

TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN ARANG AKTIF SEBAGAI ADSORBEN
LOGAM BERAT Cd DALAM AIR

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

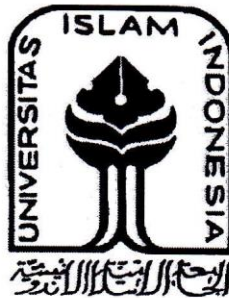


AKMAL LUTHFI SAPUTRA
20513185

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024

TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN ARANG AKTIF SEBAGAI ADSORBEN
LOGAM BERAT Cd DALAM AIR

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



AKMAL LUTHFI SAPUTRA
20513185

Disetujui,

Pembimbing 1:

Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.
NIK. 155131304

Tanggal:

Pembimbing 2:

Eko Siswoyo, ST., M.Sc.ES., Ph.D
NIK. 025100406

Tanggal:



Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D
NIK. 045130401

Tanggal:

HALAMAN PEGESAHAN
PEMANFAATAN ARANG AKTIF SEBAGAI ADSORBEN
LOGAM BERAT Cd DALAM AIR

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : *Senin*

Tanggal : *28 Oktober 2024*

Disusun Oleh:

AKMAL LUTHFI SAPUTRA

20513185

Tim Penguji :

Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D


()

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


()

Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D


()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis 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. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 12 September 2024

Yang membuat pernyataan,



Alma Luthfi Saputra

NIM: 20513185

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT. atas Rahmat dan karunia-Nya saya berkesempatan untuk menyelesaikan penelitian Tugas Akhir yang berjudul “Pemanfaatan Arang Aktif Sebagai Adsorben Logam berat Cd Dalam Air” dengan baik.

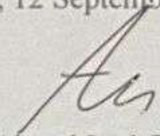
Tugas akhir ini bertujuan untuk menambah wawasan dan pengetahuan mengenai adsorben yang dapat mengurangi kandungan logam di air serta sebagai syarat kelulusan dari Program Pendidikan Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, saya sebagai penulis mendapatkan support serta bantuan dari berbagai pihak. Saya mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Suwanto dan Ibu Sri Fatiani yang selalu memberikan do'a dan dukungan sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar.
2. Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang selalu membimbing dan memberikan arahan dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.
3. Bapak Eko Siswoyo, ST., M.Sc.ES., Ph.D selaku Dosen Pembimbing II yang selalu membimbing dan memberikan arahan dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.
4. Ibu Any Juliani, S.T., M..Sc. (Res.Eng.), Ph.D selaku Dosen Penguji yang memberikan saran dan masukan dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.
5. Seluruh Dosen, Pengajar dan Staf Program Studi Teknik Lingkungan yang selama ini telah memberikan ilmu maupun fasilitas yang sangat bermanfaat untuk penulis selama proses menempuh pendidikan di Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari dalam penyusunan Tugas Akhir masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam perbaikan penelitian. Semoga laporan Tugas Akhir yang telah disusun oleh penulis dapat bermanfaat bagi berbagai pihak.

Yogyakarta, 12 September 2024



Akmal Luthfi Saputra

ABSTRAK

Pencemaran lingkungan akibat logam berat seperti kadmium (Cd) menjadi masalah serius terutama di kawasan industri. Logam berat ini berpotensi menimbulkan keracunan akut maupun kronis pada makhluk hidup. Penelitian ini mengevaluasi pemanfaatan arang aktif yang dihasilkan dari tempurung kelapa sebagai adsorben alternatif dalam menurunkan kadar Cd dari air. Proses pembuatan arang aktif melibatkan aktivasi kimia menggunakan asam nitrat (HNO_3), yang bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan serta memperbesar pori-pori arang sehingga mampu mengadsorpsi logam berat dengan lebih baik. Penelitian dilakukan dengan metode batch untuk mengetahui kondisi optimum adsorpsi, seperti pH, waktu kontak, konsentrasi larutan, serta massa adsorben. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arang aktif tempurung kelapa dapat mengurangi konsentrasi Cd hingga lebih dari 97% pada kondisi optimum, yaitu pH 9, waktu kontak 5 menit, massa adsorben 30 mg, dan konsentrasi Cd 5 ppm. Analisis isotherm adsorpsi menggunakan model Langmuir dan Freundlich menunjukkan bahwa adsorpsi logam Cd mengikuti model isotherm Freundlich dengan kapasitas adsorpsi maksimum 3,18 mg/g. Studi ini menegaskan bahwa arang aktif dari tempurung kelapa merupakan adsorben ramah lingkungan yang efektif dan ekonomis dalam pengelolaan air limbah yang mengandung logam berat Cd.

Kata Kunci: Arang aktif, adsorben, kadmium (Cd), adsorpsi, isotherm Freundlich.

ABSTRACT

Environmental pollution caused by heavy metals such as cadmium (Cd) has become a serious issue, especially in industrial areas. These heavy metals have the potential to cause both acute and chronic toxicity in living organisms. This study evaluates the use of activated charcoal derived from coconut shells as an alternative adsorbent to reduce Cd levels in water. The process of making activated charcoal involved chemical activation using nitric acid (HNO_3), which aims to increase surface area and enlarge the pores of the charcoal, thereby enhancing its ability to adsorb heavy metals. The research was conducted using the batch method to determine the optimal adsorption conditions, including pH, contact time, solution concentration, and adsorbent mass. The results showed that activated charcoal from coconut shells could reduce Cd concentration by more than 97% under optimal conditions, specifically at pH 9, 5 minutes of contact time, 30 mg of adsorbent mass, and 5 ppm Cd concentration. Adsorption isotherm analysis using the Langmuir and Freundlich models revealed that Cd adsorption follows the Freundlich isotherm model, with a maximum adsorption capacity of 3.18 mg/g. This study confirms that activated charcoal from coconut shells is an environmentally friendly, effective, and economical adsorbent for managing wastewater containing heavy metal Cd.

Keywords: Activated charcoal, adsorbent, cadmium (Cd), adsorption, Freundlich isotherm.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	2
ABSTRAK	4
ABSTRACT	5
DAFTAR ISI	6
DAFTAR TABEL	1
DAFTAR GAMBAR	2
DAFTAR LAMPIRAN	3
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Arang Aktif	4
2.2 Sorpsi (Daya Serap)	5
2.3 Logam Berat.....	7
2.4 Definisi Logam Kadmium (Cd)	7
2.5 Spektroskopi Serapan Atom (SSA).....	9
2.6 Isoterm Adsorpsi.....	10
2.6.1 Isotherm Langmuir.....	10
2.6.2 Isotherm Freundlich	11

2.7 Metode <i>Batch</i>	11
BAB III METODE PENELITIAN	12
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	12
3.2 Alat dan Bahan	12
3.3 Prosedur Analisis Data	13
3.3.1 Studi Literatur	14
3.3.2 Persiapan penelitian	14
3.3.3 Sampling Air Lindi	14
3.4 Preparasi material.....	15
3.5 Proses Adsorpsi	16
3.6 Penentuan pH Optimum	16
3.7 Penentuan Waktu Adsorpsi	17
3.8 Penentuan Konsentrasi Adsorben.....	19
3.9 Penentuan Massa Adsorben.....	20
4.0 Analisis Data	21
4.1 Penyusunan Laporan	21
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA.....	22
4.1 Penjelasan Umum.....	22
4.2 Karakteristik Adsorben	23
4.3 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)	23
4.4 Scanning Electron Microscope (SEM).....	27
4.3 Pengujian Kemampuan Adsorpsi	28
4.3.1 Pengujian Variasi pH	28
4.3.2 Pengujian Variasi Waktu Kontak.....	30
4.3.3 Pengujian Variasi Konsentrasi	32

4.3.4 Pengujian Variasi Massa	34
4.4 Isoterm Adsorpsi	36
4.4.1 Isoterm Langmuir	36
4.4.2 Isoterm Freundlich	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	43
Lampiran 1. Kurva Kalibrasi Standar	44
Lampiran 2. Isoterm Adsorpsi	45

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil Uji FTIR Tempurung Kelapa Manis Sebelum Adsorpsi	24
Tabel 4. 2 Hasil Uji Variasi pH Larutan Optimum	29
Tabel 4. 3 Hasil Uji Variasi Waktu Kontak Adsorben Optimum.....	30
Tabel 4. 4 Hasil Uji Variasi Konsentrasi Adsorben Optimum.....	33
Tabel 4. 5 Hasil Uji Variasi Massa Adsorben Optimum.....	34
Tabel 4. 6 Perhitungan Nilai Adsorpsi Oleh Model Langmuir	36
Tabel 4. 7 Perhitungan Nilai Adsorpsi Oleh Model Freundlich.....	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Arang Aktif.....	5
Gambar 2. 2 Pori-Pori Arang Aktif	6
Gambar 2. 3 Logam Cd	8
Gambar 2. 4 Spektroskopi Serapan Atom (SSA).....	9
Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian	13
Gambar 3. 2 Tahapan Preparasi.....	15
Gambar 3. 3 Langkah Penentuan pH Optimum	17
Gambar 3. 4 Langkah Penentuan Waktu Adsorpsi	18
Gambar 3. 5 Langkah Penentuan Konsentrasi Adsorben.....	19
Gambar 3. 6 Langkah Penentuan Massa Adsorben.....	20
Gambar 4. 1 Grafik Hasil Uji FTIR Tempurung Kelapa Sebelum Aktivasi dan Sebelum Adsorpsi.....	24
Gambar 4. 2 Hasil Uji SEM Adsorben Tempurung Kelapa.....	27
Gambar 4. 3 Grafik Hasil Uji Variasi pH Larutan Optimum	29
Gambar 4. 4 Grafik Hasil Uji Variasi Waktu Kontak Adsorben Optimum	31
Gambar 4. 5 Grafik Hasil Uji Variasi Konsentrasi Adsorben Optimum.....	33
Gambar 4. 6 Grafik Hasil Uji Variasi Massa Adsorben Optimum.....	35
Gambar 4. 7 Persamaan Isoterm Langmuir	37
Gambar 4. 8 Persamaan Isoterm Freundlich	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kurva Kalibrasi Standar.....	42
Lampiran 2. Isoterm Adsorpsi.....	43

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah adalah bagian dari suatu barang atau benda yang tidak lagi digunakan, tidak diinginkan, atau yang perlu dibuang. Umumnya, sampah berasal dari aktivitas manusia, termasuk kegiatan industri. Sampah ini tidak termasuk limbah biologis seperti limbah manusia. Sampah biasanya berupa benda padat (Azwar, 1990). Sumber sampah dapat bervariasi, mulai dari rumah tangga, pasar, warung, kantor, bangunan umum, industri, hingga jalanan. Pertumbuhan penduduk yang cepat di daerah perkotaan menyebabkan perkembangan wilayah pemukiman yang semakin luas dan padat.

Dalam konteks yang lebih terbatas, istilah "sampah" hanya merujuk kepada kumpulan bekas dan sisa-sisa tanaman seperti daun-daun yang gugur, sisa sayuran, atau sisa pertanian, serta limbah dan kotoran hewan yang biasa dibuang. Namun, secara umum, segala jenis benda yang akhirnya dibuang dapat disebut sebagai sampah dan ditempatkan di suatu tempat penampungan seperti Tempat Pembuangan Akhir (TPA) atau Dump Station (Suriawiria, 2003).

