

Skripsi

KARBON AMPAS TEBU SEBAGAI ADSORBEN LOGAM KADMIUM

(Cd) PADA AIR LIMBAH PABRIK SEMEN TONASA

FIA APRIANI FATRIAL

H031191020



**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**KARBON AMPAS TEBU SEBAGAI ADSORBEN LOGAM KADMIUM
(Cd) PADA AIR LIMBAH PABRIK SEMEN TONASA**

FIA APRIANI FATRIAL

H031191020



**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**KARBON AMPAS TEBU SEBAGAI ADSORBEN LOGAM KADMIUM
(Cd) PADA AIR LIMBAH PABRIK SEMEN TONASA**

Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat

Untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Oleh:

FIA APRIANI FATRIAL

H031191020



**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

KARBON AMPAS TEBU SEBAGAI ADSORBEN LOGAM KADMIUM

(Cd) PADA AIR LIMBAH PABRIK SEMEN TONASA

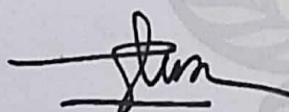
Disusun dan diajukan oleh

**FIA APRIANI FATRIAL
H031191020**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal **24 Januari 2024** dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

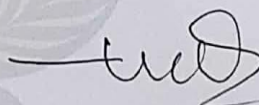
Menyetujui

Pembimbing Utama



Dr. Syahrudin Kasim, S.Si., M.Si
NIP. 19690705 199703 1 001

Pembimbing Pertama



Dr. Svarifuddin Liong, M.Si
NIP. 19520505 197403 1 002

Ketua Program Studi



Dr. St. Fauziah, M.Si
NIP. 19720202 199903 2 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fia Apriani Fatrial

NIM : H031191020

Program Studi : Kimia

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa Skripsi dengan judul “Karbon Ampas Tebu Sebagai Adsorben Logam Kadmium (Cd) Pada Air Limbah Pabrik Semen Tonasa” adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 24 Januari 2024
Yang menyatakan,



Fia Apriani Fatrial

LEMBAR PERSEMBAHAN

“Ya Allah, tidak ada kemudahan kecuali yang engkau buat mudah. Dan engkau menjadikan kesedihan (kesulitan), jika Engkau kehendaki pasti akan mudah.”

(HR. Ibnu Hibban)

PRAKATA

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan, Shalawat dan salam penulis kirimkan kepada Nabi Muhammad SAW, beserta para sahabat yang telah memberikan jalan terang bagi ummatnya.

Skripsi tugas akhir yang berjudul “**Karbon Ampas Tebu Sebagai Adsorben Logam Kadmium (Cd) Pada Air Limbah Pabrik Semen Tonasa**” sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Departemen Kimia Universitas Hasanuddin. Proposal tugas akhir ini disusun berdasarkan penelitian yang akan dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Penulis banyak menemui kendala dalam pelaksanaan maupun dalam penulisan Skripsi ini. Tapi berkat bantuan dari berbagai pihak maka segala kendala dapat diatasi.

Dengan segala kerendahan hati, penulis juga ingin menyampaikan terima kasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** selaku Ketua Departemen Kimia dan Ibu **Dr. Nur Umriani Permatasari, M.Si** selaku Sekretaris Departemen Kimia Fakultas Matematika, serta seluruh **Dosen** atas ilmu yang telah diberikan dan **Staff** Departemen Kimia yang telah banyak membantu.
2. Bapak **Dr. Syahrudin Kasim, S.Si., M.Si.** dan Bapak **Dr. Syarifuddin Liong, M.Si**, selaku pembimbing, yang selalu meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, serta memotivasi penulis dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini.

3. Bapak **Dr. Djabal Nur Basir, S.Si., M.Si** dan Ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** selaku tim penguji, atas segala diskusi dan saran yang telah diberikan demi perbaikan skripsi ini.
4. Keluarga tercinta, khususnya kepada ayah **Fatrial** dan ibu **Hamdana Wana** yang telah memberikan kasih sayang, mendidik, dan mendukung, serta selalu mendoakan penulis, dan juga segenap keluarga yang selalu melimpahkan doa, kasih sayang dan dukungannya kepada penulis. Semoga Allah SWT selalu memberikan perlindungan kepada mereka semua sekaligus melimpahkan rahmat-Nya kepada kalian.
5. Sahabat-sahabat tersayang **Wahyuni Ashari, Farah Wasilah** dan **Annisa Agistati Berlian** yang setia, sabar dan selalu menjadi pendengar dan penyemangat mulai dari SMP sampai sekarang.
6. Kepada **lelaki terkasih** yang selalu sabar, selalu menjadi tempat untuk berkeluh kesah saat merasa lelah dan ingin menyerah.
7. Kepada **A. Fadhillah Aulia Ramadhani** sebagai partner penelitian terima kasih dukungan dan semangatnya yang telah sama-sama berjuang dalam menyelesaikan penelitian ini.
8. Saudara berbeda ibu yang selama ini menjadi teman berjuang bersama dan menjadi tempat untuk berkeluh kesah **Wa Ode Safira Rahmawati Tamar, Zalshabila Yunita** dan **Wahidah** yang selalu menerima dalam suka maupun duka, dan menerima penulis apa adanya.
9. Teman-teman peneliti Laboratorium Kimia Anorganik dan KIMIA 2019 atas kebersamaan dan dorongannya selama ini.
10. Kepada segenap pihak dari keluarga maupun teman-teman yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak berjasa dan

senantiasa membantu penulis dalam menyelesaikan studi di Jurusan Kimia Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kesempurnaan. Namun, diharapkan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca, Aamiin.

