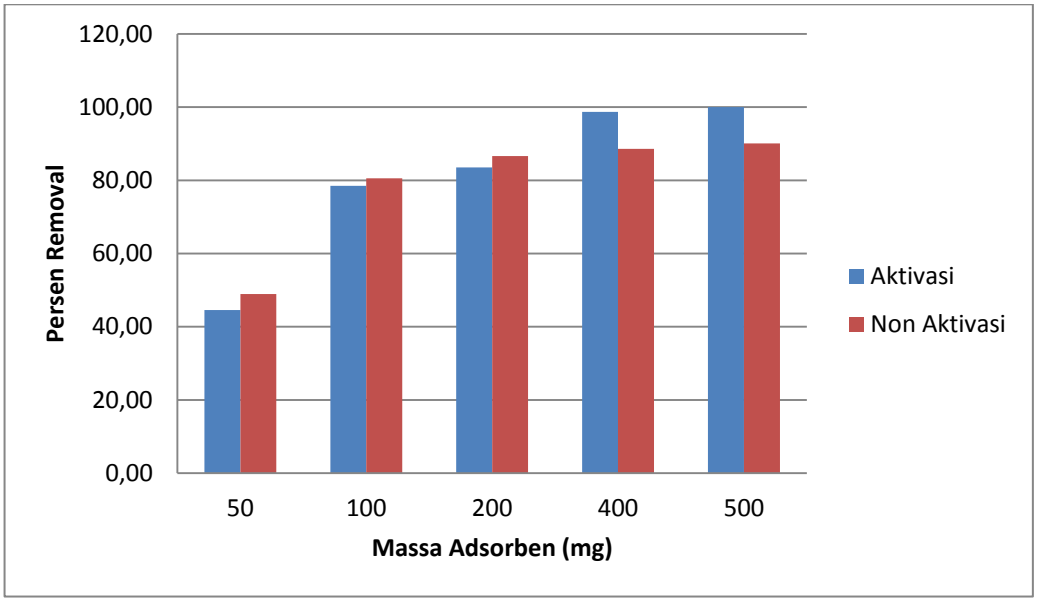
Sumber : Data primer, 2016

Tabel 4.3 Hasil Uji Adsorpsi Massa Adsorben Tanpa Aktivasi

Massa mg	Konsentrasi Awal (C0)	Konsentrasi Akhir (C)	Persentase Removal (%)	pH Awal	pH Akhir
50	10,01	5,15	48,96	6,4	6
100	10,01	1,96	80,57	6	6,04
200	10,01	1,35	86,62	6,04	5,9
400	10,01	1,15	88,60	6,03	6
500	10,01	1,00	90,09	6,03	6,12
Kontrol pH 6		1,99	80,12	6,07	6,07
Inlet	10,01			6,01	6,01

Sumber : Data primer, 2016

Dari data tersebut terlihat peningkatan yang signifikan dan teratur jika dibuat dalam bentuk grafik. Dari segi jumlah kosnsentrasi yang mampu diserap, kemampuan penyerapan adsorbent yang berasal dari bahan aktivasi menggunakan asam sitrat memiliki kemampuan yang lebih bagus jika dibandingkan dengan yang tanpa aktivasi, adapun jika dilihat kedalam grafik nampak jelas bahwa adsorbent aktivasi memiliki persen penyisihan lebih besar dalam setiap variasi massa yang diuji coba seperti Gambar 4.13



Gambar 4.13 Grafik Data Hasil Uji Variasi Massa Adsorbent (Kondisi Saat Percobaan : Volume Larutan Uji 50 ml, pH 6 , dan Waktu Kontak 2 jam)

Dari hasil penelitian variasi massa diambil kesimpulan bahwa kemampuan adsorben aktivasi maupun non aktivasi sudah cukup baik, namun jika dilakukan perbandingan massa 100 mg adsorben teraktivasi hanya mencapai 78,52 % sedangkan adsorben tanpa aktivasi dengan massa 100 mg sudah mencapai 80,57 % oleh sebab itu, pada penelitian variabel selanjutnya digunakan adsorben 100 mg.

4.6.2. Pengujian Variasi pH

Percobaan pada variasi pH larutan akan menggunakan data hasil percobaan variasi massa, data massa optimum yang didapat dari variasi massa didapat sebesar 100 mg adsorbant aktivasi dan tanpa aktivasi. Pada percobaan ini, waktu kontak dan konsentrasi larutan yang digunakan tetap sama seperti sebelumnya yaitu waktu 2 jam dan konsentrasi 10 ppm hanya saja dengan pH larutan yang berbeda.

Variasi pH larutan yang digunakan pada percobaan ini sebesar pH 2,3,4,5,6,7,8 dan 9 serta 1 sampel sebagai kontrol. Sampel kontrol akan digunakan pH 9 konsetrasi larutan 10 ppm, dan waktu kontak 2 jam dengan magnetic stirer tanpa ada penambahan adsorbent untuk melihat apakah terjadi proses pengendapan secara kimiawi saat pH larutan mendekati netral.

Dalam mengatur pH larutan digunakan larutan HNO_3 untuk menurunkan ke pH rendah dan NaOH untuk menaikan pH larutan.

Setelah selesai proses pengadukan, larutan disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan larutan dengan adsorbent yang digunakan. Sebelum diuji menggunakan UV-Vis maka larutan akan ditambahkan larutan $HNO_{3.}$ Data yang diperoleh dari hasil pengujian Spektrofotometri ASS dari variasi pH larutan dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5

Tabel 4.4 Hasil Uji Variasi pH Adsorpsi Kadmium (cd) Menggunakan Adsorben Tanpa Aktivasi

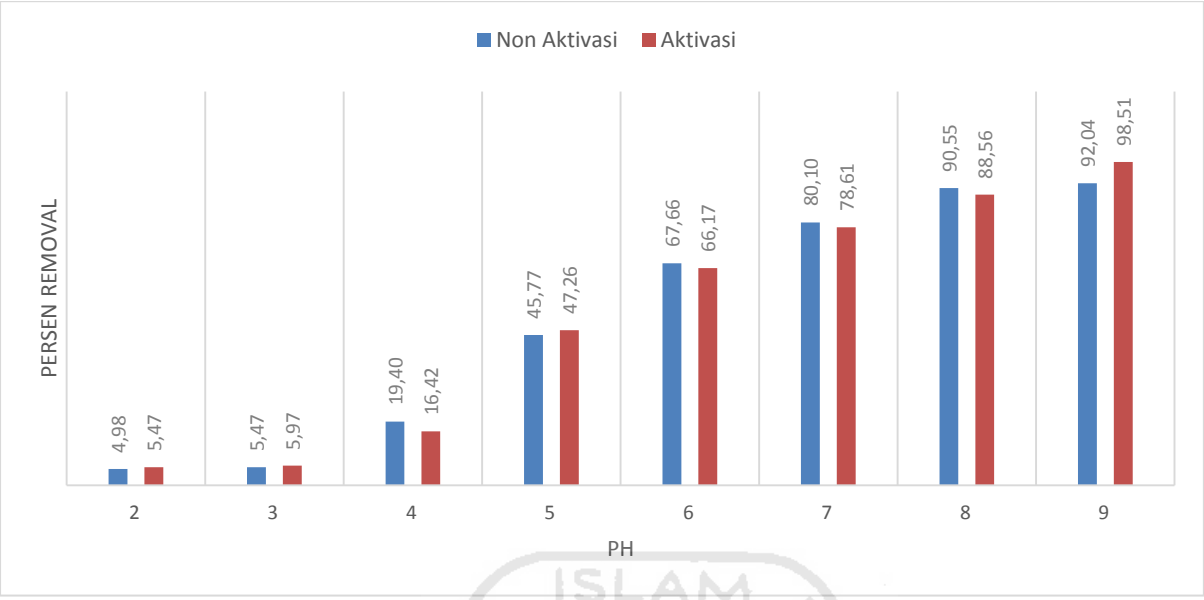
pH	Konsentrasi Awal (C0)	Konsentrasi Akhir (C)	Persentase Removal (%)	pH Awal	pH Akhir
2	10,05	9,55	4,98	2,24	2,12
3	10,05	9,50	5,47	3,09	3
4	10,05	8,10	19,40	4,23	4,14
5	10,05	5,45	45,77	5,21	5,26
6	10,05	3,25	67,66	6,12	6
7	10,05	2	80,10	7,11	7
8	10,05	0,95	90,55	8,2	8
9	10,05	0,8	92,04	9	9,3
Kontrol pH 9		5,86	41,69	9,24	9,1
Inlet	10,05			6,09	6,09