Air menjadi tercemar oleh sampah karena sampah yang dibuang secara sembarangan dan menumpuk di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) mengalami proses pembusukan, yang bersamaan dengan air hujan, menghasilkan cairan yang disebut lindi atau leachate. Lindi ini merupakan bahan pencemar yang berpotensi merugikan lingkungan dan kesehatan manusia. Lindi dapat meresap ke dalam tanah atau mengalir di permukaan tanah, kemudian mencampurkan dengan aliran sungai. Lindi selalu terkait dengan pembuangan akhir sampah padat dan mengandung senyawa organik dan anorganik dengan konsentrasi 5000 kali lebih tinggi dari pada air tanah, yang masuk dan mencemari air tanah atau sungai (Maramis, 2008).

Senyawa anorganik yang mencemari lingkungan, yang telah banyak diteliti dampaknya terhadap makhluk hidup, adalah unsur logam dan senyawanya. Bahan anorganik pencemar lingkungan yang telah banyak diteliti pengaruhnya terhadap makhluk hidup ialah unsur logam dan senyawanya. Beberapa jenis logam berat seperti Cd, senyawa kimia anorganik tersebut dapat menyebabkan keracunan akut atau kronis, tergantung pada jenis logam, jumlahnya, jenis hewan, kondisi hewan, dan usianya (Darmono, 2001).

Konsentrasi logam berat dalam air lindi di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan dapat dikurangi dengan menggunakan arang aktif. Arang aktif adalah suatu bahan padat yang berpori, mengandung sekitar 85-95% karbon, dan dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon. Proses pembuatan arang aktif terdiri dari dua tahap utama, yaitu karbonasi bahan baku dan aktivasi. Karbonasi bahan baku adalah proses pengarangan dalam ruangan tanpa oksigen dan bahan kimia tambahan, yang membentuk pori-pori pada arang. Proses aktivasi arang aktif dilakukan untuk memperbesar pori-pori agar dapat menyerap logam berat secara maksimal. Aktivasi ini melibatkan penambahan larutan bahan pengaktif seperti H_3PO_4 , ZnCl_2 , NH_4Cl , AlCl_3 , HNO_3 , KOH , NaOH , H_3BO_3 , KMnO_4 , H_2SO_4 , dan K_2S , serta NaCl (Sembiring, 2003).

Berdasarkan informasi tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk mengurangi kadar air lindi di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan, Kabupaten Bantul, dengan memanfaatkan arang aktif. Tujuannya adalah untuk mencegah pencemaran lingkungan di sekitar lokasi TPA, sehingga dapat lebih ramah lingkungan dan mendukung kelestarian alam. Dalam penelitian ini, akan menggunakan arang aktif yang dibuat sendiri dari bahan-bahan seperti tempurung kelapa dikarenakan ketersediaan di alam yang melimpah, struktur poros yang tinggi, kandungan karbon yang tinggi, kemampuan mengadsorpsi logam berat dan yang terakhir ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana efektivitas karbon aktif yang dihasilkan dari tempurung kelapa teraktivasi asam nitrat (HNO_3) dalam menurunkan konsentrasi logam kadmium (Cd) pada air?
2. Bagaimana pengaruh variasi pH, konsentrasi, massa dan waktu kontak terhadap kemampuan adsorpsi karbon aktif dari tempurung kelapa dan karbon aktif komersial teraktivasi asam nitrat (HNO_3) pada penurunan logam kadmium (Cd) di air?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui efektivitas karbon aktif yang dihasilkan dari tempurung kelapa teraktivasi asam nitrat (HNO_3) dalam menurunkan konsentrasi logam kadmium (Cd) pada air.
2. Mengetahui kondisi optimum (pH, konsentrasi, massa dan waktu kontak) untuk adsorpsi logam kadmium (Cd) pada air.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menyajikan suatu metode alternatif untuk menurunkan konsentrasi logam kadmium (Cd) dalam air. Pendekatan ini melibatkan pemanfaatan arang aktif yang diproduksi dari bahan alam yang tidak lagi dimanfaatkan, yaitu limbah tempurung kelapa.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

- Sampel air lindi diambil dari TPA Piyungan, Kabupaten Bantul.
- Kondisi optimum proses adsorpsi logam Cd dicari dengan menggunakan proses adsorpsi pada larutan Cd.
- Konsentrasi Cd dalam larutan diuji menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Arang Aktif

Arang aktif adalah sebuah bahan yang terbuat dari karbon amorf dengan sebagian besar terdiri dari atom karbon bebas dan memiliki permukaan dalam yang memberikan kemampuannya serap yang baik (Surtamtomo, 1997). Bahan ini memiliki kemampuan untuk menyerap anion, kation, dan molekul dalam bentuk senyawa organik dan anorganik, baik dalam bentuk larutan maupun gas (Pari, 1996). Keunikan arang aktif terletak pada sifat permukaannya; permukaan arang aktif relatif bebas dari deposit hidrokarbon, yang dapat menghambat aktivitasnya, sehingga dapat mengabsorpsi dengan baik karena memiliki permukaan yang luas dan pori-pori yang terbuka (Gomez, 2003).

Proses pembuatan arang aktif melibatkan dua tahap. Tahap pertama melibatkan pembentukan arang bersifat amorf dan berpori pada suhu rendah. Tahap kedua adalah proses pengaktifan untuk menghilangkan lapisan hidrokarbon yang menutupi permukaan arang, sehingga porositas arang meningkat. Ada dua metode aktivasi yang umum digunakan, yaitu cara kimia dan fisika. Metode kimia melibatkan perendaman arang dalam larutan senyawa kimia sebelum dipanaskan. Sementara itu, metode fisika menggunakan oksidator lemah seperti air (H_2O), gas CO_2 , dan nitrogen (Guerrero, 1970). Pada metode fisika, tidak terjadi oksidasi terhadap atom karbon dalam arang, tetapi oksidator tersebut hanya mengoksidasi komponen yang menutupi permukaan pori arang (Manocha, 2003).

Bahan baku untuk pembuatan arang aktif dapat berasal dari berbagai sumber yang mengandung banyak karbon, seperti kayu, serbuk gergajian kayu, kulit biji, tempurung kelapa, sekam padi, gambut, dan batu bara. Sifat arang aktif dipengaruhi oleh jenis bahan baku dan metode aktivasi yang digunakan (Austin, 1984). Adapun Gambar 2.1 merupakan arang aktif dari tempurung kelapa setelah menjadi arang aktif sebagai berikut:



Gambar 2. 1 Arang Aktif

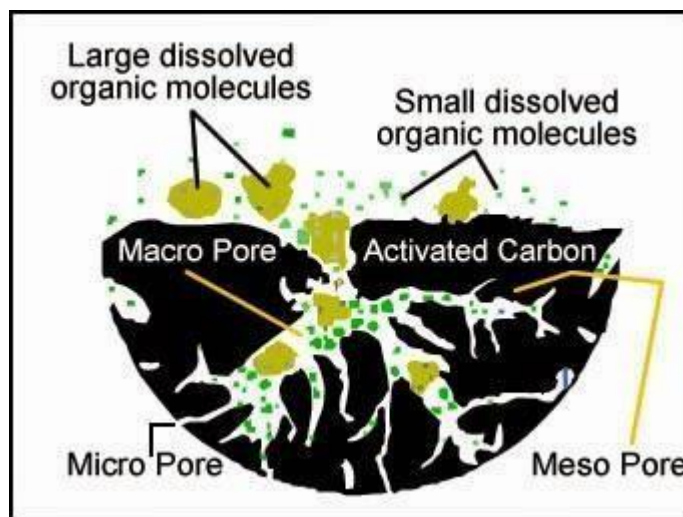
Kualitas arang aktif yang baik menurut Standar Industri Indonesia (SII No 0258-79) yaitu kadar air maksimum 15% dan kadar abu maksimum 10%. Kadar abu yang rendah akan mempunyai daya serap yang lebih bagus.

2.2 Sorpsi (Daya Serap)

Sorpsi adalah saat partikel penyerap menyerap ion. Proses sorpsi dibagi menjadi dua, yaitu adsorpsi dan absorpsi. Jika ion atau senyawa yang diserap tertahan di permukaan partikel penyerap, kita sebut itu adsorpsi. Sedangkan jika proses pengikatan berlanjut hingga ke dalam partikel penyerap, itu disebut absorpsi (Afiatun, 2004). Dalam arang aktif, terjadi tiga tahap daya serap: zat terperap di bagian luar arang aktif, lalu bergerak ke pori-pori arang, dan akhirnya terjebak di dinding bagian dalam arang aktif. Menurut IUPAC, karbon aktif diklasifikasikan berdasarkan ukuran pori, misalnya mikropori dengan diameter 50 nm (Baker, 1997). Sorpsi adalah saat partikel penyerap menyerap ion. Proses sorpsi dibagi menjadi dua, yaitu adsorpsi dan absorpsi. Jika ion atau senyawa yang diserap tertahan di permukaan partikel penyerap, kita sebut itu adsorpsi. Sedangkan jika proses pengikatan berlanjut hingga ke dalam partikel penyerap, itu disebut absorpsi (Afiatun, 2004). Dalam arang aktif, terjadi tiga tahap daya serap: zat terperap di bagian luar arang aktif, lalu bergerak ke pori-pori arang, dan akhirnya terjebak di dinding bagian dalam arang aktif. Menurut IUPAC, karbon aktif diklasifikasikan berdasarkan ukuran pori, misalnya mikropori dengan diameter 50 nm (Baker,

1997).

Karbon aktif merupakan material berpori tinggi yang memiliki kemampuan luar biasa dalam menyerap berbagai zat dari gas maupun cairan. Dalam Gambar 2.2, kita dapat melihat struktur pori-pori dari arang aktif yang dihasilkan dari tempurung kelapa. Pori-pori tersebut, yang hadir dalam berbagai ukuran dan bentuk, menciptakan luas permukaan yang sangat besar meskipun dalam volume yang kecil.



Gambar 2. 2 Pori-Pori Arang Aktif

Adapun adsorpsi dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. Adsorpsi fisika adalah proses interaksi antara adsorben dengan adsorbat yang melibatkan gaya-gaya antar molekul seperti gaya Van der Waals.
2. Adsorpsi kimia terjadi jika interaksi adsorben dan adsorbat melibatkan pembentukan ikatan kimia.

Proses adsorpsi melibatkan berbagai macam gaya yakni gaya Van der Waals, gaya elektrostatik, ikatan hidrogen serta ikatan kovalen (Anggriawan dkk., 2019).

2.3 Logam Berat

Logam berat adalah bagian alami dari tanah yang tidak dapat diurai atau dihancurkan. Mereka dianggap berbahaya karena umumnya memiliki densitas tinggi (5 g/cm^3) dan jumlah kecilnya dapat menjadi racun dan berbahaya (Subowo dkk, 1999). Logam berat dapat terakumulasi dalam tubuh organisme dan tetap di sana untuk waktu yang lama sebagai racun yang terkumpul (Saeni, 1997).

Menurut Vouk (1986), ada sekitar 80 jenis dari 109 unsur kimia di Bumi yang diidentifikasi sebagai logam berat. Dari perspektif toksikologi, logam berat dapat dibagi menjadi dua jenis. Pertama, ada logam berat esensial yang diperlukan dalam jumlah tertentu oleh organisme hidup, tetapi berlebihan dapat menjadi racun. Contoh logam berat esensial meliputi Zn, Cu, Fe, Co, Mn, dan sebagainya. Sementara itu, jenis kedua adalah logam berat tidak esensial atau beracun yang keberadaannya dalam tubuh belum jelas manfaatnya dan dapat bersifat racun, seperti Hg, Cd, Pb, Cr, dan lain-lain.

2.4 Definisi Logam Kadmium (Cd)

Logam Kadmium (Cd) dan bermacam-macam bentuk persenyawaannya dapat masuk ke lingkungan, terutama sekali merupakan efek samping dari aktivitas yang dilakukan manusia. Boleh dikatakan bahwa semua bidang industri yang melibatkan Cd dalam proses operasionalnya menjadi sumber pencemaran Cd (Darmono, 2001).