Makassar, 24 Januari 2024

Fia Apriani Fatrial

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya serap karbon aktif dari ampas tebu dan kondisi optimum karbon aktif dalam mengadsorpsi ion logam berat Cd dengan variabel yaitu waktu kontak dan massa adsorben. Limbah ampas tebu memiliki kandungan selulosa yang mampu untuk mengadsorpsi adsorben. Preparasi ampas tebu meliputi pembuatan arang ampas tebu, pembuatan karbon aktif secara aktivasi kimia dengan menggunakan larutan HCl, karbon aktif yang diperoleh dikarakterisasi meliputi uji kadar air, kadar abu serta analisis gugus fungsi menggunakan *Instrument Fourier Infrared* (FTIR), dan analisis morfologi arang aktif menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Aplikasi arang aktif digunakan sebagai adsorben logam berat Cd dengan menggunakan Spektrometri Serapan Atom (SSA). Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan daya serap adsorpsi karbon aktif pada variasi massa untuk logam Cd diperoleh massa optimum 3,5 g dengan daya serap adsorpsi logam adalah 0,2274 mg/g dan waktu optimum adalah 75 menit.

Kata Kunci: Adsorpsi, Air Limbah, Ampas tebu, Cd Karbon aktif, Logam Berat

ABSTRACT

This research concerning to determine the absorption capacity of activated carbon from bagasse and the optimum condition of activated carbon in adsorbing heavy metal ions Cd with variables namely contact time and adsorbent mass. Sugarcane bagasse waste has cellulose content that is able to adsorb adsorbents. The preparation of bagasse includes making bagasse charcoal, making activated carbon by chemical activation using HCl solution, activated carbon obtained is characterized including water content test, ash content and functional group analysis using Fourier Infrared Instrument (FTIR), and morphological analysis of activated charcoal using Scanning Electron Microscope (SEM). The application of activated charcoal is used as an adsorbent for heavy metal Cd using Atomic Absorption Spectrometry (SSA). Based on the results showed that the ability of activated carbon adsorption adsorption on mass fariation for Cd metal obtained optimum mass of 3,5 g with adsorption adsorption metal is 0,2274 mg/g and optimum time is 75 minutes.

Keywords: Activated carbon, Adsorption, Bagasse, Cd, Heavy metal, Wastewater

DAFTAR ISI

	halaman
PRAKATA	vii
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SIMBOL	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Adsorpsi	7
2.2 Logam Berat	9
2.3 Kadmium (Cd)	11
2.4 AmpasTebu	12
2.5 Karbon Aktif	13
2.5.1 Karbonasi	14
2.5.2 Aktivasi	14
2.6 Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	15
	xii

2.7 Fourier Transformed Infrared (FTIR)	18
2.8 Scanning Electron Microscopy (SEM)	20
BAB III METODE PERCOBAAN	
3.1 Bahan Penelitian	21
3.2 Alat Penelitian	21
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.4 Penentuan Titik Pengambilan Air Limbah	21
3.5 Prosedur Penelitian	22
3.5.1 Pembuatan Karbon Ampas Tebu	22
3.5.2 Pembuatan Karbon Aktif dengan Aktivasi Kimia	22
3.5.3 Karakterisasi Karbon Aktif Ampas Tebu	22
3.5.3.1 Analisis Kadar Air	22
3.5.3.2 Analisis Kadar Abu	23
3.5.3.3 Analisa Gugus Fungsi	23
3.5.4 Pengambilan Sampel Air Limbah	23
3.5.5 Preparasi Sampel Air Limbah	24
3.5.6 Penentuan Kadar Awal Logam Kadmium (Cd)	24
3.5.6.1 Pembuatan Larutan Induk Kadmium (Cd) 100 mg/L	24
3.5.6.2 Pembuatan Larutan Baku Intermediet Kadmium (Cd) 25 mg/L ...	24
3.5.6.3 Pembuatan Larutan Baku Kerja Kadmium (Cd)	24
3.5.6.4 Analisis Logam Kadmium (Cd) dengan Spektrofotometer Serapan Atom	25
3.5.7 Aplikasi Karbon Aktif Ampas Tebu sebagai Adsorben Logam Berat Kadmium (Cd)	25
3.5.7.1 Pengujian Porsen Adsorpsi Adsorben Berdasarkan Variasi Waktu Kontak	25

3.5.7.2 Pengukuran Persen Adsorpsi Adsorben Berdasarkan Variasi Massa	26
3.5.8 Penentuan Jumlah Cd(II) yang Teradsorpsi dalam Karbon Aktif Ampas Tebu	26
3.5.6.2 Perhitungan Kemampuan Adsorpsi Logam Cd(II)	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pembuatan Karbon Aktif Ampas Tebu	28
4.2 Karakterisasi Karbon Aktif Ampas Tebu	29
4.2.1 Analisis Kadar Air	29
4.2.2 Analisis Kadar Abu	30
4.2.3 Analisa Gugus Fungsi	30
4.2.4 Analisa Morfologi Permukaan	32
4.3 Konsentrasi Logam Berat Cd dalam Air Limbah Pabrik	33
4.4 Pengaplikasian Karbon Aktif sebagai Adsorben Logam Berat Cd ..	34
4.4.1 Penentuan Waktu Optimum Karbon Aktif Ampas Tebu	34
4.4.2 Penentuan Massa Optimum Karbon Aktif Ampas Tebu	36
BAB V KESIMPULAN	
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	46

DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1. Interpretasi gugus fungsi spektrum FTIR ampas tebu	31
2. Perbandingan kapasitas penjerapan adsorben variasi waktu	36
3. Perbandingan kapasitas penjerapan adsorben variasi massa	38
4. Adsorbansi larutan baku kerja logam Cd	57
5. Hasil pengukuran konsentrasi logam Cd dalam air limbah	58
6. Daya adsorpsi adsorben variasi waktu	60
7. Daya adsorpsi adsorben variasi massa	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
8. Logam kadmium (Cd).....	11
9. Spektrofotometer serapan atom	16
10. Komponen spektrofotometer serapan atom	17
11. Sumber atomisasi spektrofotometer serapan atom	17
12. Instrumen FTIR	19
13. Spektrum FTIR karbon ampas tebu	30
14. Morfologi permukaan karbon ampas tebu	32
15. Konsentrasi kadmium dalam air limbah pabrik	33
16. Grafik waktu optimum adsorben karbon aktif ampas tebu	35
17. Grafik massa optimum adsorben karbon aktif ampas tebu	37
18. Grafik hubungan larutan baku kerja Cd	58
19. Peta lokasi sampling	65