Sumber : Data primer, 2016

Tabel 4.5 Hasil Uji Variasi pH Adsorpsi Kadmium (Cd) Menggunakan Adsorben Aktivasi

pH	Konsentrasi Awal (C0)	Konsentrasi Akhir (C)	Persentase Removal (%)	pH Awal	pH Akhir
2	10,05	9,50	5,47	2,15	2,17
3	10,05	9,45	5,97	3,1	3,09
4	10,05	8,40	16,42	4,07	4,05
5	10,05	5,30	47,26	5	5,09
6	10,05	3,40	66,17	6,03	6,05
7	10,05	2,15	78,61	7,02	7,03
8	10,05	1,15	88,56	8,4	8
9	10,05	0,15	98,51	9	9,2
Kontrol pH 9		5,86	41,69	9,24	9,1
Inlet	10,05			6,09	6,09

Sumber : Data primer, 2016



Gambar 4.14 Data Hasil Uji Variasi pH Adsorbent (Kondisi Saat Percobaan Volume Larutan Uji 50 ml, Massa Adsorben 100 mg dan Waktu Kontak 2 jam)

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa persentase penyisihan ion Cd yang diadsorpsi oleh bambu meningkat dengan semakin tinggi pH yang digunakan. Adsorpsi pada pH rendah biasanya menghasilkan persentase penyisihan ion Cd yang rendah. Hal ini terjadi karena pada pH rendah, ion H+ bersaing dengan kation Cd2+ dalam pembentukan ikatan dengan gugus aktif adsorben (siswoyo, et al. 2014).

Persentase penyisihan ion Cd yang diadsorpsi oleh bambu tanpa aktivasi pada pH 2 adalah 4,98% dan untuk bambu teraktivasi sebesar 5,47%. Jumlah ini meningkat pada pH 6 menjadi 67,66 % untuk serbuk bambu tanpa aktivasi dan menjadi 66,17% juga untuk serbuk bambu teraktivasi.

4.6.3.Pengujian Variasi Waktu Kontak

Percobaan dengan variasi waktu kontak tidak jauh berbeda dengan penelitian sebelumnya, hanya saja kondisi saat percobaan menggunakan data dari penelitian sebelumnya yaitu massa optimum adsorbent sebesar 50 mg, pH yang di gunakan adalah pH 6.Uji waktu kontak dalam penelitian ini menggunakan kondisi larutan 10 mg/L kadmium (Cd) diaduk dengan kecepatan pengadukan 150 rpm dan waktu kontak antara 15, 30, 45, 60,

90, 120 dan 1440 menit. Dari pengujian didapatkan hasil berupa data pengujian adsorpsi terhadap waktu pengadukan yang tertera pada Tabel 4.6 dan 4.7 .

Tabel 4.6 Hasil Uji Variasi Waktu Adsorpsi Kadmium (Cd) Menggunakan Adsorben Tanpa Aktivasi

Waktu menit	Konsentrasi Awal (C0)	Konsentrasi Akhir (C)	Persentase Removal (%)	pH Awal	pH Akhir
15	10,33	4,65	54,99	6,03	6,08
30	10,33	4,60	55,47	6,08	6
45	10,33	4,40	57,41	6,06	6,02
60	10,33	4,25	58,86	6,03	6,03
90	10,33	4,10	60,31	6,03	6,01
120	10,33	4,02	61,08	6,04	6,03
1440	10,33	3,01	70,86	6,1	6,09
Kontrol pH 6		2,04	80,30	6,04	6,07
Inlet	10,33			6,06	6,06

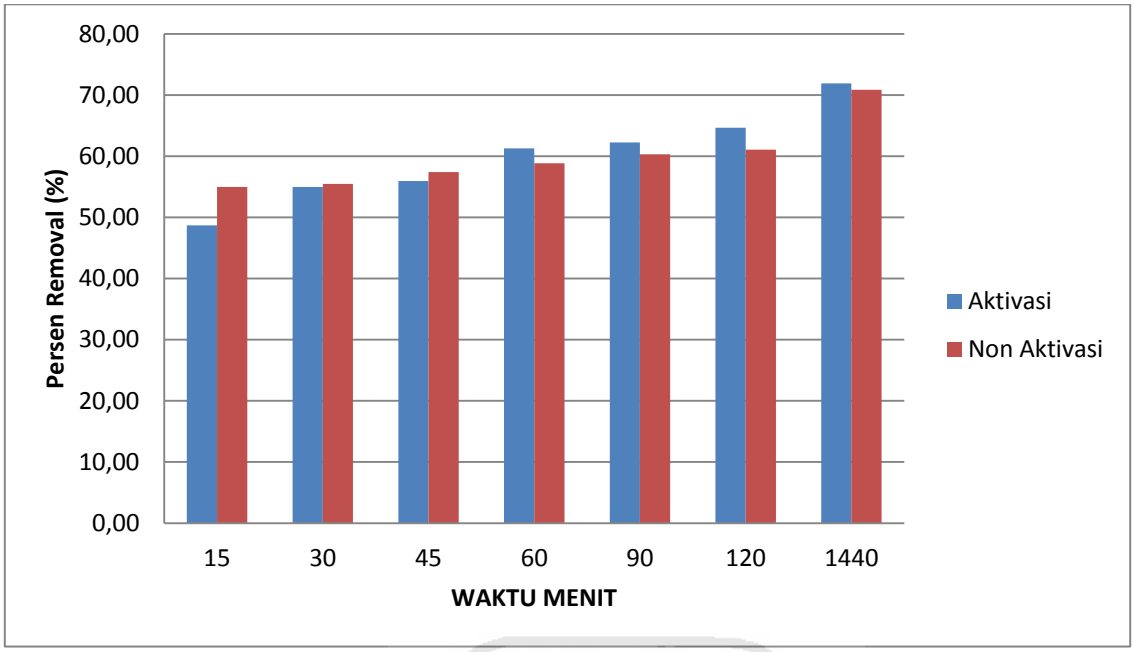
Sumber : Data primer, 2016

Tabel 4.7 Hasil Uji Variasi Waktu Adsorpsi Kadmium (Cd) Menggunakan Adsorben Aktivasi

Waktu menit	Konsentrasi Awal (C0)	Konsentrasi Akhir (C)	Persentase Removal (%)	pH Awal	pH Akhir
15	10,33	5,30	48,69	6,01	6,03
30	10,33	4,65	54,99	6,07	6,02
45	10,33	4,55	55,95	6,02	6,04
60	10,33	4,00	61,28	6,01	6,05
90	10,33	3,90	62,25	6,06	6,02
120	10,33	3,65	64,67	6,01	6,05
1440	10,33	2,9	71,93	6,05	6,06
Kontrol pH 6		2,04	80,30	6,04	6,07
Inlet	10,33			6,06	6,06

Sumber : Data primer, 2016

Sementara itu hubungan antara waktu kontak dengan persentase kadmium (Cd) teradsorpsi ditunjukkan pada Gambar 4.15 berikut.