Keracunan kadmium akut biasanya terjadi karena menghirup debu dan asap yang mengandung kadmium dan garam kadmium yang termakan akan menimbulkan mual, muntah, diare dan kejang perut. Keracunan kronis terjadi bila inhalasi kadmium dosis kecil dalam waktu lama dan gejala juga berjalan kronis. Kadmium menyebabkan nefrotoksisitas (toksik ginjal), yaitu gejala proteinuria, glikosuria, dan aminoasiduria disertai dengan penurunan laju filtrasi glomerulus ginjal. Kasus keracunan kadmium kronis juga menyebabkan gangguan kardiovaskuler dan hipertensi. Hal tersebut terjadi karena tingginya afinitas jaringan ginjal terhadap kadmium. Selain itu juga dapat menyebabkan terjadinya osteomalase karena terjadi interferensi daya keseimbangan kandungan kalsium dan

fosfat dalam ginjal (Darmono, 2001).

Sifat Fisik dan Kimia Kadmium (Cd) :

- Lambang : Cd
- No. Atom : 48
- Golongan, Periode : 2B, 5
- Penampilan : Putih Perak
- Massa Atom : 112,41g/mol
- Konfigurasi Elektron : [Kr]4d¹⁰ 5s²

Adapun Gambar 2.3 merupakan foto dari logam berat Cd tersebut.



Gambar 2. 3 Logam Cd

2.5 Spektroskopi Serapan Atom (SSA)

Spektrometri adalah suatu cara untuk menganalisis kuantitas zat berdasarkan seberapa banyak radiasi yang dihasilkan atau diserap oleh atom atau molekul yang dianalisis. Salahsatu jenis spektrometri adalah Spektrometri Serapan Atom (SSA), yang digunakan untuk mengukur unsur secara kuantitatif berdasarkan penyerapan cahaya pada panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas (Skoog dkk., 2000).

Pada dasarnya, prinsip dari Spektroskopi Serapan Atom melibatkan interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan atom. Metode ini sangat akurat untuk menganalisis zat pada konsentrasi yang rendah (Khopkar, 1990) dan merupakan teknik yang umum digunakan untuk analisis unsur. Prosesnya dimulai dengan menguapkan larutan sampel, kemudian logam di dalamnya diubah menjadi atom bebas. Atom tersebut menyerap radiasi dari lampu katoda (*Hollow Cathode Lamp*) yang memancarkan cahaya pada panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis logam yang akan diukur. Jumlah penyerapan radiasi kemudian diukur untuk menentukan jumlah logam yang ada (Darmono, 1995). Gambar 2.4 menunjukkan instrumen SSA.



Gambar 2. 4 Spektroskopi Serapan Atom (SSA)

2.6 Isoterm Adsorpsi

Isotherm adsorpsi merupakan fungsi konsentrasi zat terlarut yang terserap pada zat padat terhadap konsentrasi larutan. Persamaan yang dapat digunakan untuk menjelaskan data percobaan Isotherm dikaji oleh Freundlich, Langmuir, serta Brunauer, Emmet dan Teller (BET). Tipe Isotherm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi fase cair maupun padat yang pada umumnya menganut tipe Isotherm Freundlich dan Langmuir. Adsorben yang baik memiliki kapasitas adsorpsi dan presentase penyerapan yang tinggi (Aprliani, 2010).

2.6.1 Isotherm Langmuir

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

$$x/m = \frac{qm \cdot b \cdot Ce}{1 + b \cdot Ce}$$

$$\frac{1}{x/m} = \frac{1}{qm \cdot b} \frac{1}{C} + \frac{1}{qm}$$

Dimana:

x/m = Jumlah zat teradsorpsi tiap unit massa adsorben (mg/g)

Q_0 = Konstanta yang berkaitan dengan kapasitas adsorpsi (mg/g)

b = Konstanta yang berkaitan dengan kecepatan adsorpsi (1/mg)

C_e = Konsentrasi kesetimbangan zat teradsorpsi di fase cair (Masduqi & Slamet, 2000)

2.6.2 Isotherm Freundlich

Isotherm Freundlich mendefinisikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (*multilayer*) dan site bersifat heterogen, yaitu adanya perbedaan energipengikatan pada tiap-tiap site.

Persamaan Isotherm Freundlich:

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

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

Dimana:

x/m = Jumlah zat teradsorpsi tiap unit massa adsorben (mg/g)

Ce = Konsentrasi kesetimbangan zat teradsorpsi di fase cair

K = Konstanta Freundlich yang berkaitan dengan kapasitas

$1/n$ = Konstanta Freundlich yang berkaitan dengan afinitas adsorpsi (Masduqi & Slamet, 2000)

2.7 Metode Batch

Studi adsorpsi menggunakan sistem *batch* dilakukan dengan sejumlah gelas erlenmeyer berisi larutan yang mengandung zat tertentu yang akan diadsorpsi pada konsentrasi dan volume tertentu. Pada tiap-tiap gelas erlenmeyer dibubuhkan sejumlah adsorben dengan berat yang bervariasi. Selanjutnya larutan dan adsorben dalam gelas erlenmeyer diaduk dalam waktu tertentu dan setelah itu konsentrasi larutan dianalisis. 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 (Masduqi & Slamet, 2000).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Pengambilan sampel tersebut dilakukan pada Maret hingga Mei 2024 di TPA Piyungan, Kabupaten Bantul. Titik sampel yang akan di ambil adalah di *inlet*. Sampel logam berat Cd yang didapat kemudian diidentifikasi di laboratorium Terintegrasi Universitas Islam Indonesia (UII). Selanjutnya dilakukan uji lanjutan yakni Spektrometri Serapan Atom (SSA) dan *Fourier Transform Infrared Spektrofotometri* (FT IR).

3.2 Alat dan Bahan

a. Alat

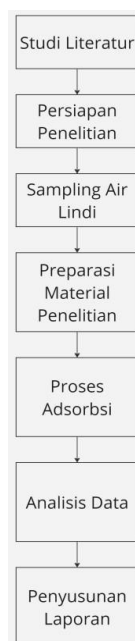
- Spektrometri Serapan Atom (SSA).
- *Fourier Transform Infrared Spektrofotometri* (FT IR)
- *Scanning Elektron Mikroskopi* (SEM)
- Gelas beaker 100 ml dan 250 ml
- Labu ukur 50 ml, 100 ml, dan 1.000 ml
- Erlenmeyer 250 ml
- *Shaker*
- Corong Gelas
- Kaca Arloji
- Timbangan analitik 0,0001 g
- *Furnace*
- pH universal
- Desikator
- Pemanas Listrik
- Pipet tetes 1 ml, 5 ml, dan 10 ml

b. Bahan

- Aquades
- Arang aktif tempurung kelapa
- Sampel air lindi
- Larutan HNO_3 (1:1)
- HNO_3 1 N
- HNO_3 4 N
- NaOH 1N

3.3 Prosedur Analisis Data

Pengambilan data dilakukan dengan observasi eksperimen di laboratorium yang fokus terhadap pengujian kandungan logam berat Cd pada air lindi serta pengukuran daya absorpsi dari tempurung kelapa terhadap kandungan logam berat. Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.3.1 Studi Literatur

Melakukan pencarian referensi, mempelajari dan memahami teori relevan yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilaksanakan.

3.3.2 Persiapan penelitian

Meliputi persiapan teknis pelaksanaan dari penelitian, teknis penulisan proposal penelitian, teknis pengambilan sampel, serta perizinan untuk melakukan penelitian.

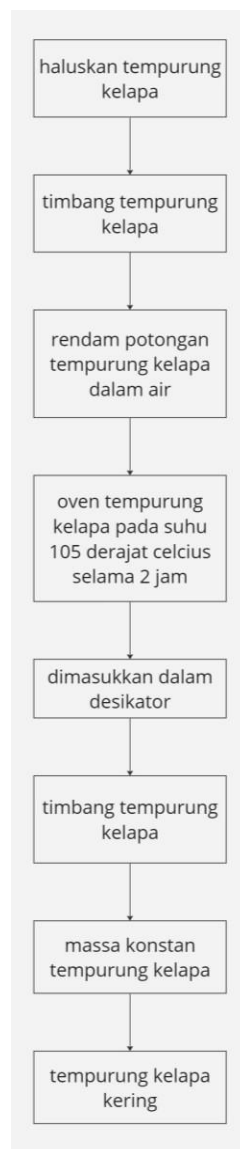
3.3.3 Sampling Air Lindi

Pengambilan data sampel air lindi yang akan dilaksanakan pada salah satu TPA yang terdapat pada Kota Yogyakarta. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan metode SNI 6989.59:2008 tentang Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah.

3.4 Preparasi material

Dalam persiapan material terdapat 2 material yang harus disiapkan, yaitu:

- a. Mempersiapkan air limbah yang diuji kandungan Cd berdasarkan SNI 6989.16:2009 tentang Cara uji Cd secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – nyala.
- b. Tahapan-tahapan dalam penelitian ini meliputi preparasi tempurung kelapa, persiapan bahan untuk adsorben yang dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Tahapan Preparasi

c. Karbonisasi

Sampel yang sudah dikeringkan dikarbonasi dengan menggunakan *furnace*, kemudian tempurung kelapa di karbonisasi selama 2 jam pada suhu 350°C.

d. Tahap Aktivasi

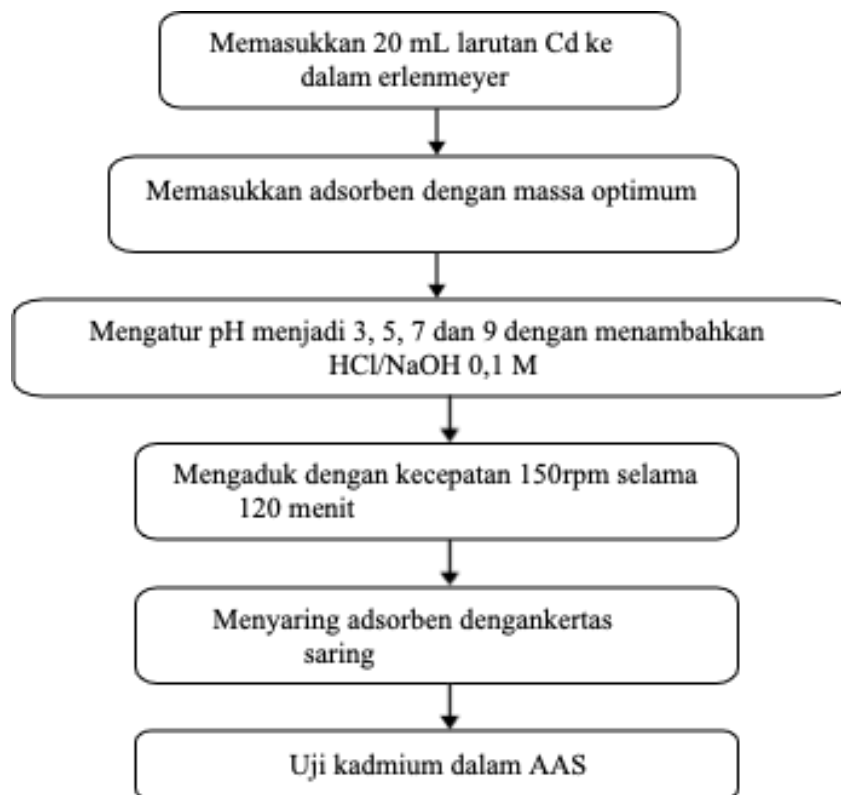
Arang hasil karbonasi direndam dalam larutan NaCl 1 M selama 5 jam, kemudian arang tersebut disaring dan setelah itu dikeringkan dalam oven dengan suhu 100°C selama 24 jam.