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	halaman
1. Skema Kerja Penelitian	46
2. Bagan Kerja	47
3. Perhitungan	54
4. Peta lokasi sampling	65
5. Dokumentasi	66

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

EPA	= <i>Environment Protection Agency</i>
FTIR	= <i>Fourier Transformed Infra red</i>
g	= Gram
HCL	= <i>Hallow Cathode Lamp</i>
IPAL	= Intalasi Pengolahan Air Limbah
L	= Liter
mg	= Miligram
pH	= <i>Potencial of Hydrogen</i>
PT	= Perseroan Terbatas
PP	= Peratutan Pemerintah
SEM	= <i>Scanning Electron Microscopy</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SSA	= Spektrofotometri Serapan Atom

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan laju industrialisasi saat ini sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan diseluruh sektor pembangunan. Pencemaran lingkungan menjadi salah satu dampak dari aktivitas pembangunan serta peningkatan aktivitas industri yang melibatkan penggunaan logam berat. Polutan tersebut terbukti memiliki dampak buruk terhadap kesehatan makhluk hidup di sekitarnya dan mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan (Nafie dkk., 2012).

Sifat yang toksik, tidak dapat terdegradasi dan dapat terakumulasi dalam rantai makanan merupakan sifat-sifat dari logam berat. Hal tersebut menjadikan keberadaan logam berat di dalam lingkungan sangat berbahaya. Sumber logam berat dapat berasal dari aktivitas manusia, diantaranya kegiatan industri yang secara sengaja atau tidak sengaja membuang limbahnya ke lingkungan tanpa pengolahan terlebih dahulu. Sebagian besar logam berat dalam konsentrasi yang tinggi berbahaya bagi lingkungan (Anis dan Gusrizal, 2006).

Sejumlah logam berat yang sering ditemui dalam limbah industri yakni kadmium (Cd), seng (Zn), tembaga (Cu), nikel (Ni), timbal (Pb), raksa (Hg), dan kromium (Cr). Jika dilihat dari toksitas terhadap manusia, sebenarnya ada begitu banyak logam berat yang tergolong toksik, namun ada lima logam berat yang menduduki tempat teratas menurut tingkat toksitas sehingga *Environment Protection Agency* (EPA) menyertakan dalam bagian “TOP-20” bahan berbahaya dan beracun yakni arsen (As), timbal (Pb), raksa (Hg), kadmium (Cd) dan kromium (Cr) (VI) (Sudarmaji, 2006).

Limbah yang mengandung logam berat dengan konsentrasi tertentu dapat memberikan efek toksik. Terdapat beberapa metode yang telah dikembangkan untuk mengurangi kadar logam berat di perairan, seperti metode pengendapan, evaporasi, elektrokimia dan adsorpsi (Lelifajri, 2010). Proses secara fisika dan kimia juga dapat dilakukan untuk mengurangi kadar logam berat, proses tersebut meliputi presipitasi, koagulasi dan pertukaran ion. Tetapi metode-metode tersebut masih mahal terutama bagi negara-negara berkembang. Metode alternatif yang dapat digunakan yaitu adsorpsi. Adsorpsi merupakan teknik pemurnian dan pemisahan yang efektif dipakai dalam industri karena dianggap lebih ekonomis dalam pengolahan air limbah dan merupakan teknik yang sering digunakan untuk mengurangi ion logam berat dalam air limbah (Selvi dkk., 2001).

Biaya operasional yang murah, proses sederhana dan mudah dalam pengoperasiannya menjadi keunggulan dari metode adsorpsi. Kemampuan adsorpsi dari suatu zat bergantung pada jenis adsorben yang digunakan. Adsorben yang berasal dari karbon aktif memiliki daya serap yang tinggi dalam mengadsorpsi suatu adsorbat serta reaktif (Sihombing, 2019). Karbon aktif sering digunakan sebagai adsorben dalam proses adsorpsi limbah perairan yang mengandung logam. Karbon aktif memiliki efisiensi adsorpsi yang tinggi karena memiliki pori dan dapat dihasilkan dari setiap padatan berkarbon, baik sintetik atau alami (Zulfadhli dan Iriany, 2017).

Karbon aktif dapat dipergunakan pada berbagai industri, antara lain yaitu industri obat-obatan, makanan, minuman, pengolahan air (penjernihan air) dan lain-lain. Hampir 70% produk karbon aktif digunakan untuk pemurnian dalam sektor minyak kelapa, farmasi dan kimia (Pari dan Sailah, 2001). Bahan baku

yang dapat diolah menjadi karbon aktif adalah semua bahan yang mengandung karbon, baik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan, binatang ataupun barang tambang (Subadra dkk., 2005). Pemanfaatan bahan alami atau biomaterial dari limbah pertanian sebagai bahan pengganti karbon aktif ataupun resin penukar ion untuk menyerap senyawa-senyawa beracun telah mulai diteliti. Penggunaan biomaterial dari limbah pertanian atau industri dapat digunakan sebagai alternatif adsorben dengan biaya rendah. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan memperlihatkan bahwa biomaterial mengandung gugus fungsi antara lain: hidroksil, karboksil, amino, sulfat dan sulfihidril yang mempunyai kemampuan penyerapan yang baik (Volesky, 2004).