Gambar 4.15 Data Hasil Uji Variasi Waktu Adsorbent (Kondisi Saat Percobaan Volume Larutan Uji 50 ml, Massa Adsorben 100 mg dan pH 6)

Kesimpulan dari hasil percobaan variasi waktu kontak ini adalah bahwa adsorbent dari bambu baru akan mencapai kemampuan maksimal pada saat waktu kontak 24 jam, namun pada waktu kontak 120 menit adsorbent dengan aktivasi sudah bekerja cukup baik dengan mampu mereduksi sebesar 64,67% dan adsorbent tanpa aktivasi juga sudah mencapai sebesar 61,78% dari total konsentrasi larutan sebesar 10 ppm namun untuk mencapai kondisi puncak membutuhkan waktu 24 jam dengan persen reduksi mencapai 71,93% untuk aktivasi sedangkan untuk tanpa aktivasi mencapai 70,86%.Waktu optimum yang digunakan adalah 120 menit karena sesuai dari data penelitian dan juga perbedaan reduksi 2 jam dengan 24 jam tidak terlalu jauh perbedaan reduksinya. Maka waktu kontak optimum dalam percobaan ini adalah 120 menit atau 2 jam.

4.6.4. Pengujian Variasi Konsentrasi

Konsentrasi larutan juga berpengaruh dalam proses adsorpsi, dimana konsentrasi zat terlarut berbanding lurus dengan zat terlarut yang dapat diadsorpsi oleh adsorben. Akan tetapi jika adsorben tersebut sudah jenuh, maka konsentrasi zat terlarut tidak lagi berpengaruh.

Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan adsorbent dari bambu untuk menyerap konsentrasi logam yang cukup besar. Data dari peneltian sebelumnya

akan digunakan sebagai kondisi saat percobaan ini seperti massa optimum adsorbent 100 mg, pH optimum 6, dan waktu kontak optimum 2 jam.

Variasi konsentrasi dalam percobaan ini digunakan 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, dan 300 ppm. Setiap konsentrai larutan tersebut harus dibuat larutan konsentrasi awal (Cd) masing-masing untuk mengetahui selisih konsentrasi sebelum dan pengujian ini untuk mengetahui kemampuan adsorben dalam menyerap logam Cd dengan kadar yang tinggi. Ketika proses pengadukan selesai maka larutan akan disaring dan diencerkan menjadi konsentrasi 2 ppm agar dapat terbaca di AAS. Cara kerja yang digunakan sama seperti cara-cara sebelumnya, hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan 4.9

Tabel 4.8 Hasil Uji Variasi Konsentrasi Adsorpsi kadmium (Cd) Menggunakan Adsorben Tanpa Aktivasi

Konsentrasi (ppm)	Massa Adsorben (mg)	Volume Larutan (ml)	Konsentrasi Awal (C0)	Konsentrasi Akhir (Ce)	Selisih (ΔC)	Persentase Removal (%)	pH Awal	pH Akhir
10	100	50	10,015	2,25	7,77	77,53	6,01	6
25	100	50	25,013	11,88	13,14	52,52	5,93	6,07
50	100	50	49,450	28,00	21,45	43,38	6,01	6,06
75	100	50	74,550	46,50	28,05	37,63	5,85	6,1
100	100	50	95,050	67,50	27,55	28,98	5,92	6,12
150	100	50	142,725	104,25	38,48	26,96	6,08	6,1
200	100	50	200,899	174,83	26,07	12,98	6,03	6,1
250	100	50	236,375	211,25	25,13	10,63	6,09	6,1
300	100	50	288,750	266,50	22,25	7,71	5,89	6,02

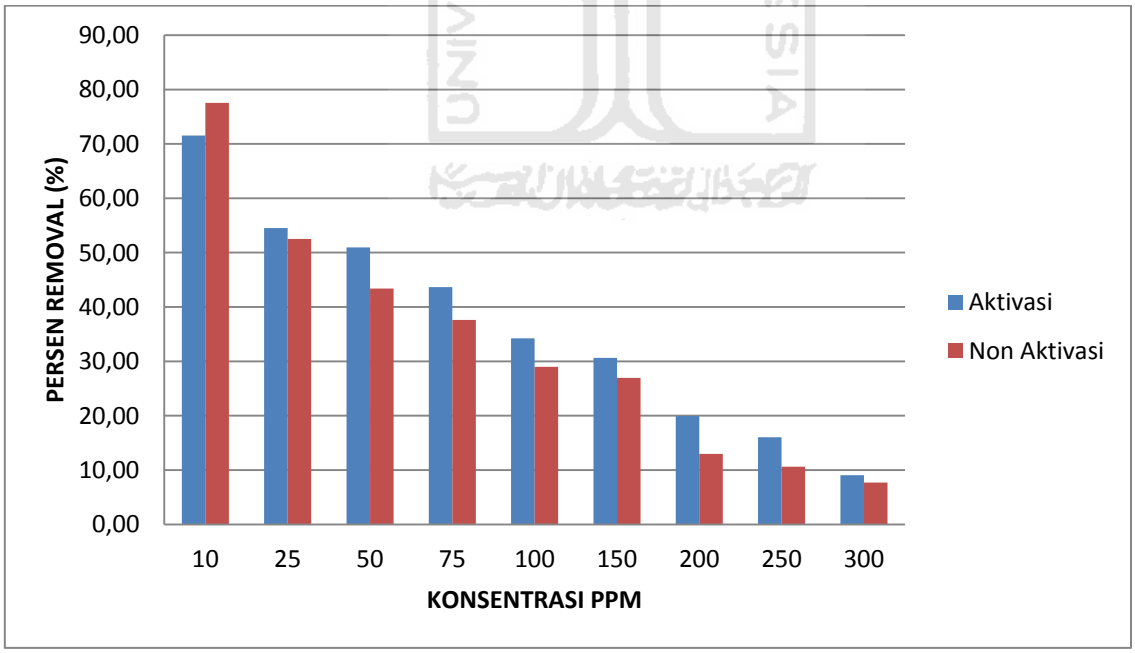
Sumber : Data primer, 2016

Tabel 4.9 Hasil Uji Variasi Konsentrasi Adsorpsi Kadmium (Cd) Menggunakan Adsorben Aktivasi

Konsentrasi (ppm)	Massa Adsorben (mg)	Volume Larutan (ml)	Konsentrasi Awal (C0)	Konsentrasi Akhir (Ce)	Selisih (ΔC)	Persentase Removal (%)	pH Awal	pH Akhir
10	100	50	10,015	2,85	7,17	71,54	6,2	6,08
25	100	50	25,013	11,38	13,64	54,52	6,04	6,06
50	100	50	49,450	24,25	25,20	50,96	6,1	6,06
75	100	50	74,550	42,00	32,55	43,66	6,18	6,09
100	100	50	95,050	62,50	32,55	34,25	6,1	6,03
150	100	50	142,725	99,00	43,73	30,64	6,1	6,13
200	100	50	200,899	160,84	40,06	19,94	6,1	6,09
250	100	50	236,375	198,50	37,88	16,02	6,1	6
300	100	50	288,750	262,60	26,15	9,06	6,01	6,1

Sumber : Data primer, 2016

Dari data tersebut jika dibuat kedalam grafik dapat dilihat pada Gambar 4.16:



Gambar 4.16 Data Hasil Uji Variasi Konsentrasi Larutan (Kondisi Saat Percobaan : Volume Larutan Uji 50 ml, Massa Adsorbent 100 mg, pH 6 dan Waktu Kontak 2 jam

Pada pengujian antara variasi konsentrasi Kadmium (Cd), adsorben yang digunakan adsorbent tanpa aktivasi dan aktivasi, keputusan ini dipilih karena dari pengujian variasi massa adsorben, kondisi pH, dan waktu kontak, kemampuan adsorbsi dari adsorben tanpa aktivasi dan aktivasi sudah cukup baik untuk removal logam kadmium (Cd), tapi dalam pengujian ini penyerapan aktivasi lebih bagus dari tanpa aktivasi karena aktivasi menggunakan bahan kimia seperti asam sitrat yang bisa mengubah luas permukaan adsorben jika semakin banyak pori-pori maka penyerapan adsorben makin banyak dalam adsorbsi.