3.5 Proses Adsorpsi

Pada proses ini, pengujian dilakukan untuk menguji beberapa variabel guna menentukan kapasitas dan kondisi optimum dari proses adsorpsi. Variabel yang diuji mencakup pH optimum, waktu adsorpsi, massa dan konsentrasi adsorben.

3.6 Penentuan pH Optimum

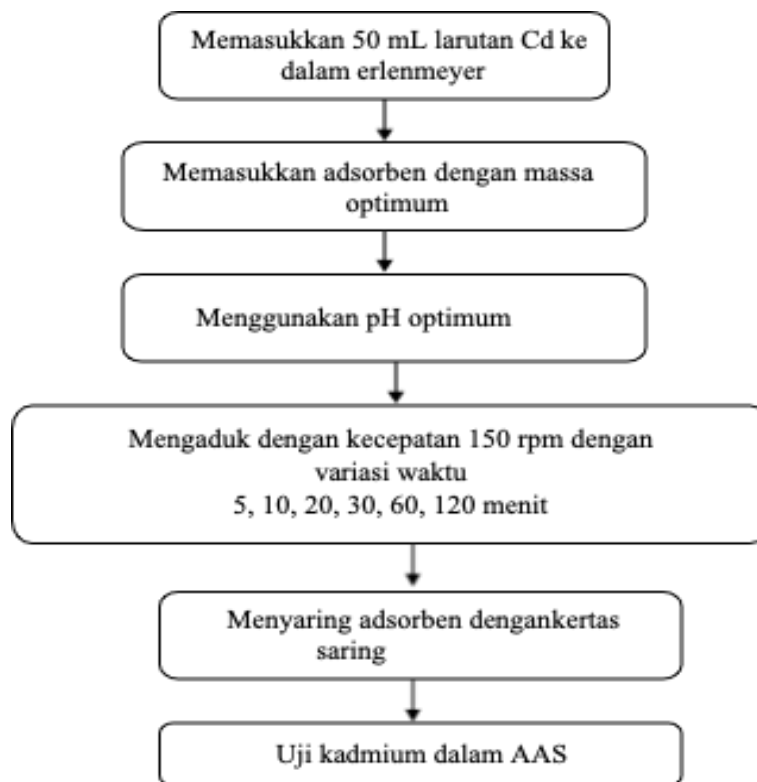
Dalam proses adsorpsi, penentuan pH optimum bertujuan untuk mengoptimalkan efisiensi penyerapan zat pencemaran oleh adsorben. Berikut adalah langkah penentuan pH optimum dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Langkah Penentuan pH Optimum

3.7 Penentuan Waktu Adsorpsi

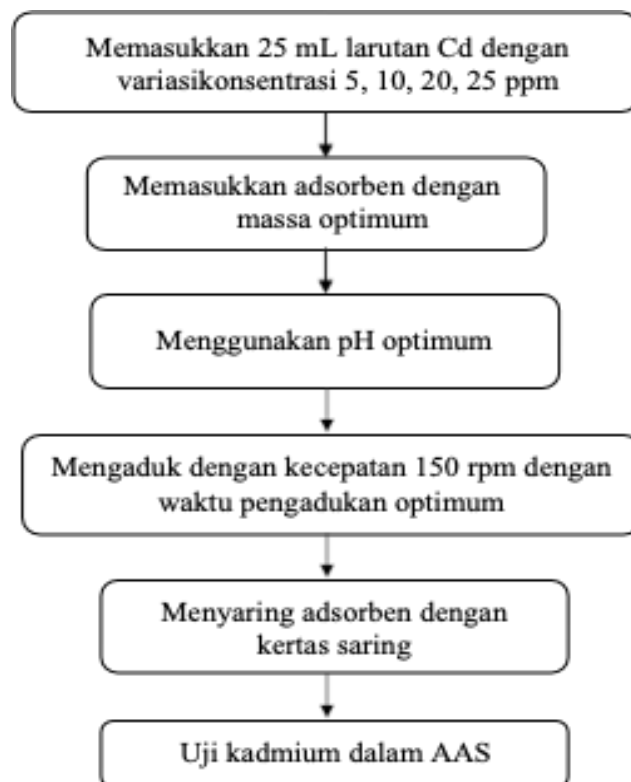
Setelah mendapatkan pH optimum, selanjutnya adalah penentuan waktu adsorpsi yang bertujuan untuk menentukan durasi optimal yang dibutuhkan bagi adsorben untuk mencapai penyerapan maksimum zat pencemar dari larutan. Berikut adalah langkah penentuan waktu adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3. 4 Langkah Penentuan Waktu Adsorpsi

3.8 Penentuan Konsentrasi Larutan

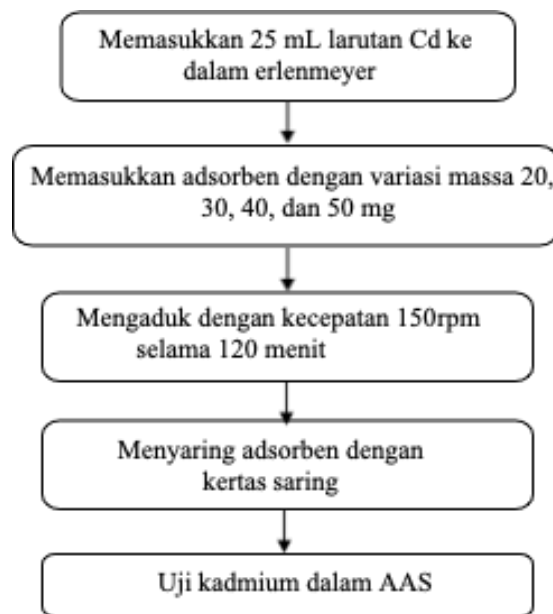
Setelah mendapatkan pH optimum dan waktu adsorpsi, selanjutnya adalah penentuan konsentrasi larutan yang bertujuan untuk menentukan tingkat zat pencemar dalam larutan yang memungkinkan adsorben untuk mencapai efisiensi penyerapan maksimum. Langkah penentuan pengaruh konsentrasi larutan Cd dapat dilihat pada Gambar 3.5



Gambar 3. 5 Langkah Penentuan Konsentrasi Adsorben

3.9 Penentuan Massa Adsorben

Setelah mendapatkan Konsentrasi optimum dan waktu adsorpsi, selanjutnya adalah penentuan massa adsorben yang bertujuan untuk menentukan berapakah massa adsorben itu mencapai optimum dalam larutan yang memungkinkan adsorben untuk mencapai efisiensi penyerapan maksimum. Berikut adalah langkah penentuan konsentrasi adsorben dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3. 6 Langkah Penentuan Massa Adsorben

4.0 Analisis Data

Perhitungan efisiensi penyisihan logam Cd pada limbah batik serta analisis kemampuan adsorben dalam menyerap logam Cd. Analisa kemampuan adsorben tempurung kelapa dalam menyerap logam Cd yaitu pada persamaan (3).

$$\text{Efisiensi removal \% : } \frac{C_o - C_a}{C_o} \times 100 \dots (3)$$

Keterangan:

C_o = Konsentrasi Cd sebelum adsorpsi (mg/L)

C_a = Konsentrasi Cd setelah adsorpsi (mg/L)

Selanjutnya analisa data isoterm adsorpsi untuk mengetahui proses distribusi ion logam berat menuju permukaan adsorben dengan menggunakan persamaan isoterm freundlich pada persamaan (1) dan isoterm langmuir pada persamaan (2)

4.1 Penyusunan Laporan

Menyusun data hasil penelitian dan analisa data dalam bentuk laporan hasil penelitian.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Penjelasan Umum

Tujuan dari penelitian ini dilakukan adalah untuk mengetahui apakah tempurung kelapa dapat digunakan sebagai bahan baku adsorben dalam menurunkan konsentrasi larutan logam berat Kadmium (Cd) pada air lindi. Proses adsorpsi dilakukan dengan variasi pH, waktu, massa, dan konsentrasi larutan yang optimum. Metode dalam penelitian ini menggunakan metode *Bacth reactor* sebagai metode pengujian serta Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich sebagai metode penentuan kemampuan adsorben. Dalam menentukan karakteristik tempurung kelapa sebagai adsorben menggunakan alat Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Serta untuk mengetahui konsentrasi logam berat Cd dalam larutan digunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) .

Penelitian ini dimulai dari proses penyiapan bahan adsorben yang berasal dari tempurung kelapa. Proses penyiapan mencakup pencucian dan dioven selama 2 jam untuk mengurangi kadar air. Selanjutnya bahan adsorben dihaluskan dan diayak hingga seukuran 100 mesh kemudian dilakukan aktivasi menggunakan asam nitrat. Pengujian menggunakan larutan logam Cd sebanyak 25 ml, kecepatan pengadukan 150 rpm dan pada suhu ruangan normal, pengadukan untuk kontak antara adsorben dengan larutan logam Cd menggunakan alat *Orbital Shaker*. Setelah itu, proses diperlakukan dengan kondisi pH, waktu kontak, massa dan konsentrasi larutan berdasarkan variabel yang sudah ditentukan. Pada tahap akhir dari penelitian ini, hasil penelitian dari variabel pH, waktu kontak, massa dan konsentrasi larutan yang optimum akan digunakan sebagai kondisi saat menguji kemampuan penyerapan logam berat Cd oleh adsorben tempurung kelapa pada air limbah.

4.2 Karakteristik Adsorben

Karakteristik adsorben yang terbuat dari tempurung kelapa telah dianalisis menggunakan beberapa teknik instrumental. Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada permukaan adsorben, yang memberikan informasi penting tentang komposisi kimia dan modifikasi permukaan setelah proses aktivasi. Pengamatan morfologi dan struktur mikro adsorben dilakukan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*), yang mengungkapkan tekstur permukaan dan distribusi pori-pori pada tempurung kelapa yang telah diaktivasi. Selain itu, AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) digunakan untuk menentukan kandungan logam berat yang diserap oleh adsorben, yang memberikan gambaran tentang kapasitas dan efisiensi adsorben dalam menghilangkan kontaminan dari larutan. Kombinasi dari ketiga teknik ini memberikan pemahaman komprehensif tentang sifat fisik dan kimiawi adsorben tempurung kelapa, serta kinerjanya dalam aplikasi pengolahan air.

4.3 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Tujuan penggunaan alat *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) adalah untuk mengidentifikasi gugus fungsi dari adsorben tempurung kelapa yang akan digunakan dalam penelitian. Dengan memahami gugus fungsi yang terkandung dari nilai selulosa di dalam adsorben, akan diketahui seberapa besar perbedaan adsorben sebelum proses adsorpsi dengan setelah proses adsorpsi baik yang diaktivasi dan tidak diaktivasi dengan asam nitrat, kemudian membandingkan perbedaan tersebut untuk mengetahui gugus fungsi mana yang terlibat dalam proses adsorpsi logam Cd.