Karbon aktif dari bahan alam khususnya limbah pertanian dan perkebunan yaitu tempurung kelapa, tempurung kemiri, ampas tebu dan bahan lainnya yang bersifat terbarukan, melimpah, tersedia, dan relatif tidak mahal, apalagi sering ditemukan sebagai limbah. Limbah ampas tebu di Indonesia cukup melimpah, ampas tebu hasil dari industri gula jumlahnya dapat mencapai 90% dari setiap tebu yang diolah. Ampas tebu dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan *particle board*, bahan bakar *boiler*, pupuk organik, dan pakan ternak (Yudo dan Jatmiko, 2008).

Ampas tebu berasal dari hasil limbah industri gula atau pembuatan minuman dari air tebu yang belum termanfaatkan secara optimal sehingga membawa masalah tersendiri bagi industri gula maupun lingkungan karena dianggap sebagai limbah. Secara kimiawi, komponen utama penyusun ampas tebu adalah serat yang didalamnya terkandung senyawa selulosa, poliosa seperti hemiselulosa, lignoselulosa dan lignin. Ampas tebu mengandung selulosa sekitar 45% mengandung air 48-52%, gula rata-rata 3,3% dan serat rata-rata 47,7%.

Selulosa merupakan senyawa yang karakter hidrofilik karena adanya gugus hidroksil pada tiap unit polimernya, permukaan gugus fungsi selulosa alam ataupun turunannya dapat berinteraksi secara fisik atau kimia dengan logam berat (Santosa dkk., 2003).

Ampas tebu yang tidak dimanfaatkan akan ditimbun sebagai sampah, ampas tebu yang ditimbun dalam waktu tertentu dapat menimbulkan permasalahan, karena ampas tebu mudah terbakar. Upaya untuk meminimalisir limbah ampas tebu yaitu dijadikan karbon aktif. Ampas tebu mengandung lignoselulosa, memiliki kadar karbon dan oksigen yang tinggi sehingga dapat dijadikan sebagai karbon aktif (Handayani dan Rusmini, 2019).

Ampas tebu memiliki serat dan pori-pori yang cukup besar dalam menampung gula yang sebelumnya terkandung dalam ampas tebu tersebut, sehingga ion logam dapat terserap menggantikan posisi gula. Penggunaan ampas tebu sebagai alternatif biomaterial penyerap ion logam merupakan proses daur ulang yang sangat baik bagi penghematan sumber daya alam dan merupakan salah satu cara bagi pengolahan limbah. Selain itu, karena ampas tebu mudah didapatkan serta dapat diregenerasi kembali dan dari sisi ekonomis ampas tebu yang murah dibanding penyerap sintetis lain, maka hal ini menjadi keuntungan tersendiri dalam penggunaan ampas tebu sebagai penyerap ion logam (Refilda dkk., 2001).

Penelitian Huda dkk., (2020) menggunakan karbon aktif dari bambu ori yang telah diaktivasi menggunakan asam klorida (HCl). Hasil penelitian ini diperoleh suhu terbaik karbonasi 300 °C dengan konsentrasi HCl 1 N. Hasil karakterisasi diperoleh 5,9% kadar air, 4,463% kadar zat mudah menguap, 9,3%

kadar abu, 80,337% karbon terikat, dan 698,12 mg/g daya serap terhadap Iodium. Penelitian lain dilakukan oleh Imani dkk., (2021) mengungkapkan bahwa analisis kandungan yang terdapat dalam karbon aktif ampas tebu telah dikatakan memenuhi syarat sesuai dengan SNI No. 06-3730-1995, hal ini ditunjukkan oleh parameter uji kadar air sebesar 6,09%, kadar abu 5,11%, *volatile matter* 18,80%, *fix carbon* 70,00%, dan daya serap I_2 816,41 mg/L. Kondisi optimum diperoleh pada variasi perlakuan dengan penambahan adsorben sebanyak 3 g dan waktu kontak 60 menit.

Berdasarkan uraian diatas maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan ampas tebu sebagai alternatif bahan baku pembuatan karbon aktif dan kemampuannya dalam menyerap ion logam dalam air limbah, terutama pada ion logam kadmium (Cd) sebagai upaya dalam membantu meminimalisir pencemaran logam berat di lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini akan dirumuskan sebagai berikut:

1. bagaimana pengaruh aktivasi menggunakan aktivator HCl terhadap pori karbon aktif ampas tebu?
2. bagaimana hasil karakterisasi karbon ampas tebu sebelum dan setelah aktivasi?
3. bagaimana potensi ampas tebu sebagai adsorben ion logam kadmium (Cd)?
4. berapa kadar ion logam kadmium (Cd) dalam sampel air limbah pabrik Semen Tonasa?
5. berapa kadar akhir ion logam kadmium (Cd) dalam sampel yang telah diproses?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.3.1 Maksud Penelitian

Maksud dari penelitian ini untuk mengetahui potensi ampas tebu sebagai adsorben ion logam kadmium (Cd) dalam air limbah industri semen untuk meminimalisir pencemaran lingkungan yang ada di sekitar pabrik Semen Tonasa.

1.3.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. mengetahui pengaruh aktivasi menggunakan aktivator HCl terhadap pori karbon aktif ampas tebu?
2. menganalisis hasil karakterisasi karbon ampas tebu sebelum dan setelah aktivasi?
3. mengetahui potensi ampas tebu sebagai adsorben ion logam kadmium (Cd)?
4. menganalisis kadar ion logam kadmium (Cd) dalam sampel air limbah pabrik Semen Tonasa?
5. menganalisis kadar akhir ion logam kadmium (Cd) dalam sampel yang telah diproses?