Dari data dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi larutan maka akan semakin kecil logam Cd yang dapat diserap oleh adsorben, itu menunjukan bahwa kemampuan adsorben dari bambu tidak dapat menyerap logam dengan konsentrasi yang tinggi. Jika ada kenaikan di konsentrasi tinggi persentase penyisihannya,hal ini kemungkinan besar terjadi karena kurang ketelitian saat mengubah pengenceran menjadi 2 ppm untuk di uji pada AAS.

4.7 Isoterm

Menurut Wahyuni, (2013) untuk proses adsorpsi didalam larutan, jumlah zat yang teradsorpsi bergantung pada beberapa faktor yaitu jenis adsorben, jenis adsorbat atau zat yang teradsorpsi, luas permukaan adsorben, konsentrasi zat terlarut, temperatur. Isoterm adsorpsi adalah hubungan yang menunjukkan distribusi adsorben antara fasa teradsorpsi pada permukaan adsorben dengan fasa ruah saat kesetimbangan pada suhu tertentu.

4.7.1 Metode Langmuir

Model Langmuir mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (monolayer) adsorbat di permukaan adsorben. Persamaan isoterm Langmuir:

$$\frac{Ce}{qe} = \frac{1}{qm} Ce + \frac{1}{Kl.qm} \qquad (1)$$

Dimana :

- ✓ Ce = Konsentrasi Equilibrium (mg/l)
- ✓ qe = Nilai Adsorpsi logam saat Equilibrium (mg/g)
- ✓ qm = Nilai konstanta Langmuir
- ✓ K_L = Nilai konstanta Langmuir

Dari data hasil pengujian variasi konsentrasi larutan dapat hitung nilai dari kemampuan maksimum penyerapan dari adsorbent bambu seperti pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11.

Tabel 4.10 Data Penentuan Konstanta Langmuir Adsorben Tanpa Aktivasi

Variasi Konsentrasi (ppm)	Massa Adsorbent (mg)	Volume Larutan (ml)	Konsentrasi Awal (C0)	Konsentrasi Akhir (Ce)	Selisih (ΔC)	Persentase Penyisihan	Langmuir				Qm
							Massa Teradsorbsi (x) (mg)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe	
10	100	50	10,02	2,25	7,77	77,534	0,39	3,883	0,444	0,26	13,81
25	100	50	25,01	11,88	13,14	52,524	0,66	6,569	0,084	0,15	
50	100	50	49,45	28,00	21,45	43,377	1,07	10,725	0,036	0,09	
75	100	50	74,55	46,50	28,05	37,626	1,40	14,025	0,022	0,07	
100	100	50	95,05	67,50	27,55	28,985	1,38	13,775	0,015	0,07	
150	100	50	142,73	104,25	38,48	26,957	1,92	19,238	0,010	0,05	
200	100	50	200,90	174,83	26,07	12,979	1,30	13,037	0,006	0,08	
250	100	50	236,38	211,25	25,13	10,629	1,26	12,563	0,005	0,08	
300	100	50	288,75	266,50	22,25	7,706	1,11	11,125	0,004	0,09	

Tabel 4.11 Data Penentuan Konstanta Langmuir Adsorben Aktivasi

Variasi Konsentrasi (ppm)	Massa Adsorbent (mg)	Volume Larutan (ml)	Konsentrasi Awal (C0)	Konsentrasi Akhir (Ce)	Selisih (ΔC)	Persentase Penyisihan	Langmuir				Qm
							Massa Teradsorbsi (x) (mg)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe	
10	100	50	10,02	2,85	7,17	71,5	0,36	3,583	0,351	0,28	17,01
25	100	50	25,01	11,38	13,64	54,5	0,68	6,819	0,088	0,15	
50	100	50	49,45	24,25	25,200	50,96	1,26	12,600	0,041	0,08	
75	100	50	74,55	42,00	32,550	43,66	1,63	16,275	0,024	0,06	
100	100	50	95,05	62,50	32,550	34,25	1,63	16,275	0,016	0,06	
150	100	50	142,73	99,00	43,725	30,64	2,19	21,863	0,010	0,05	
200	100	50	200,90	160,84	40,060	19,94	2,00	20,030	0,006	0,05	
250	100	50	236,38	211,25	25,125	10,63	1,26	12,563	0,005	0,08	
300	100	50	288,75	262,60	26,150	9,06	1,31	13,075	0,004	0,076	

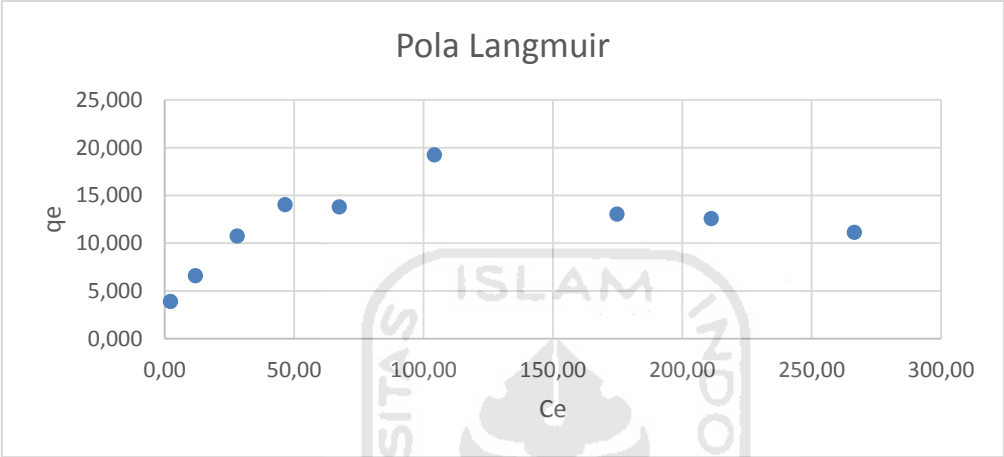
Keterangan :

X = Massa Teradsorpsi (mg)

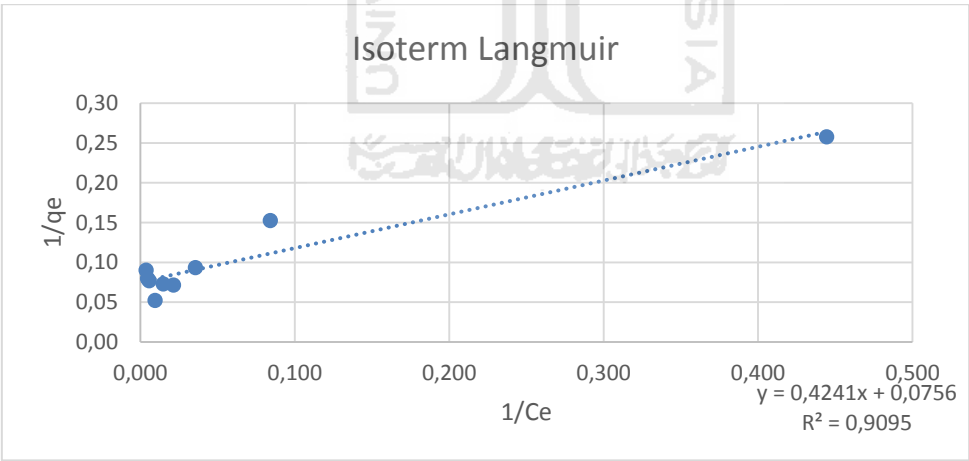
qe = Kemampuan Penyerapan (mg/gr)

Ce = Konsentrasi Akhir (mg/l)

Dari perhitungan di dapat nilai 1/qe dan 1/Ce yang akan di plot untuk membuat grafik persamaan linear isoterm Langmuir, sehingga akan didapat nilai R^2 dari persamaan tersebut untuk menentukan model isoterm dari adsorpsi bambu tanpa aktivasi dan aktivasi terhadap logam Cd. Grafik persamaan linear dari isoterm Langmuir tersebut dapat dilihat pada gambar 4.18. Dari data yang diperoleh, maka dapat diplotkan kedalam Gambar berikut:



Gambar 4.17 Pola Langmuir Tanpa Aktivasi



Gambar 4.18 Kurva Kalibrasi Isoterm Langmuir Tanpa Aktivasi

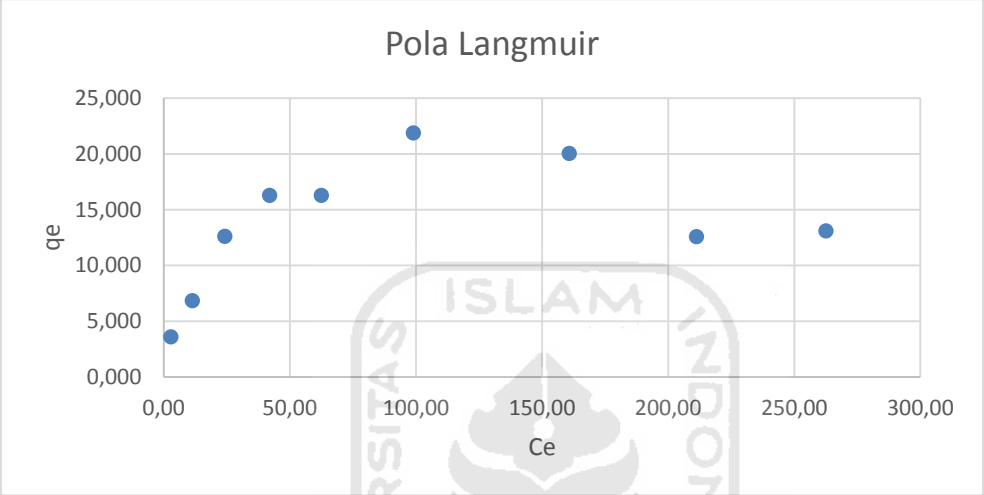
Berdasarkan Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa data adsorben bambu tanpa aktivasi yang diperoleh dari hasil percobaan menunjukan bentuk tren dari isoterm Langmuir sehingga dapat dinyatakan hasil isoterm adsorpsi mengikuti isoterm Langmuir. Sedangkan pada Gambar 4.18 diperoleh nilai y = 0,4241x + 0,0756 sehingga konstanta Langmuir diperoleh

sebesar 0,0756 dengan slope R^2 = 0,9095 yang akan digunakan untuk menghitung nilai Qm dari adsorbent bambu yang digunakan dalam penelitian ini. Nilai Qm yang terhitung sebesar :

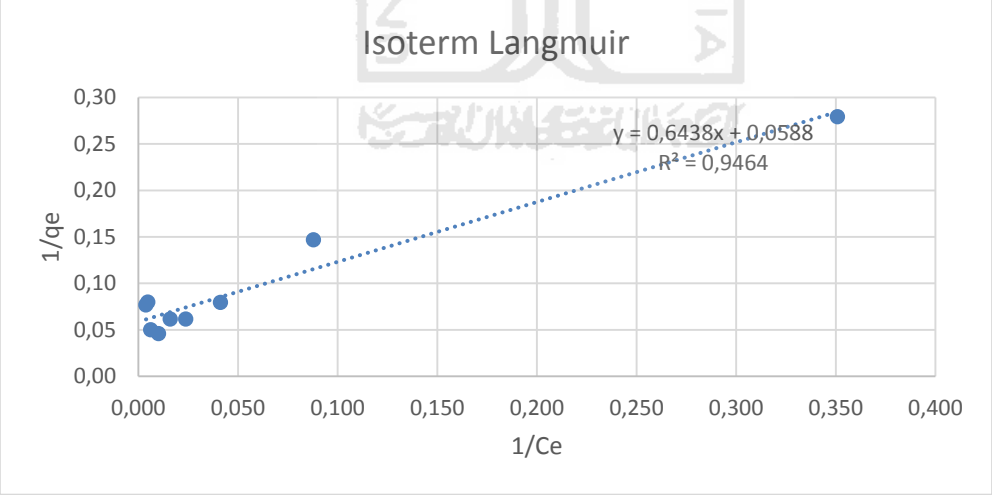
Qm = 1/b

= 1/0,0756

= 13,81 mg/gram



Gambar 4.19 Pola Langmuir Aktivasi



Gambar 4.20 Kurva Kalibrasi Isoterm Langmuir Aktivasi

Berdasarkan Gambar 4.19 dapat dilihat bahwa data adsorben bambu aktivasi yang diperoleh dari hasil percobaan menunjukan bentuk tren dari isoterm Langmuir sehingga dapat dinyatakan hasil isoterm adsorpsi mengikuti isoterm Langmuir.

Sedangkan pada Gambar 4.20 diperoleh nilai y = 0,6438x + 0,0588 sehingga konstanta Langmuir diperoleh sebesar 0,0588 dengan slope R^2 = 0,9464 yang akan digunakan untuk menghitung nilai Qm dari adsorbent bambu yang digunakan dalam penelitian ini. Nilai Qm yang terhitung sebesar :

Qm = 1/b

= 1/0,0588

= 17,01 mg/gram

Jika dibandingkan adsorben bambu tanpa aktivasi dengan aktivasi jumlah penyerapan Qm lebih besar aktivasi mencapai 17,01 mg/gram sedangkan untuk adsorben tanpa aktivasi hanya sebesar 13,81 mg/gram , kemampuan dari adsorbent yang berasal dari bambu mempunyai daya adsorpsi yang cukup besar dengan 13,81 mg/gram tanpa aktivasi dan 17,01 mg/gram aktivasi adsorbent dengan pH yang sama.

4.7.2 Metode Freundlinch

Isoterm Freundlich digunakan jika diasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (multilayer) dan site bersifat heterogen, yaitu adanya perbedaan energi pengikatan pada tiap-tiap site. Persamaan tersebut dapat diberikan dalam bentuk:

$qe = kf.Ce^{1/n}$

Dimana qe merupakan konsentrasi zat yang terlarut teradsorpsi pada suatu fasa padat yang berkesetimbangan dengan suatu larutan dengan konsentrasi zat terlarut C_e. Satuan yang biasanya dipakai untuk C adalah milimol zat terlarut per gram adsorben dan untuk Ce molaritas: k dan n adalah konstanta terlihat bahwa jika n=1 persamaan Frenndlich direduksi ke bentuk pernyataan kesetimbangan lain seperti hokum Henry atau hokum distribusi Nernst untuk zat terlarut di dalam eksraksi pelarut, ini umumnya n > 1 dan karena itu grafik C vs C_e (disebut isotherm adsorpsi). Untuk mengevaluasi k dan n kita dapat mengambil logaritma dari kedua ruas persamaan Freundlich, menghasilkan:

Log qe = Log kf + 1/n log C_e

Tabel 4.12 Data Penentuan Konstanta Freundlich Adsorben Tanpa Aktivasi

Variasi Konsentrasi (ppm)	Massa Adsorbent (mg)	Volume Larutan (ml)	Konsentrasi Awal (C0)	Konsentrasi Akhir (Ce)	Selisih (ΔC)	Persentase Penyisihan	Freundlich					
							Massa Teradsorbsi (x)	qe	Log Ce	Log qe	Keterangan	Nilai
10	100	50	10,02	2,25	7,77	77,53	0,39	3,88	0,352	0,59	1/N	0,2553
25	100	50	25,01	11,88	13,14	52,52	0,66	6,57	1,075	0,82	N	3,9170
50	100	50	49,45	28,00	21,45	43,38	1,07	10,73	1,447	1,03	in kf	0,5934
75	100	50	74,55	46,50	28,05	37,63	1,40	14,03	1,667	1,15	kf	1,8101
100	100	50	95,05	67,50	27,55	28,98	1,38	13,78	1,829	1,14		
150	100	50	142,73	104,25	38,48	26,96	1,92	19,24	2,018	1,28		
200	100	50	200,90	174,83	26,07	12,98	1,30	13,04	2,243	1,12		
250	100	50	236,38	211,25	25,13	10,63	1,26	12,56	2,325	1,10		
300	100	50	288,75	266,50	22,25	7,71	1,11	11,13	2,426	1,05		