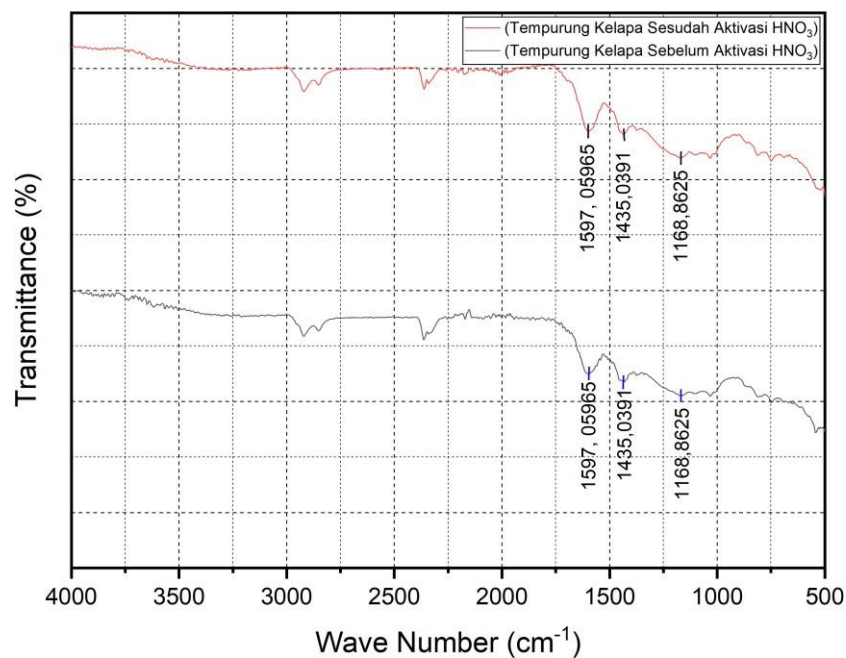
Analisis data pembacaan FTIR dilakukan dengan mengidentifikasi puncak spesifik pada panjang gelombang tertentu. Setiap puncak spesifik mewakili jenis gugus fungsi tertentu dalam senyawa penyerap. Pengujian FTIR menghasilkan grafik antara panjang gelombang (cm^{-1}) pada sumbu x dan persentase (%) transmitan pada sumbu y.

Adsorben sebelum proses adsorpsi

Hasil pembacaan FTIR adsorben tempurung kelapa sebelum adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 4.1, Gambar 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Hasil Uji FTIR Tempurung Kelapa Manis Sebelum Adsorpsi

Adsorben Tempurung Kelapa	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		Gugus Fungsi	Intensitas Pita
	Teori	Hasil		
Non-Aktivasi	1500-1600	1597,05965	C=C	<i>Variable</i>
	1340-1470	1435,0391	C-H	<i>Strong</i>
	1050-1300	1168,8625	C-O	<i>Strong</i>
Aktivasi Asam Nitrat	1500-1600	1597,05965	C=C	<i>Variable</i>
	1340-1470	1435,0391	C-H	<i>Strong</i>
	1050-1300	1168,8625	C-O	<i>Strong</i>



Gambar 4. 1 Grafik Hasil Uji FTIR Tempurung Kelapa Sebelum Aktivasi dan Sebelum Adsorpsi

Hasil dari uji FTIR tempurung kelapa non-aktivasi dan aktivasi asam nitrat sebelum proses adsorpsi menunjukkan keduanya memiliki puncak pada panjang gelombang 1597 cm^{-1} . Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa aktivasi dengan asam nitrat tidak memberikan dampak signifikan terhadap gugus fungsi yang terkandung di dalam senyawa adsorben tempurung kelapa. Selanjutnya, puncak pada panjang gelombang ini mengindikasikan adanya ikatan tertentu dalam senyawa adsorben yang berinteraksi dengan radiasi inframerah. Beberapa gugus fungsi yang memiliki puncak di dekat panjang gelombang ini adalah ikatan rangkap C=C (alkena), C-H (alkanes) dan juga ikatan C-O (alcohols). Pada hal ini, Selain puncak pada 1597 cm^{-1} , spektrum FTIR sering kali menunjukkan adanya gugus fungsi lain yang mungkin berkontribusi pada kemampuan adsorpsi tempurung kelapa. Puncak di sekitar 1435 cm^{-1} dan 1168 cm^{-1} dapat diindikasikan sebagai berikut:

- 1435 cm^{-1} : Puncak ini biasanya dikaitkan dengan deformasi geser C-H dalam metilen ($-\text{CH}_2-$) atau metil ($-\text{CH}_3-$) yang umumnya terdapat dalam rantai alifatik.
- 1168 cm^{-1} : Ini kemungkinan besar terkait dengan getaran simetris atau asimetris C-O dalam alkohol atau ester.

Keberadaan gugus-gugus ini mengindikasikan bahwa struktur tempurung kelapa mengandung berbagai ikatan karbon-hidrogen dan oksigen, yang bisa memainkan peran penting dalam proses adsorpsi.

Aktivasi menggunakan asam nitrat sering kali bertujuan untuk meningkatkan sifat adsorptif material melalui peningkatan area permukaan atau perubahan gugus fungsi aktif. Namun, dalam spektrum yang diberikan, perubahan signifikan pada puncak FTIR antara sampel sebelum dan sesudah aktivasi tidak terdeteksi. Hal ini mungkin disebabkan oleh beberapa faktor:

- Stabilitas Gugus Fungsi: Gugus fungsi dalam tempurung kelapa, seperti C=C pada struktur aromatik, mungkin cukup stabil dan tidak rentan terhadap perubahan kimiawi yang drastis bahkan setelah perlakuan dengan HNO_3 .

- Konsentrasi HNO_3 dan Durasi Aktivasi: Jika konsentrasi HNO_3 yang digunakan tidak cukup tinggi atau durasi aktivasi terlalu singkat, perubahan signifikan pada gugus fungsi mungkin tidak terjadi.
- Ketahanan Struktural: Struktur karbon dalam tempurung kelapa memiliki ketahanan yang tinggi terhadap oksidasi atau reaksi kimia lainnya, terutama di area yang sudah terkonjugasi.

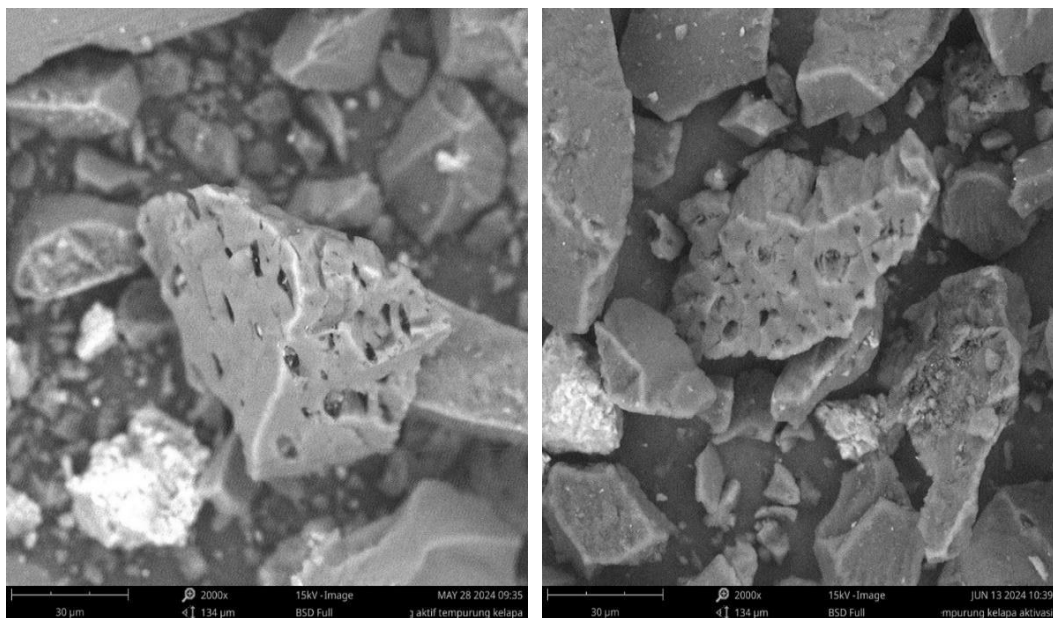
Di antara ketiga gugus fungsi yang teridentifikasi ($\text{C}=\text{C}$, $\text{C}-\text{H}$, dan $\text{C}-\text{O}$), gugus $\text{C}-\text{O}$ adalah yang paling berpotensi untuk mengikat ion logam Cd di air. Gugus ini dapat berinteraksi dengan Cd melalui pembentukan ikatan koordinasi atau kompleksasi, memanfaatkan elektron bebas pada atom oksigen yang dimilikinya. Gugus $\text{C}=\text{C}$ dan $\text{C}-\text{H}$ memiliki peran yang lebih terbatas dalam proses adsorpsi ion logam berat.

Dari hasil FTIR, dapat disimpulkan bahwa aktivasi dengan asam nitrat tidak mengubah secara signifikan gugus fungsi utama pada tempurung kelapa, terutama ikatan $\text{C}=\text{C}$. Namun, ketidakmampuan HNO_3 untuk mengubah secara signifikan struktur ini mungkin tidak sepenuhnya mengurangi efektivitasnya sebagai agen aktivasi. Pada beberapa kasus, perubahan fisik seperti peningkatan porositas bisa terjadi tanpa adanya perubahan kimiawi yang signifikan. Hal ini perlu dikaji lebih lanjut melalui teknik analisis tambahan seperti BET untuk mengukur area permukaan spesifik atau SEM untuk pengamatan morfologi.

4.4 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan salah satu bentuk mikroskop yang menggunakan aliran partikel elektron untuk menghasilkan visualisasi detail permukaan suatu objek. Dalam SEM, partikel elektron diarahkan ke permukaan objek dan setelah melalui sejumlah lensa elektromagnetik, partikel tersebut akan memantul atau menghasilkan partikel elektron sekunder ke berbagai arah. Detektor yang terdapat dalam SEM berfungsi untuk mengumpulkan partikel-partikel elektron ini dan memetakan lokasi objek ke layar. Luas total permukaan objek akan memengaruhi daya serapnya semakin besar luas permukaan, semakin baik objek tersebut mampu menyerap, hal itu menyebabkan lebih banyak ion logam yang dapat berikatan pada permukaan objek. Penggunaan SEM dilakukan untuk mengamati pola dan gambaran permukaan suatu sampel dengan detail yang tinggi.

Hasil uji SEM dilakukan dengan perbesaran 2000 dengan perbandingan adsorben tempurung kelapa non-aktivasi dan aktivasi asam nitrat. Hasil pengujian adsorben tempurung kelapa menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 4.2 sebagai berikut.



Gambar 4. 2 Hasil Uji SEM Adsorben Tempurung Kelapa

Dari hasil pengamatan, terdapat perbedaan signifikan pada permukaan adsorben tempurung kelapa. Pada perbesaran 2000x, terlihat perbedaan pori antara adsorben tempurung kelapa yang tidak diaktivasi dan yang diaktivasi. Adsorben yang diaktivasi menggunakan asam nitrat menunjukkan struktur pori yang lebih besar dan terbuka dibandingkan dengan adsorben non-aktivasi. Selain itu, adsorben tempurung kelapa yang diaktivasi memiliki jumlah pori yang lebih banyak dibandingkan dengan adsorben yang tidak diaktivasi. Proses aktivasi tidak hanya berperan dalam menghilangkan bahan non-karbon, tetapi juga efektif dalam meningkatkan jumlah pori pada permukaan adsorben. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan asam nitrat dalam proses aktivasi secara signifikan mempengaruhi perubahan pori pada adsorben tempurung kelapa.