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai alternatif dalam mengurangi pencemaran limbah logam kadmium (Cd) di wilayah perairan pabrik Semen Tonasa.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Adsorpsi

Adsorpsi adalah akumulasi adsorbat pada permukaan adsorben melalui gaya tarik menarik antar molekul atau akibat medan gaya permukaan yang mampu menarik molekul lain (Sihombing, 2019). Adsorpsi adalah suatu proses keterikatan suatu zat pada permukaan zat lain. Proses tersebut dapat terjadi pada berbagai fase seperti gas-cair, cair-padatan, cair-cair, dan gas-padatan (Cecen dan Ozgur, 2011). Proses suatu adsorpsi melibatkan adsorben dan adsorbat. Adsorben adalah zat yang memiliki kemampuan untuk menyerap komponen tertentu pada kondisi fluida, sedangkan adsorbat merupakan suatu zat yang dapat diserap oleh adsorben (Giyatmi dkk., 2008). Proses adsorpsi dapat terjadi jika suatu zat dikontakan dengan molekul adsorbat, sehingga diantara molekul terjadi gaya kohesi dan gaya ikatan hidrogen. Gaya yang tidak seimbang dapat menyebabkan perubahan konsentrasi suatu molekul pada permukaan adsorbat (Ginting, 2008).

Proses adsorpsi terbagi menjadi dua proses yaitu, adsorpsi secara kimia dan fisika (Shofa, 2012).

1. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia dapat terjadi akibat pembentukan suatu ikatan kimia antara permukaan adsorben dan molekul adsorbat. Ikatan kimia yang terbentuk dapat berupa ikatan kovalen/ion. Adsorpsi kimia diawali dengan adanya adsorpsi fisik melalui gaya van der Waals yang kemudian adsorbat tersebut melekat pada permukaan adsorben sehingga membentuk ikatan kimia.

2. Adsorpsi Fisika

Gaya van der Waals pada permukaan adsorben dan molekul adsorbat menyebabkan terjadinya proses adsorpsi fisika, gaya tarik menarik antara permukaan adsorben dengan molekul relatif lemah pada adsorpsi fisika hal tersebut disebabkan gaya yang terjadi antara molekul pada permukaan padatan dengan molekul fluida pada lebih kecil dari pada gaya antar molekul fluida. Kondisi adsorbat pada adsorpsi fisika tidak terikat dengan kuat pada permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bebas bergerak dari permukaan adsorben ke permukaan adsorben lainnya.

Kapasitas adsorpsi merupakan kemampuan suatu zat yang berperan sebagai adsorben (adsorben) dalam menyerap suatu adsorbat (Deviyanti dan Heriwati, 2014). Adsorpsi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut:

1. Keasaman (pH)

Kondisi pH berpengaruh dalam proses ionisasi gugus fungsional yang terdapat pada permukaan adsorben. Senyawa organik yang memiliki kondisi basa dapat lebih mudah diadsorpsi pada kondisi pH tinggi, sedangkan senyawa organik yang memiliki kondisi asam dapat lebih mudah diadsorpsi pada kondisi pH rendah.

2. Temperatur

Peningkatan laju adsorpsi dapat terjadi akibat adanya peningkatan temperatur. Laju adsorpsi akan meningkat dengan terjadinya peningkatan temperatur. Adsorpsi merupakan proses eksotermik sehingga pada temperatur tinggi derajat adsorpsi turun dan pada temperatur rendah derajat adsorpsi akan meningkat.

3. Waktu Kontak

Waktu kontak antara molekul adsorbat dengan permukaan berpengaruh dalam proses adsorpsi. Proses Adsorpsi ion yang terjadi berbanding lurus dengan waktu yang dikontakan. waktu kontak yang lebih lama akan mempengaruhi penempelan adsorbat pada adsorben (Hasrianti, 2012).

Beberapa cara dapat dilakukan untuk menurunkan konsentrasi dan menanggulangi pencemaran logam berat di lingkungan perairan baik secara fisika maupun secara kimia seperti pengendapan, pertukaran ion, filtrasi, osmosis balik, dan juga adsorpsi menggunakan adsorben sintetis. Dibandingkan dengan beberapa metode tersebut, teknik adsorpsi merupakan metode yang paling umum dipakai karena lebih sederhana (Utubira dkk., 2006).

2.2 Logam Berat

Logam adalah unsur yang memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, kelenturan, dan kilau yang akan membentuk ion ketika kekurangan elektron. Logam ditemukan secara alami di kerak bumi dengan komposisi yang berbeda-beda. Distribusi logam di atmosfer dipengaruhi oleh sifat-sifat logam yang disebabkan oleh berbagai faktor lingkungan (Nuraini dkk., 2017). Logam berdasarkan densitasnya terbagi menjadi dua yaitu logam ringan dan logam berat.

Logam berat adalah logam yang memiliki berat jenis lebih dari 5 g/cm^3 , terletak di sudut kanan bawah pada sistem periodik unsur, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap sulfur (S) dan biasanya bernomor atom 22 sampai 92 dari periode 4 sampai 7 (Setiawan, 2013). Logam berat dalam air laut terdapat dalam bentuk terlarut atau tersuspensi. Pada kondisi alami, logam berat juga dibutuhkan oleh organisme untuk melakukan pertumbuhan dan perkembangan hidupnya.

Logam berat termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam lain. Perbedaannya terletak pada pengaruh yang dihasilkan bila logam berat berikatan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup. Misalnya, bila unsur logam besi (Fe) masuk ke dalam tubuh, meski dalam jumlah agak berlebihan, biasanya tidaklah menimbulkan pengaruh yang buruk terhadap tubuh. Karena unsur logam besi (Fe) dibutuhkan untuk mengikat oksigen dalam darah (Palar, 2008).

Logam berat merupakan polutan lingkungan yang memasuki lingkungan dengan cara alami dan melalui aktivitas manusia. Berbagai sumber logam berat yaitu erosi tanah, pelapukan alami kerak bumi, pertambangan, limbah industri, pembuangan limbah, penggunaan pestisida, dan lainnya (Jaishankar, 2014). Logam berat dalam konsentrasi tertentu sangat berbahaya apabila masuk ke ekosistem laut. Logam berat memberikan efek toksik pada organisme laut, baik pada proses fisiologis, morfologi, genetika, bahkan dapat menyebabkan kematian (Nasution dan Siska, 2011).

Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat dibagi menjadi dua jenis, yaitu logam berat esensial dan logam berat non-esensial. Logam berat esensial adalah logam yang keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh tubuh namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun, contoh logam berat ini adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn, dan lain-lain. Logam berat non-esensial adalah logam yang tidak dibutuhkan oleh tubuh dan bersifat racun, contoh logam ini yaitu Hg, Pb, Cd, Cr, dan lain-lain (Irhamni dkk., 2017).

Sebagian dari logam berat bersifat esensial bagi organisme air untuk pertumbuhan dan perkembangan hidupnya, antara lain dalam pembentukan haemosianin dalam sistem darah dan enzimatis pada biota. Akan tetapi bila

jumlah dari logam berat masuk ke dalam tubuh dengan jumlah berlebih, maka akan berubah fungsi menjadi racun bagi tubuh. Sebagai contoh adalah raksa (Hg), kadmium (Cd) dan timah hitam (Pb) (Santosa, 2013).

2.3 Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) merupakan logam dengan fisik (Gambar 1) berwarna putih perak, lunak, mengkilap, tidak larut dalam basa, mudah bereaksi, serta menghasilkan Kadmium Oksida bila dipanaskan. Logam kadmium (Cd) memiliki nomor atom 48 dengan konfigurasi $[\text{Kr}] 5s^2 4d^{10}$, berat atom 112,4, titik leleh $321\text{ }^{\circ}\text{C}$, titik didih $767\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan memiliki massa jenis $8,65\text{ g/cm}^3$. Kadmium (Cd) umumnya terdapat dalam kombinasi dengan klor (CdCl_2) atau belerang membentuk sulfat (CdSO_4). Kadmium (Cd) membentuk Cd^{2+} yang bersifat tidak stabil dimana konfigurasi dari Cd^{2+} yaitu $[\text{Kr}] 4d^{10}$ (Widowati dkk., 2008).



Gambar 1. Logam kadmium (Cd)

Logam 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. Logam kadmium (Cd) biasanya selalu dalam bentuk campuran dengan logam lain terutama dalam pertambangan timah hitam dan seng. Kadmium (Cd)

adalah metal berbentuk kristal putih keperakan. Kadmium (Cd) didapat bersama-sama Zn, Cu, Pb, dalam jumlah yang kecil. Kadmium (Cd) didapat pada industri alloy, pemurnian Zn, pestisida, dan lain-lain (Said, 2008).

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 berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal (Palar, 2008).

Logam kadmium (Cd) mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam. Berdasarkan sifat-sifat fisiknya, kadmium (Cd) merupakan logam yang lunak dapat dibentuk, berwarna putih seperti putih perak. Logam ini akan kehilangan kilapnya bila berada dalam udara yang basah atau lembab serta cepat akan mengalami kerusakan bila dikenai uap amoniak (NH_3) dan sulfur hidroksida (SO_2) (Palar, 2004). Pada kegiatan pertambangan biasanya kadmium ditemukan dalam bijih mineral diantaranya adalah sulfida green ockite (=xanthochroite), karbonat otative, dan oksida kadmium. Mineral-mineral ini terbentuk berasosiasi dengan bijih sfalerit dan oksidanya, atau diperoleh dari debu sisa pengolahan lumpur elektrolit (Herman, 2006).

2.4 Ampas Tebu

Ampas tebu adalah limbah yang dihasilkan dari industri gula maupun pembuatan minuman dari air tebu. Es tebu saat ini banyak digemari oleh masyarakat karena harganya terjangkau dan rasanya yang nikmat. Ampas tebu

belum dimanfaatkan secara optimal sehingga membawa masalah bagi industri gula dan lingkungan karena dianggap sebagai limbah (Nurhayati, 2014). Industri gula rata-rata menghasilkan ampas tebu sebesar 32% dari bobot tebu yang digiling. Ampas tebu sebagian besar digunakan sebagai bahan bakar boiler dan sekitar 1,6% dari bobot ampas tebu tidak dimanfaatkan. Ampas tebu mengandung bahan organik sekitar 90%, sehingga berpotensi untuk dijadikan bahan baku karbon aktif (Nurhayati, 2015).

Adanya kandungan selulosa dan lignin menjadikan ampas tebu berpotensi menjadi sumber karbon yang dapat dimanfaatkan dalam proses adsorpsi. Arang atau karbon adalah hasil pembakaran tanpa oksigen (karbonisasi) yang berupa residu padat hitam dan berpori yang dihasilkan melalui penguraian bahan organik dengan menghilangkan air dan komponen volatil (Syauqiah, Amalia, dan Kartini, 2011).

2.5 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan karbon yang berbentuk amorphous atau mikrokristalin. Karbon memiliki “permukaan dalam” (*internal surface*) dan memiliki luas permukaan berkisar antara 300-2000 m² /gr. Karbon aktif terdiri dari dua jenis yaitu karbon aktif fasa cair dan karbon aktif fasa gas. Material dengan berat jenis rendah menghasilkan karbon aktif fasa cair. Sedangkan karbon aktif fasa gas dihasilkan dari material dengan berat jenis tinggi (Ramdja dkk., 2008). Pembuatan karbon aktif dilakukan dalam dua tahap yaitu karbonisasi dan aktivasi (Lempang, 2014). Berdasarkan persyaratan SNI 1683:2021, kualitas karbon yang berkualitas baik memiliki kadar air maksimal sebesar 10% dan kadar abu maksimal 4%.