Tabel 4.13 Data Penentuan Konstanta Freundlich Adsorben Aktivasi

Variasi Konsentrasi (ppm)	Massa Adsorbent (mg)	Volume Larutan (ml)	Konsentrasi Awal (C0)	Konsentrasi Akhir (Ce)	Selisih (ΔC)	Persentase Penyisihan	Freundlich					
							Massa Teradsorbsi (x)	qe	Log Ce	Log qe	Keterangan	Nilai
10	100	50	10,02	2,85	7,17	71,54	0,36	3,58	0,455	0,55	1/N	0,3113
25	100	50	25,01	11,38	13,64	54,52	0,68	6,82	1,056	0,83	N	3,2123
50	100	50	49,45	24,25	25,20	50,96	1,26	12,60	1,385	1,10	in kf	0,5576
75	100	50	74,55	42,00	32,55	43,66	1,63	16,28	1,623	1,21	kf	1,7465
100	100	50	95,05	62,50	32,55	34,25	1,63	16,28	1,796	1,21		
150	100	50	142,73	99,00	43,73	30,64	2,19	21,86	1,996	1,34		
200	100	50	200,90	160,84	40,06	19,94	2,00	20,03	2,206	1,30		
250	100	50	236,38	211,25	25,13	10,63	1,26	12,56	2,325	1,10		
300	100	50	288,75	262,60	26,15	9,06	1,31	13,08	2,419	1,12		

Keterangan :

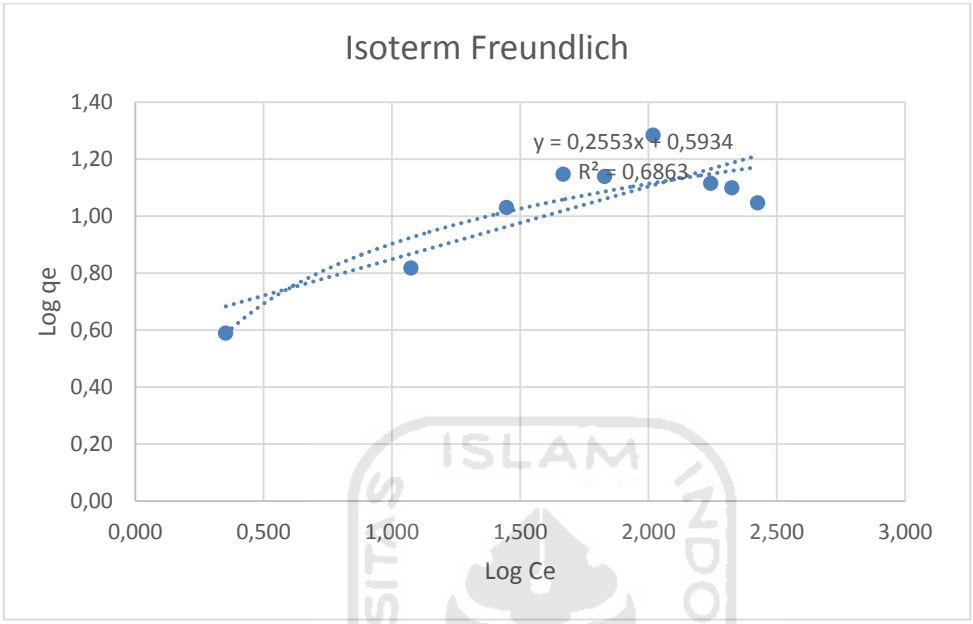
X = Massa Teradsorpsi (mg)

qe = Kemampuan Penyerapan (mg/gr)

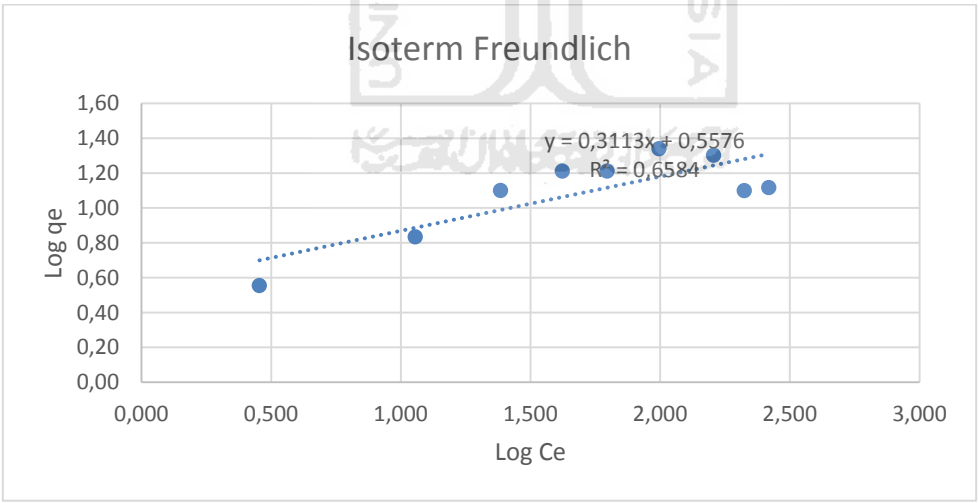
Ce = Konsentrasi Akhir (mg/l)

Dari perhitungan di dapat nilai Log qe dan Log Ce yang akan di plot untuk grafik persamaan linear isoterm Freundlich, sehingga didapat nilai R^2 dari persamaan tersebut untuk menentukan model isoterm dari proses adsorpsi bambu terhadap logam Cd. Grafik

persamaan linear dari isoterm Freundlich tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.21 dan Gambar 4.22.



Gambar 4.21 Kurva Kalibrasi Isoterm Freundlich Tanpa Aktivasi



Gambar 4.22 Kurva Kalibrasi Isoterm Freundlich Aktivasi

Dari Gambar 4.21 diperoleh nilai slope R^2 = 0,6863 dan Gambar 4.22 diperoleh nilai slope R^2 = 0,6584 dan nilai konstanta Freundlich didapat pada tabel Tabel 4.14 dan Tabel 4.15

Tabel 4.14 Nilai Konstanta Freundlich Tanpa Aktivasi

Keterangan	Nilai
1/N	0,2553
N	3,9170
in kf	0,5934
Kf	1,8101

Tabel 4.15 Nilai Konstanta Freundlich Aktivasi

Keterangan	Nilai
1/N	0,3113
N	3,2123
in kf	0,5576
Kf	1,7465

Nilai Kf tanpa aktivasi diperoleh sebesar 1,8101 dan Kf aktivasi sebesar 1,7465, hipotesis yang dapat diambil dari data-data tersebut adalah bahwa adsorbent dari bambu yang digunakan didalam percobaan ini merupakan adsorben dengan jenis 1 lapisan atau mono layer karena data yang diperoleh menunjukan bentuk pola isoterm Langmuir serta proses penyerapan ion logam Cd akan semakin baik jika dalam kondisi yang asam.Menunjukkan bahwa adsorpsi yang lebih sesuai dengan serbuk Bambu tanpa aktivasi dan aktivasi adalah isotermal Langmuir dibandingkan dengan model isotermal Freundlich. Hal ini bisa dilihat dari nilai R^2 Langmuir Tanpa Aktivasi sebesar 0,9095 dan R^2 Langmuir Aktivasi sebesar 0,9464 sedangkan untuk Freundlich Tanpa Aktivasi sebesar 0,6863 dan Freundlich Aktivasi sebesar 0,6584. kapasitas maksimum adsorpsi biosorben bambu tanpa aktivasi terhadap logam Pb dapat diketahui dengan hasil dari pemodelan Isoterm Langmuir.