4.3 Pengujian Kemampuan Adsorpsi

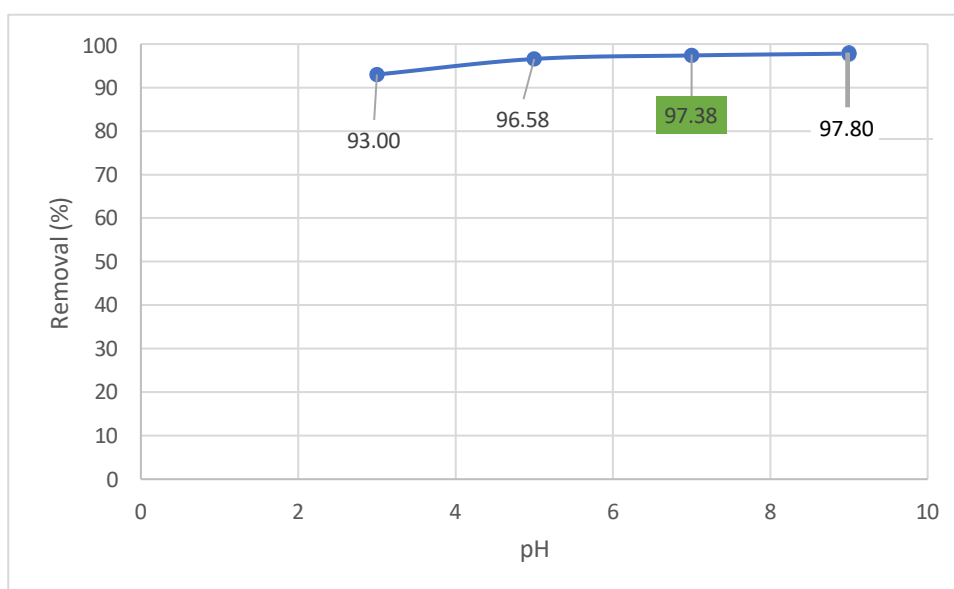
Pengujian adsorben tempurung kelapa akan dilakukan menggunakan larutan Cd buatan. Pengujian akan dimulai dari variasi pH larutan, variasi waktu kontak, variasi waktu dan variasi konsentrasi larutan uji. Pengujian nilai konsentrasi akan menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) .

4.3.1 Pengujian Variasi pH

Percobaan variasi pH dilakukan bertujuan untuk mengetahui kondisi pH dalam penyerapan larutan Cd yang optimal. Pengkondisian pH dilakukan dengan penggunaan larutan penyangga. Larutan penyangga merupakan suatu larutan yang mampu mempertahankan pH larutan agar tidak terjadi perubahan pH dikarenakan penambahan asam atau basa maupun pengenceran. Larutan penyangga dibuat pada nilai pH 3, 5, 7, dan 9 menggunakan larutan HCl 0,1 M dan NaOH 0,1 M. Pada uji variasi pH, adsorben yang ditambahkan sebesar 20 mg dan waktu kontak selama 120 menit. Hasil pengujian pH optimum dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.3 berikut.

Tabel 4. 2 Hasil Uji Variasi pH Larutan Optimum

pH	Konsentrasi awal Cd (Co, mg/L)	Konsentrasi akhir Cd (Ca, mg/L)	Removal %
3	5,64	0,395	93,00
5	4,41	0,151	96,58
7	2,48	0,0650	97,38
9	3,46	0,0760	97.80



Gambar 4. 3 Grafik Hasil Uji Variasi pH Larutan Optimum

Hasil pengujian ini menunjukkan tren secara umum bahwa semakin tinggi pH larutan, semakin besar penurunan konsentrasi kadmium Cd setelah proses adsorpsi. Berdasarkan data di dalam tabel dan grafik tersebut dapat dilihat bahwa tingkat efisiensi adsorpsi logam berat Cd menggunakan adsorben tempurung kelapa teraktivasi mengalami peningkatan yang signifikan pada kondisi pH larutan 9. Konsentrasi awal larutan kadmium Cd pada pH 9 adalah 3,56 mg/l dan setelah melalui proses adsorpsi dengan tempurung kelapa teraktivasi, konsentrasi kadmium Cd menurun menjadi 0,076 mg/l. Selanjutnya, konsentrasi awal larutan pada pH 7 yaitu 2,48 mg/l menurun menjadi 0,065 mg/l setelah proses adsorpsi. Sementara pada pH 5,

konsentrasi awal 4,41 mg/l turun menjadi 0,151 mg/l, dan pada pH 3, konsentrasi awal 5,64 mg/l menurun menjadi 0,395 mg/l setelah proses adsorpsi.

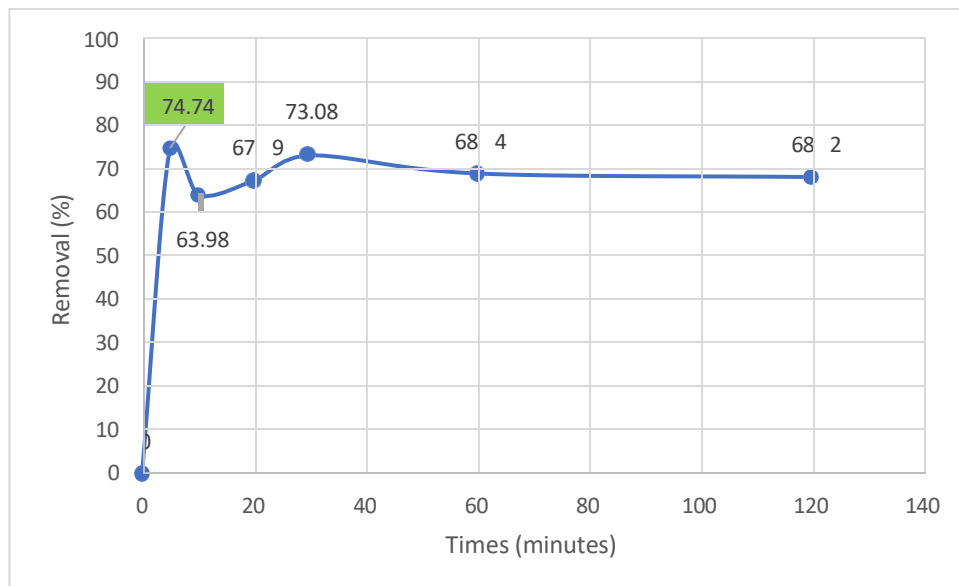
Hasil ini menunjukkan bahwa pada pH larutan 9 memiliki dampak paling signifikan terhadap pengurangan konsentrasi kadmium Cd dan pH larutan 3 kurang berdampak secara signifikan dalam larutan melalui proses adsorpsi.

4.3.2 Pengujian Variasi Waktu Kontak

Penentuan waktu kontak bertujuan untuk mengetahui berapa lama waktu kontak optimum untuk mereduksi Cd hingga mencapai titik kesetimbangan (*equilibrium*). Penggunaan dosis adsorben untuk pengujian variasi waktu kontak akan menyesuaikan dengan dosis adsorben sebesar 40 mg. Variasi waktu kontak yang dipakai adalah selama 5, 10, 20, 30, 60, dan 120 menit untuk setiap uji adsorpsi. Hasil dari pengujian variasi waktu kontak terhadap adsorpsi logam Cd dengan adsorben tempurung kelapa teraktivasi dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.4 berikut.

Tabel 4. 3 Hasil Uji Variasi Waktu Kontak Adsorben Optimum

Waktu (menit)	Konsentrasi awal Cd (Co, mg/L)	Konsentrasi akhir Cd (Ca, mg/L)	Removal %
5	4,83	1,22	74,74
10	4,83	1,74	63,98
20	4,83	1,58	67,29
30	4,83	1,3	73,08
60	4,83	1,5	68,94
120	4,83	1,54	68,12



Gambar 4. 4 Grafik Hasil Uji Variasi Waktu Kontak Adsorben Optimum

Dari data yang telah didapatkan, terlihat bahwa variasi waktu kontak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap proses adsorpsi Cd menggunakan adsorben tempurung kelapa teraktivasi asam nitrat. Data hasil pengujian menunjukkan bagaimana konsentrasi Cd dalam larutan berubah seiring dengan perubahan waktu kontak yang dimana penurunan logam Cd di air lindi bervariasi. Pada waktu kontak awal yaitu 5 menit, perubahan konsentrasi sudah terlihat dan mencapai kesetimbangan seiring bertambahnya waktu kontak terjadi penurunan logam berat Cd menjadi lambat dikarenakan sudah melewati masa kesetimbangan sehingga perpindahan adsorbat ke dalam adsorben akan melambat dan cenderung berhenti. Terlihat pada variasi waktu 10 menit penurunan logam Cd tidak setinggi pada variasi 5 menit yaitu 1,74 mg/l yang dapat disebabkan oleh desorpsi yaitu pelepasan suatu senyawa dari permukaan senyawa lain. Sehingga proses penyerapan logam Cd terhambat dan pada akhirnya adsorben mengalami penurunan *efisiensi removal*, namun pada variasi 20 menit terjadi peningkatan pengurangan logam Cd pada air lindi yang dapat disebabkan oleh banyak faktor seperti fluktuasi dalam pH, suhu, kecepatan pengadukan

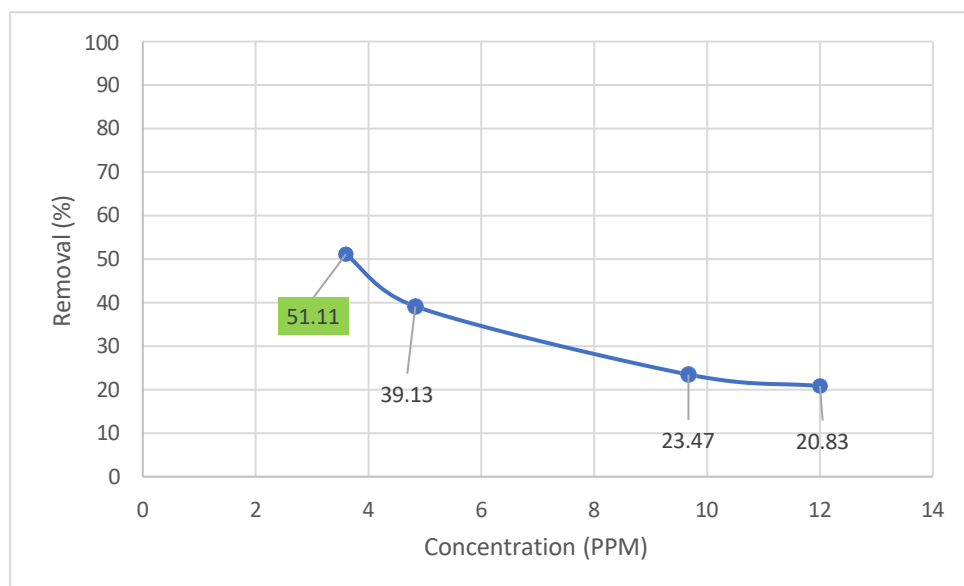
selama proses adsorpsi bisa menyebabkan perubahan pada kondisi ionisasi atau reaktivitas situs aktif pada adsorben. Jika pH, suhu, kecepatan pengadukan berubah ke kondisi yang lebih optimal untuk adsorpsi Cd, efisiensi removal dapat meningkat setelah penurunan awal. Pada waktu kontak 30 menit terjadi penurunan cukup besar yang dimana konsentrasi turun menjadi 1,3 mg/l dari konsentrasi awal 4,83 mg/l. Hal ini mengindikasikan bahwa dalam waktu yang tidak terlalu lama, adsorpsi Cd oleh adsorben tempurung kelapa berlangsung dengan efektif. Setelah mencapai waktu kontak 60 menit, perubahan konsentrasi menjadi lebih lambat yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi sudah melewati titik keseimbangan. Meskipun proses adsorpsi masih berlanjut setelah waktu kontak 60 menit, perubahan konsentrasi menjadi semakin lambat. Pada waktu kontak 120 menit, konsentrasi larutan menjadi 1,54 mg/l.