Industri yang menggunakan karbon aktif, seperti industri obat-obatan, makanan, minuman, pengolahan air (penjernihan air) dan lain-lain. Proses pemurnian dalam sektor minyak kelapa, farmasi dan kimia menggunakan karbon aktif kurang lebih 70%. Semua bahan yang mengandung karbon merupakan bahan baku pembuatan karbon aktif, seperti berbagai jenis kayu, sekam padi, tulang binatang, batu-bara, tempurung kelapa, kulit biji kopi (Pambayun dkk., 2013).

2.5.1 Karbonasi

Karbonisasi ialah mengurainya selulosa menjadi karbon pada suhu berkisar 275 °C. Desi dkk. (2015), menyatakan bahwa proses karbonisasi terdiri atas 4 tahap, yaitu:

1. suhu 100-120 °C mengalami penguapan air dan suhu 270 °C mengalami penguapan selulosa. Proses ini menghasilkan destilat yang mengandung asam organik dan sedikit metanol.
2. suhu 270–310 °C terjadi reaksi eksotermik. Penguraian selulosa menjadi larutan pirolignat, gas kayu (CO dan CO₂).
3. jumlah gas CO, CH₄ dan H₂ meningkat serta pada suhu 310–510 °C jumlah asam pirolignat dan CO₂ menurun.
4. kadar karbon meningkat pada suhu 500–1000 °C.

2.5.2 Aktivasi

Proses pembentukan dan penyusunan karbon sehingga pori-pori menjadi lebih besar disebut tahap aktivasi. Aktivasi yang sering dilakukan yaitu aktivasi secara kimia dan aktivasi secara fisika. Prinsip aktivasi kimia yaitu perendaman arang/karbon dengan senyawa kimia sebelum dipanaskan. Prinsip aktivasi fisika yaitu aktivasi dimulai dengan mengairi gas-gas ringan, seperti uap air,

CO₂ atau udara ke dalam retort yang berisi arang dan dipanaskan pada suhu 800–1000 °C (Lempang, 2014).

Prekursor pada aktivasi kimia mengimpregnasi agen aktivasi seperti seng klorida atau asam fosfat setelah proses karbonisasi dalam gas inert pada suhu 400–800 °C (Alhamed, 2006). Bahan kimia seperti H₃PO₄, NH₄Cl, AlCl₃, HNO₃, KOH, NaOH, KMnO₄, SO₃, H₂SO₄, dan K₂S digunakan dalam aktivasi kimia (Kienle, 1986). Karbon aktif dari tempurung kemiri dapat diaktivasi dengan menggunakan aktivator KOH.

2.6 Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Pada tahun 1860 Kirchoff dan Bunsen menyatakan bahwa spektrum atom, baik spektrum emisi maupun spektrum absorpsi dapat digunakan sebagai dasar teknik analisis unsur selektif. Peristiwa serapan atom pertama kali diamati oleh Fraunhofer, ketika menelaah garis-garis hitam pada spektrum matahari. Sedangkan yang memanfaatkan prinsip serapan atom pada bidang analisis adalah Alan Walsh pada tahun 1955 (Khopkar, 2003).

Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) adalah alat yang digunakan analisis untuk penentuan unsur logam dan metaloid berdasarkan pada penyerapan cahaya oleh atom. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) merupakan metode analisis berdasarkan penyerapan energi atom pada tingkat energi dasar. Spektrofotometri serapan atom juga metode kuantitatif dengan unsur yang sangat luas karena prosedur selektif, spesifik, biaya analisa lebih murah, dan sensitifitas tinggi (batas deteksi kurang dari 1 mg/L). Teknik ini menjadi canggih karena pengukurannya tidak memerlukan pemisahan unsur tertentu, karena penentuan unsur yang lebih dari satu dapat dilakukan asal katoda berrongga

tersedia (Ifa dkk., 2018). Alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dapat dilihat pada Gambar 2.

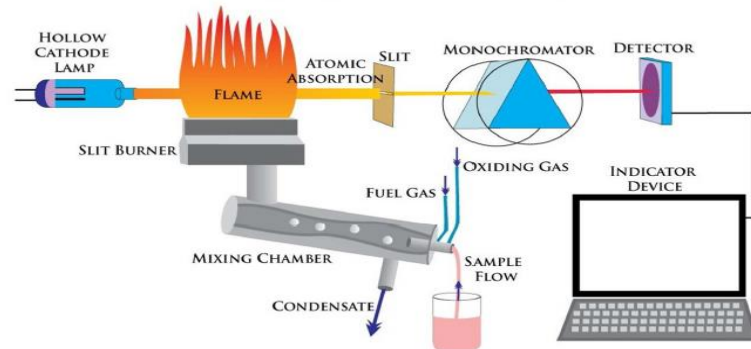


Gambar 2. Spektrofotometer serapan atom

Sumber cahaya dari alat SSA yaitu lampu katoda yang berasal dari unsur yang di ukur lalu di lewatkan ke dalam nyala api yang terdapat sampel yang terkontaminasi, radiasi yang dihasilkan di teruskan ke detektor melalui monokromator. Selain monokromator, spektrofotometer juga dilengkapi dengan *chopper* yang digunakan untuk membedakan radiasi yang berasal dari nyala api dan radiasi yang berasal dari sumber radiasi. Intensitas radiasi yang diteruskan diubah menjadi energi listrik oleh *photomultiplier* dan selanjutnya diukur dengan detektor dan dicatat oleh rekorder (Ifa dkk., 2018).