Menurut (Hiemenz dan Rajagopalan,1997), persamaan isotermal Langmuir sudah memberikan hasil yang memadai pada banyak kasus dimana adsorben yang digunakan merupakan material yang heterogen. Berdasarkan isotermal Langmuir diatas, diperoleh nilai

Qm (kapasitas adsorpsi) untuk bambu Tanpa Aktivasi sebesar 13,81 mg/g dan Aktivasi sebesar 17,01 mg/g.

4.8 Mekanisme Adsorpsi Adsorben Bambu

Mekanisme isoterm Langmuir adsorben tanpa Aktivasi dan Aktivasi dalam menyisikan kadmium dapat dilihat pada table 4.16. Dari persamaan linear isoterm Langmuir akan didapatkan konstanta Langmuir dan kapasitas maksimum adsorpsi (q_m) seperti berikut ini.

Tabel 4.16 Mekanisme Adsorpsi Isoterm Langmuir dan Freundlich Logam Cd.

Adsorben	Langmuir			Freundlich		
	q_m (mg/g)	B	R^2	R^2	K_f	N
Tanpa Aktivasi	13,81	0,0756	0,9464	0,6863	1,8101	3,9170
Aktivasi	17,01	0,0588	0,9095	0,6584	1,7465	3,2123

Dari data pengujian Cd, didapatkan bahwa korelasi Isoterm Langmuir yang didapatkan cukup baik, yakni R^2 = 0.9095 untuk adsorben Tanpa Aktivasi dan R^2 = 0,9464 Untuk adsorben Aktivasi. Isoterm Freundlich R^2 = 0,6863 untuk adsorben Tanpa Aktivasi dan Aktivasi R^2 = 0,6584. Nilai R yang berada antara 0 dan 1 atau dapat dituliskan $0 < R < 1$ termasuk kategori baik untuk adsorpsi.

4.9 Perbandingan Kapasitas Adsorben Aktivasi Dengan Tanpa Aktivasi

Pada penelitian ini terkait penyerapan logam Cd, Kapasitas Adsorben aktivasi untuk menyerap logam Cd sebesar 17,01 mg/g sedangkan untuk adsorben tanpa aktivasi sebesar 13,81 mg/g , Penyerapan Aktivasi lebih bagus di bandingan dengan tanpa aktivasi sehingga adsorben aktivasi dapat menjadi salah satu alternatif pengolahan limbah logam berat Cd dalam air yang memiliki nilai ekonomis dalam pembuatannya karena menggunakan media bambu yang tidak digunakan kembali.

Dari penelitian dapat disimpulkan bahwa proses adsorpsi oleh suatu absorben dipengaruhi beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi antara lain jenis adsorben, jenis zat yang diserap, luas permukaan adsorben, massa adsorben, kondisi pH, waktu kontak,

konsentrasi zat yang diserap, dan suhu. Pola isoterm setiap bahan adsorbent yang berbeda, maka akan berbeda pula pola isotermnya yang dihasilkan .

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data yang diperoleh dari percobaan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa :

a. Adsorbent yang di aktivasi dengan asam sitrat memiliki daya serap yang lebih baik dibandingkan dengan adsorbent yang alami tanpa aktivasi dengan kemampuan masing-masing..
b. Uji variasi massa adsorben aktivasi dan non-aktivasi digunakan massa adsorben sebesar 100mg, pemilihan massa adsorben tersebut bukan karena persentase penyisihan yang paling besar, karena dari segi penggunaan adsorben 100mg sudah mencapai persentase penyisihan hingga 78,57 % untuk aktivasi dan 80,52% untuk tanpa aktivasi.
c. Uji variasi pH menghasilkan pH yang baik untuk adsorbsi oleh logam Cd yaitu pada pH 6, karena pada pH diatas 6 memungkinkan tidak hanya proses adsorbsi yang terjadi, namun juga terjadi proses pengendapan karena semakin kondisi basa logam Cd akan terendap sedangkan pH di bawah 6 terjadi penyerapan yang kurang maksimal.
d. Waktu yang dibutuhkan dalam proses adsorpsi untuk bisa mencapai batas maksimum adalah 120 menit.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan mengenai adsorben dari bambu dengan aktivasi kimia menggunakan asam sitrat maka hal-hal yang perlu dilakukan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

a. Menggunakan bahan baku bambu dengan jenis selain bambu petung, misalnya bambu kuning, yang juga memiliki kandungan Selulosa tinggi.

b. Penelitian selanjutnya dapat divariasikan dengan air limbah asli (bukan sintetis) agar dapat diaplikasikan langsung untuk pengujian limbah logam berat hasil produksi industri.
c. Pada proses pengujian di laboratorium harus memperhatikan ketelitian dan kebersihan peralatan yang digunakan saat pengujian, agar mengurangi kemungkinan data yang tidak sesuai atau akurat.

5.3 Rekomendasi

Penelitian tentang adsorbent bambu dapat dilanjutkan dengan aktivasi asam selain asam sitrat atau bisa digunakan aktivasi dengan larutan basa untuk mengetahui perbedaan yang terjadi pada gugus fungsi dari adsorbent tersebut. Selain itu, karakterisasi pada adsorbent dapat dilanjutkan ke tahap perhitungan luas permukaan dan uji kadar air.

ISLAM
UNIVERSITAS
INDONESIA

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad A, Rafatullah M., Sulaiman O., Ibrahim M. H., Chii Y. Y., dan Siddique B. M., 2009, *Removal of Cu(II) and Cd(II) ions from aqueous solutions by adsorption on sawdust of Meranti wood*, Desal, 250, 300-310.

Apriliani, A. 2010. *Pemanfaatan Arang Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu, dan Pb Dalam Air Limbah*. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah

Benny Rio, 2012. *Sistesis Pelapisan dan Stabilitas Senyawa Oksida Besi oleh Silika dan Aplikasinya untuk Amobilisasi Protein*, Padang : Program Studi Kimia Pasca Sarjana Universitas Andalas.

Berlian, N, E. Rahayu, 1995. *Jenis dan Prospek Bisnis Bambu*, Jakarta : Penebar Swadaya.

Chand, B., Roop, and Meenakshi Goyal. 2005. *Activated Carbon Adsorpsion.*

Cowd, M.A. 1991. *Kimia Polimer.* Bandung: Penerbit ITB.

Dransfield, S, and W.E.A. 1995. *Plant resources of Southeast Asia No.7 : Bamboos. PROSEA*, Bogor.

Fatoni, A., Hindriyawati, N., Sari, N. 2010. *Pengaruh pH Terhadap Adsorpsi Ion Logam Kadmium (II) Oleh Adsorben Jerami Padi.* Jurnal Kimia Mulawarman. 7. 5.

Giyatmi, Kamal, Z., Melati, D. 2008. *Penurunan Kadar Cu, Cr Dan Ag Dalam Limbah Cair Industri Perak Di Kota Agede Setelah Diadsorpsi Dengan Tanah Liat Dari Daerah Godean.* Prosiding Seminar Nasional IV. Batan, Yogyakarta.

Hiemenz P.C, Rajagopalan R, 1997, *Principles of Colloid and Surface Chemistry*, Marcel Dekker, Inc., New York.

Ibbet, R.N; Kaenthong,S; Philips, D.A.S.;Wilding, M.A 2006, *Charaterisatim of Porosity of Regenerated Cellulosil Fibres Using Classical Dye Adsorntion Tecniques*, Lenzinger Berichte, Vol.88,77-86.

Ip, A.W.M., Barford,J.P., McKay,G. 2008. *Production and Comparison of High Surface Area Bamboo Derived Active Carbons.Bioresources Technol*.99 (18) 8909-8916.

Krisdianto,G. Sumarni, dan A. Ismanto.2000. Sari Hasil Penelitian Bambu. Departemen Kehutanan, Jakarta.

McClure,F, 1996, *The Bamboos A Fresh Perspective*, Cambridge: Harvard University Press.

Mui,E.L.K.,Cheung,W.H.,Valix,Marjorie,McKay,G.2010. *Activated Carbons From Bamboo Scaffolding Using Acid Activation.Separation and Purification Technology* 74 213-218.