4.3.3 Pengujian Variasi Konsentrasi

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui reaksi adsorpsi tempurung kelapa teraktivasi asam nitrat pada logam Cd dengan konsentrasi yang berbeda sehingga dapat diketahui kemampuan maksimal penyerapan logam Cd oleh adsorben tempurung kelapa. Variasi konsentrasi logam Cd yang digunakan yaitu 5,10,20,dan 25 mg/l dengan menggunakan adsorben tempurung kelapa yang teraktivasi. Dalam pengujian ini menggunakan massa adsorben 20 mg, kondisi pH 5, waktu kontak 120 menit, dan kecepatan pengadukan 150 rpm dengan volume larutan 25 ml. Setelah selesai pengadukan, lalu disaring kemudian sampel diuji untuk mengetahui sisa logam Cd yang ada pada larutan. Hasil pengujian variasi konsentrasi larutan Cd dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.5 berikut.

Tabel 4. 4 Hasil Uji Variasi Konsentrasi Adsorben Optimum

Konsentrasi awal Cd (Co, mg/L)	Konsentrasi akhir Cd (Ca, mg/L)	Removal %
3,6	1,76	51,11
4,83	2,94	39,13
9,67	7,4	23,47
12	9,5	20,83



Gambar 4. 5 Grafik Hasil Uji Variasi Konsentrasi Adsorben Optimum

Hasil dari pengujian ini menunjukkan bagaimana variasi konsentrasi awal Cd dalam larutan berpengaruh pada kemampuan adsorpsi. Berdasarkan data tersebut, terlihat bahwa konsentrasi awal larutan berperan penting dalam mengatur tingkat efisiensi proses adsorpsi. Dari data tersebut terlihat pada konsentrasi awal 3,6 mg/l terjadi penurunan menjadi 1,76 mg/l, pada konsentrasi awal 4,83 terjadi penurunan 2,94 mg/l, konsentrasi awal 9,67 terjadi penurunan 7,4, dan yang terakhir konsentrasi awal 12 mg/l terjadi penurunan menjadi 9,5 mg/l terlihat dari data tersebut bahwa konsentrasi tersebut mengalami penurunan saat proses adsorpsi.

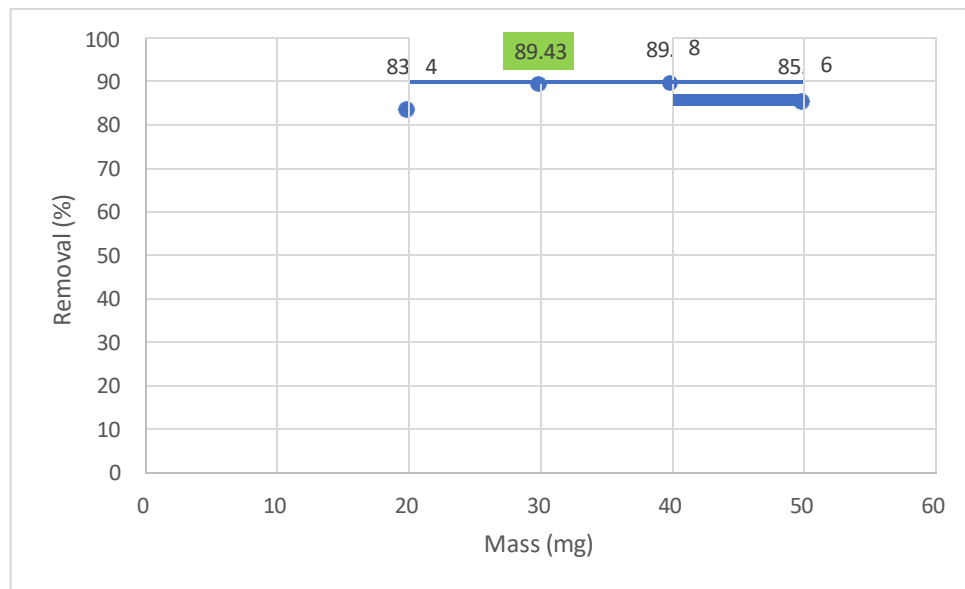
Kesimpulan dari data ini adalah bahwa efisiensi adsorpsi Cd menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi awal larutan. Pada konsentrasi awal yang lebih rendah 3,6 mg/l, adsorpsi menunjukkan efektivitas tertinggi dengan penurunan konsentrasi Cd sebesar 1,76 mg/l. Sebaliknya, pada konsentrasi awal yang lebih tinggi, penurunan konsentrasi Cd setelah adsorpsi lebih kecil, menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi berkurang dengan meningkatnya konsentrasi awal Cd dalam larutan.

4.3.4 Pengujian Variasi Massa

Penentuan variasi massa bertujuan untuk mengetahui berapa massa optimum adsorben untuk mereduksi Cd hingga mencapai titik kesetimbangan (*equilibrium*). Penggunaan dosis adsorben untuk pengujian variasi massa akan memakan waktu 120 menit dengan kecepatan pengadukan 150. Variasi massa yang dipakai adalah 20,30,40,50 untuk setiap uji adsorpsi. Hasil dari pengujian variasi massa terhadap adsorpsi logam Cd dengan adsorben tempurung kelapa teraktivasi dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.6 berikut.

Tabel 4. 5 Hasil Uji Variasi Massa Adsorben Optimum

Massa (mg)	Konsentrasi awal Cd (Co, mg/L)	Konsentrasi akhir Cd (Ca, mg/L)	Removal %
20	0,28	0,46	83,64
30	0,28	0,30	89,43
40	0,28	0,29	89,68
50	0,28	0,41	85,46



Gambar 4. 6 Grafik Hasil Uji Variasi Massa Adsorben Optimum

Dari data yang telah didapatkan, terlihat bahwa variasi massa memiliki pengaruh yang signifikan terhadap proses adsorpsi Cd menggunakan adsorben tempurung kelapa teraktivasi asam nitrat. Data hasil pengujian menunjukkan bagaimana konsentrasi Cd dalam larutan berubah seiring dengan perubahan variasi massa yang dimana penurunan logam Cd di air lindi bervariasi. Pada waktu kontak awal yaitu massa 20, perubahan konsentrasi sudah terlihat dan seiring bertambahnya waktu kontak terjadi penurunan yang lebih jelas terhadap konsentrasi Cd dalam larutan. Pada massa 30 terjadi penurunan cukup besar yang dimana konsentrasi turun menjadi 0,3 mg/l dari konsentrasi awal 2,8 mg/l. Hal ini mengindikasikan bahwa dalam massa yang tidak jauh berbeda, adsorpsi Cd oleh adsorben tempurung kelapa berlangsung dengan efektif. Setelah mencapai massa 40, perubahan konsentrasi berjalan lebih lambat yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi sudah mencapai titik keseimbangan. Meskipun proses adsorpsi masih berlanjut setelah massa 40, perubahan konsentrasi menjadi semakin lambat karena sudah melewati masa kesetimbangan. Pada waktu massa 50, konsentrasi larutan menjadi 0,41 mg/l.

4.4 Isoterm Adsorpsi

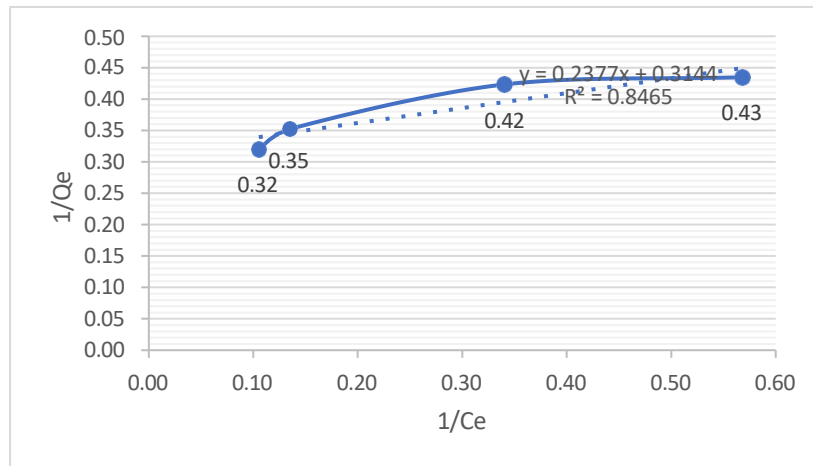
Pada percobaan ini menggunakan adsorben tempurung kelapa yang teraktivasi dengan asam nitrat, dilakukan pemodelan isoterm dengan model Langmuir dan Freundlich untuk mengetahui kesetimbangan antara jumlah logam yang diadsorpsi oleh adsorben. Model langmuir mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (*monolayer*) adsorbat di permukaan adsorben. 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.

4.4.1 Isoterm Langmuir

Data dari pengujian konsentrasi larutan Cd diolah menggunakan persamaan isoterm langmuir untuk mengetahui kemampuan maksimum penyerapan logam Cd oleh adsorben tempurung kelapa dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.7 berikut ini.

Tabel 4. 6 Perhitungan Nilai Adsorpsi Oleh Model Langmuir

Langmuir				
Slope	Intercept	Q max (mg/g)	KL	R ²
0,2377	0,3144	3,18	1,323	0,8465



Gambar 4. 7 Grafik isotherm Langmuir

Berdasarkan Gambar 4.7 pada persamaan isotherm Langmuir diperoleh nilai $y = 0,2377x + 0,03144$ dengan nilai $R^2 = 0,8465$ yang akan digunakan untuk menghitung nilai Q_m dari adsorben tempurung kelapa. Nilai Q_m yang terhitung adalah sebesar.

$$Q_m = \frac{1}{a}$$

$$= \frac{1}{0,3144}$$

$$= 3,18 \text{ mg/g}$$

$$KL = \frac{1}{b \cdot Q_m}$$

$$= \frac{1}{0,2377 \cdot 3,18}$$

$$= 1,322 \text{ l/mg}$$

Dari hasil perhitungan, diperoleh kapasitas maksimum adsorpsi adalah sebesar 3,18 mg/g. Ini menunjukkan bahwa pada kondisi optimal, setiap gram adsorben tempurung kelapa dapat menyerap hingga 3,18 mg kandungan ion logam berat Cd. Kapasitas maksimum yang tinggi ini menunjukkan bahwa adsorben tempurung kelapa memiliki potensi yang

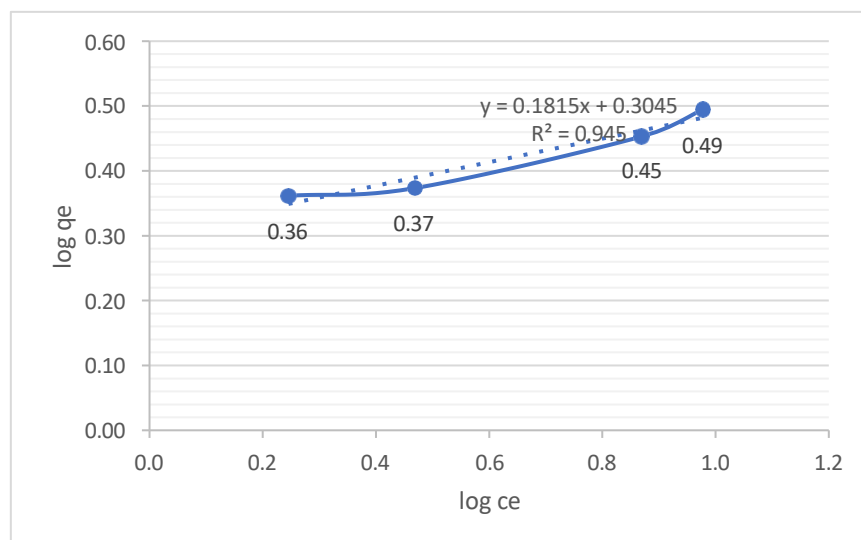
baik sebagai adsorben air limbah. Kemudian nilai konstanta Langmuir yang diperoleh memiliki nilai sebesar 1,322 l/mg. Konstanta ini merupakan parameter yang menjelaskan tentang bagaimana daya tarik antara adsorben dengan ion Cd. Dengan begitu, semakin tinggi nilai konstanta yang didapat maka semakin kuat daya tarik antara keduanya.