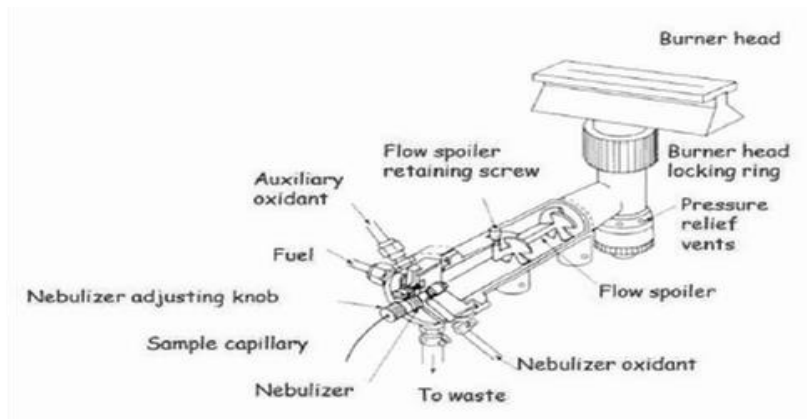
Prinsip dasar dari spektrofotometri serapan atom adalah tumbukan radiasi (cahaya) dengan panjang gelombang spesifik ke atom yang sebelumnya telah berada pada tingkat energi dasar (*ground- state energy*). Atom tersebut akan menyerap radiasi tersebut dan akan timbul transisi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Intensitas dari radiasi yang dihasilkan berhubungan dengan konsentrasi awal atom pada tingkat energi dasar. Proses atomisasi, yaitu mengubah analit dari bentuk padat, cair, atau larutan membentuk atom-atom gas bebas yang dilakukan dengan energi dari api atau arus listrik. Sebagian besar atom akan berada pada *ground state*, dan sebagian kecil (tergantung suhu) yang tereksitasi akan memancarkan cahaya

dengan panjang gelombang yang khas untuk atom tersebut, ketika kembali ke ground state (Purnami dan Hendri, 2013). Gambar 3 menunjukkan komponen spektrofotometer serapan atom:



Gambar 3. Komponen spektrofotometer serapan atom

1. Sumber Cahaya: Sumber sinar merupakan sistem emisi yang diperlukan untuk menghasilkan sinar yang energinya akan diserap oleh atom bebas. Sumber sinar harus bersifat kontinyu. Sumber sinar SSA terdiri dari *Hollow Cathode Lamp* (HCL) yang terbuat dari logam yang sama dengan unsur yang dianalisis (Purnama dan Hendri, 2013).
2. Sumber Atomisasi: Pada atomizer, sampel yang akan dianalisis harus diuraikan menjadi atom-atom netral yang masih dalam keadaan dasar. Atomizer terbagi menjadi 3 yaitu *nebulizer*, *soary chamber* dan burner (Salim, 2010). Seumber atomisasi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Sumber atomisasi SSA

3. Monokromator: Pada SSA, monokromator dimaksudkan untuk memisahkan dan memilih panjang gelombang yang digunakan dalam analisis. Selain sistem optik, dalam monokromator juga terdapat *chopper* (Purnami dan Hendri, 2013).
4. Detektor: fungsi dari detektor yaitu digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang melalui tempat pengatoman. Biasanya digunakan tabung penggandaan foton yaitu *photomultiplier tube* (Purnami dan Hendri, 2013).
5. Rekorder: Pembacaan merupakan alat pencatat hasil yang dapat berupa angka atau kurva dari *recorder* yang menggambarkan absorbansi atau intensitas emisi (Purnami dan Hendri, 2013).

2.7 Fourier Transformed Infrared (FTIR)

Fourier Transformed Infrared (FTIR) merupakan salah satu instrumen yang dapat digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi, mengidentifikasi senyawa dan menganalisis campuran dari sampel yang dianalisis tanpa merusak sampel tersebut. Daerah inframerah pada spektrum gelombang elektromagnetik dimulai dari panjang gelombang 14000 cm^{-1} hingga 10^{-1} . Berdasarkan panjang gelombang tersebut, daerah inframerah dibagi menjadi tiga daerah, yakni IR dekat ($14000\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$) yang peka terhadap vibrasi overtone, IR sedang ($4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$) berkaitan dengan transisi energi vibrasi dari molekul yang memberikan informasi mengenai gugus-gugus fungsi dalam molekul tersebut dan IR jauh ($400\text{-}10\text{ cm}^{-1}$) untuk menganalisis molekul yang mengandung atom-atom berat seperti senyawa anorganik yang membutuhkan teknik khusus (Sari dkk., 2018). Alat FTIR dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Instrumen FTIR

Prinsip kerja FTIR adalah interaksi antara energi dan materi. Infrared dapat melewati celah ke sampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel. Kemudian beberapa infrared diserap oleh sampel dan yang lainnya di transmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar infrared lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke komputer dan direkam dalam bentuk puncak-puncak. Spektrofotometer FTIR merupakan alat yang dapat digunakan untuk identifikasi senyawa, baik secara kualitatif maupun kuantitatif (Sari dkk., 2018).

a. Analisis kualitatif

Analisis kualitatif dengan spektroskopi FTIR secara umum digunakan untuk identifikasi gugus-gugus fungsional yang terdapat dalam suatu senyawa yang dianalisis (Sari dkk., 2018).

b. Analisis kuantitatif

Analisis kuantitatif dengan spektroskopi FTIR secara umum digunakan untuk menentukan konsentrasi analit dalam sampel. Metode *Fourier Transform Infrared* (FTIR) yang merupakan metode bebas reagen, tanpa penggunaan radioaktif dan dapat mengukur kadar hormon secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis gugus fungsi suatu sampel dilakukan dengan membandingkan pita

absorpsi yang terbentuk pada spektrum infra merah menggunakan spektrum senyawa pembanding yang sudah diketahui (Sari dkk., 2018).

2.8 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Komponen utama alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) ini pertama adalah tiga pasang lensa elektromagnetik yang berfungsi memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil, lalu oleh dua pasang scan coil discan-kan dengan frekuensi variabel pada permukaan sampel. Semakin kecil berkas difokuskan semakin besar resolusi lateral yang dicapai. Kesalahan fisika pada lensa-lensa elektromagnetik berupa astigmatismus dikoreksi oleh perangkat stigmator. SEM tidak memiliki sistem koreksi untuk kesalahan aberasi lainnya (Sujatno dkk., 2015).