Mu'jizah, S. 2010. *Pembuatan Dan Karakterisasi Karbon Aktif Dari Biji Kelor (Moringa leifera. Lamk) Dengan NaCl Sebagai Bahan Pengaktif*. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim.

Mustafa, S., 2010, *Karakteristik Sifat mekanik Bambu Petung Pada Bambu Muda,Dewasa dan Tua: Studi Kasus Bagian Pangkal*, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

Nafie, L.N., Zakir, M., Karoma, M.J. 2012. *Pemanfaatan Serbuk Kayu Meranti Merah (Shorea parvifolia Dyer) Sebagai Biosorben Ion Logam Cd (II).* Indonesia Chimica Acta. 5. 2.

Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.

Pavasant, P., Apiratikul. R., Sungkhum, V., Suthiparinyanont, P., Wattanachira, S. dan Marhaba, T F., 2005. *Biosorpstion of $Cu^{2+,}$ $Cd^{2+,}$ $Pb^{2+,}$ and Zn^{2+} using dried marine green macroalga Caulerpa Ientillifera, Biorescour, Technol*., 97., 250-253.

Putra, S. E, dan Putra, J. A., 2005. *Bioremoval, Metode Alternatif Untuk Menanggulangi Pencemaran Logam Berat*, BPP IKHMI, Universitas Lampung.

Priyatno. 2007. *Pemisahan Kadmium Dalam Limbah Cair Industri Percetakan Dengan Sistem Elektromagnetik Plating.* Prosiding PPI-PDITN 2007. BATAN, Yogyakarta.

Saragih, S.A. 2008. *Pembuatan dan Karekterisasi Karbon Aktif dari Batubara Riau sebagai Adsorben.* Jakarta: Universitas Indonesia.

Semerjian, L. 2010. *Pemanfaatan Serbuk Kayu Pinus (halepensis) sebagai Biosorben Logam Cd (II).* Program Studi Kimia Pasca Sarjana Universitas Andalas.

Sherly, A dan S. E. Cahyaningrum, 2014. *Aktivasi dengan H2SO4 dan Aplikasinya sebagai Adsorben Ion Logam Cr (VI)* . UNESA *Journal of Chemistry* Vol.3 No1.

Siswoyo, E. 2014. *Pengelolaan Air Limbah Domestik dengan Menggunakan Sistem Constructed Wetlands*. Proseeding Seminar Nasional Jurusan Teknik Lingkungan.

Soedarsono dan Syahputra, B, 2005. *Pengolahan Air Limbah Batik Dengan Proses Kombinasi Elektrokimia, Filtrasi dan Adsorpsi, Makalah, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Lingkungan*, Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA), Semarang.

Sumirat, J. 2003. *Toksikologi Lingkungan*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press

Wahyuni, S, 2013. *Diktat petunjuk Praktikum Kimia Fisik*, Penerbit Jurusan Kimia FMIPA UNNES, Semarang.

Widya, 2006. *Analisis Morfologi Serat dan Sifat Fisis- Kimia pada Enam Jenis Bambu sebagai Bahan Baku Pulp dan Kertas. Bogor: Jurnal Ilmu dan Teknologi Hutan.*

LAMPIRAN

Lampiran 1

Tabel Kolerasi

Tabel korelasi menunjukan rentang nilai dari frekuensi data hasil FTIR untuk menunjukan jenis senyawa yang didapat.

TABLE 2.3
A SIMPLIFIED CORRELATION CHART

Type of Vibration			Frequency (cm^{-1})	Intensity	Page Reference
C–H	Alkanes	(stretch)	3000–2850	s	31
	$-CH_3$	(bend)	1450 and 1375	m	
	$-CH_2-$	(bend)	1465	m	
	Alkenes	(stretch)	3100–3000	m	33
		(out-of-plane bend)	1000–650	s	
	Aromatics	(stretch)	3150–3050	s	43
		(out-of-plane bend)	900–690	s	
	Alkyne	(stretch)	ca. 3300	s	35
	Aldehyde		2900–2800	w	56
			2800–2700	w	
C–C	Alkane		Not interpretatively useful		
C=C	Alkene		1680–1600	m–w	33
	Aromatic		1600 and 1475	m–w	43
C≡C	Alkyne		2250–2100	m–w	35
C=O	Aldehyde		1740–1720	s	56
	Ketone		1725–1705	s	58
	Carboxylic acid		1725–1700	s	62
	Ester		1750–1730	s	64
	Amide		1680–1630	s	70
	Anhydride		1810 and 1760	s	73
	Acid chloride		1800	s	72
C–O	Alcohols, ethers, esters, carboxylic acids, anhydrides		1300–1000	s	47, 50, 62, 64, and 73
O–H	Alcohols, phenols				
	Free		3650–3600	m	47
	H-bonded		3400–3200	m	47
	Carboxylic acids		3400–2400	m	62
N–H	Primary and secondary amines and amides				
	(stretch)		3500–3100	m	74
	(bend)		1640–1550	m–s	74
C–N	Amines		1350–1000	m–s	74
C=N	Imines and oximes		1690–1640	w–s	77
C≡N	Nitriles		2260–2240	m	77
X=C=Y	Allenes, ketenes, isocyanates, isothiocyanates		2270–1940	m–s	77
N–O	Nitro ($R-NO_2$)		1550 and 1350	s	79
S–H	Mercaptans		2550	w	81
S–O	Sulfoxides		1050	s	81
	Sulfones, sulfonyl chlorides, sulfates, sulfonamides		1375–1300 and 1350–1140	s	82
C–X	Fluoride		1400–1000	s	85
	Chloride		785–540	s	85
	Bromide, iodide		< 667	s	85

Lampiran 2

Baku Mutu Kualitas Lingkungan

Regulasi terkait nilai konsentrasi logam Cd didalam lingkungan dapat dilihat pada tabel lampiran 1 PP No. 82 Tahun 2001 yang menunjukan batas konsentrasi yang diperbolehkan didalam lingkungan.

LAMPIRAN: PERATURAN PEMERINTAH
NOMOR 82 TAHUN 2001
TANGGAL : 14 Desember 2001
TENTANG : PENGELOLAAN KUALITAS AIR DAN PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR

Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas

PARAMETER	SATUAN	KELAS				KETERANGAN
		I	II	III	IV	
FISIKA						
Temperatur	^{0}C	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 5	Deviasi temperatur dari alamiahnya
Residu Terlarut	mg/L	1000	1000	1000	2000	
Residu Tersuspensi	mg/L	50	50	400	400	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, residu tersuspensi $\leq$ 5000 mg/L
KIMIA ORGANIK						
pH		6 – 9	6 – 9	6 – 9	5 – 9	Apabila secara alamiah di luar rentang tersebut, maka ditentukan berdasarkan kondisi alamiah
BOD	mg/L	2	3	6	12	
COD	mg/L	10	25	50	100	
DO	mg/L	6	4	3	0	Angka batas minimum
Total fosfat sbg P	mg/L	0,2	0,2	1	5	
NO_3 sebagai N	mg/L	10	10	20	20	
NH_3-N	mg/L	0,5	(-)	(-)	(-)	Bagi Perikanan,kandungan amonia bebas untuk ikan yang peka $\leq$ 0,02 mg/L sebagai NH_3
Arsen	mg/L	0,05	1	1	1	
Kobalt	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
Barium	mg/L	1	(-)	(-)	(-)	
Boron	mg/L	1	1	1	1	
Selenium	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
Kadmium	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	
Khrom (VI)	mg/L	0,05	0,05	0,05	1	
Tembaga	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional,Cu $\leq$ 1 mg/L
Besi	mg/L	0,3	(-)	(-)	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Fe $\leq$ 5 mg/L
Timbal	mg/L	0,03	0,03	0,03	1	Bagi pengolahan air minum secara konvensional,Pb $\leq$ 0,1 mg/L
FISIKA						
Mangan	mg/L	0,1	(-)	(-)	(-)	
Air Raksa	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	