4.4.2 Isoterm Freundlich

Isotherm 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. Perhitungan dari persamaan pemodelan Freundlich dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.8 berikut ini.

Tabel 4. 7 Perhitungan Nilai Adsorpsi Oleh Model Freundlich

Freundlinch					
Slope	Intercept	1/n	Kf	R ²	ln kf
0,1815	0,3045	5,51	2,02	0,9450	0,70



Gambar 4. 8 Grafik Isoterm Freundlich

Nilai K_f pada persamaan Freundlich menunjukkan kapasitas dari adsorpsi ion logam Cd dari adsorben tempurung kelapa, semakin besar nilai K_f maka semakin besar kapasitas adsorpsinya. Nilai K_f yang diperoleh sebesar 2,02 mg/g.

Pengujian persamaan adsorpsi Langmuir dan Freundlich dapat dilihat dengan grafik linierisasi yang baik dan mempunyai nilai koefisien determinasi R^2 mendekati 1. Dari kedua grafik persamaan diatas terlihat bahwa persamaan adsorpsi Langmuir dengan $R^2 = 0.8465$ dan persamaan adsorpsi Freundlich dengan $R^2 = 0.9450$. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa persamaan Freundlich lebih sesuai dengan adsorpsi yang terjadi pada logam Cd oleh adsorben tempurung kelapa. Hal itu karena setiap site memiliki energi adsorpsi yang sama dalam menyerap satu molekul dan tidak ada interaksi antar molekul adsorbat sehingga hanya terbentuk satu lapisan (*multilayer*).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Adsorben yang terbuat dari tempurung kelapa yang diaktivasi menggunakan asam nitrat menunjukkan kemampuan yang signifikan dalam menyerap ion logam kadmium (Cd) dari air. Aktivasi dengan asam nitrat efektif dalam meningkatkan ukuran dan jumlah pori pada permukaan adsorben, sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsinya.
2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi pH optimum 7, konsentrasi larutan optimum 5 ppm, massa adsorben 30 mg dan durasi waktu kontak 5 menit merupakan kondisi optimum untuk proses adsorpsi Cd menggunakan arang aktif tempurung kelapa.

5.2 Saran

1. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk mengembangkan dan mengoptimalkan material adsorben dengan memanfaatkan bahan-bahan alami lainnya yang memiliki potensi serupa. Selain itu, eksperimen dengan metode aktivasi yang berbeda juga perlu dilakukan untuk meningkatkan efektivitas adsorpsi.
2. Disarankan untuk melakukan optimisasi lebih lanjut terhadap parameter variasi pH, konsentrasi, massa, dan waktu kontak dengan memperluas rentang kondisi uji. Ini mencakup pengujian pada nilai pH yang lebih ekstrem, variasi konsentrasi logam yang lebih rendah maupun lebih tinggi, serta modifikasi durasi waktu kontak yang lebih singkat atau lebih panjang guna memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai dinamika adsorpsi di berbagai kondisi lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriliani, A. 2010. Pemanfaatan Arang Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu, dan Pb Dalam Air Limbah. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah.
- Masduqi, A., & Slamet, A. 2000. Satuan Proses: Modul Ajar. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Azwar, Azrul. (1990). Pengantar Ilmu Kesehatan Lingkungan . Jakarta: PT. Bina Rupa Aksara.
- Suriawira, O. 2003. Mikrobiologi Air dan Dasar-dasar Pengolahan Buangan Secara Biologis. Cetakan ke 3. PT. Alumni: Bandung.
- Maramis, A. 2008. Pengelolaan Sampah dan Turunannya di TPA. Alumni Program Pasca Sarjana Magister Biologi Terapan. Salatiga: Universitas Satyawacana
- Darmono .1995. Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Sembiring, T., Meilita dan Sinaga, S., Tuti, 2003, Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya). Laporan Penelitian. Fakultas Teknik Industri. Universitas Sumatra Utara: Sumatra Utara.
- Surtamtomo, I. Fauzi, M. Rifai, D. Maniaryadi, I. Setyaningsih, S. Haryati dan Saifuddin. 1997. Teknologi adsorpsi karbon aktif untuk mengolah air limbah industri. Balitbang Industri. Departemen Perindustrian dan Perdagangan Republik Indonesia. Semarang.
- Pari, G. 1996. Pembuatan arang aktif dari serbuk gergajian sengon dengan cara kimia.
- Bulletin Penelitian Hasil Hutan 14(8):308-320
- Gomez-Serrano, V., M.C. Fernandez-Gonzales, M.L. Rojas-Cervantes, M.F. AlexandreFranco, A. Macias-Garcia. 2003. Carbonization and demineralization of coals: a study by means of FT-IR spectroscopy. Bulletin Material Science 26(7):721-732.

- Guerrero, A.E., M.F. Collamates, L.A. Reyes. 1970. Preparation of Activated Carbon from Coconut Cor Dust dalam: Coconut Research and Development. Volume 3, United Coconut Association of The Philippines Inc, Manila
- Manocha, S. 2003. Porous carbon. *Sadhana* 28(1-2): 335-348.
- Austin, G.T. 1984. Shreve's Chemical Process Industry. Fifth Edition. McGraw-Hill Book Company, New York : 136-138.
- Afiatun, E. Wahyuni, S. dan Rachmawaty, A. 2004. Perolehan kembali Cu dari Limbah Elektroplating dengan Menggunakan Reaktor Unggun Terfluidisasi.
- Anggriawan, Agus, M. Yanggi Atwanda, Nurhazizah Lubis, dan Fathoni, R.. (2019) “Kemampuan Adsorpsi Logam Berat Cu dengan Menggunakan Adsorben Kulit Jagung (*Zea Mays*).” *Jurnal Chemurgy* 3(2):27.
- Saeni, M.S. 1997. Penentuan Tingkat Pencemaran Logam Berat dengan Analisis Rambut. Orasi Ilmiah. Guru Besar Tetap Ilmu Kimia Lingkungan. Fakultas Matematika dan IPA IPB.: Bogor
- Subowo, Mulyadi, S. Widodo, dan Asep Nugraha. 1999. Sattus dan Penyebaran Pb, Cd, dan Pestisida pada Lahan Sawah Intensifikasi di Pinggir Jalan Raya. Prosiding. Bidang Kimia dan Bioteknologi Tanah. Puslittanak: Bogor.
- Vouk V. 1986. General Chemistry of Metals. In: Freiberg L. Nordberg G.F. and Vouk V.B (Eds). *Handbook on the Toxicology of Metals*. Elsevier: New York.
- Darmono .1995. Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Skoog. D. A., Donald M. West, F. James Holler, Stanley R. Crouch, 2000. *Fundamentals of Analytical Chemistry* .Hardcover: 992 pages, Publisher: Brooks Cole

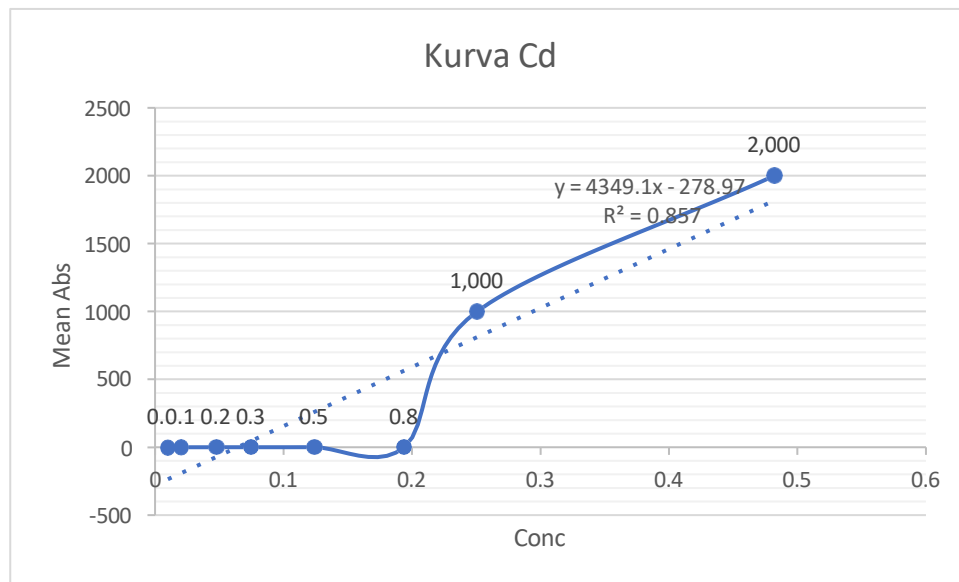
Khopkar, S. M. 1990. Konsep Dasar Kimia Analitik. Penerjemah Saptorahardjo. A. dan Nuhadi, A.. Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press): Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1. Kurva Kalibrasi Standar

Kurva kalibrasi dalam Spektroskopi Serapan Atom (SSA) digunakan untuk mengukur konsentrasi logam berat dalam larutan. Fungsi utama kurva kalibrasi adalah untuk menghubungkan nilai absorbansi dari larutan sampel dengan konsentrasi yang diketahui dari logam berat yang diukur. Prinsip dasar penggunaan kurva kalibrasi adalah hubungan linear antara absorbansi dan konsentrasi, yang kemudian digunakan untuk mengukur konsentrasi sampel yang tidak diketahui berdasarkan respon optiknya. Hasil pengukuran kurva kalibrasi dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut

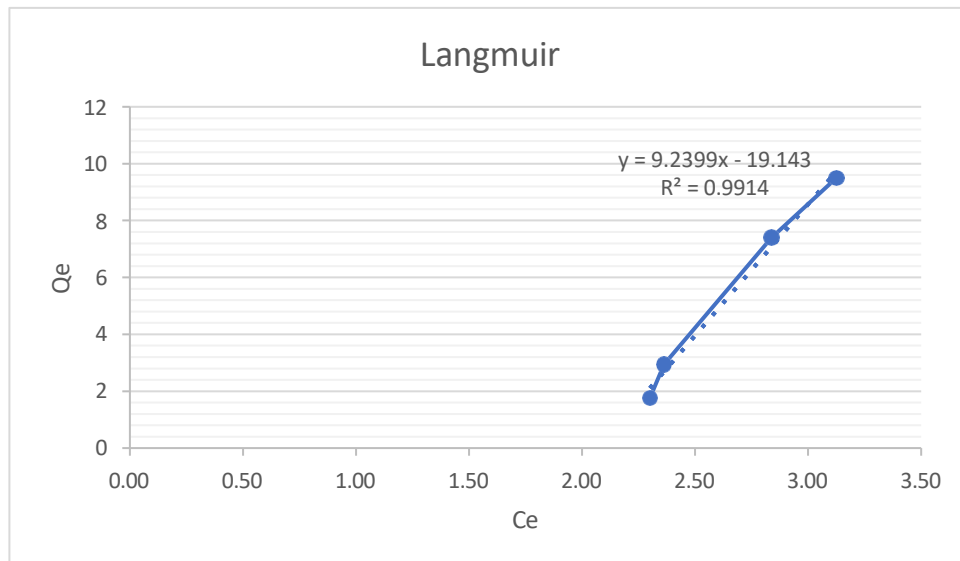
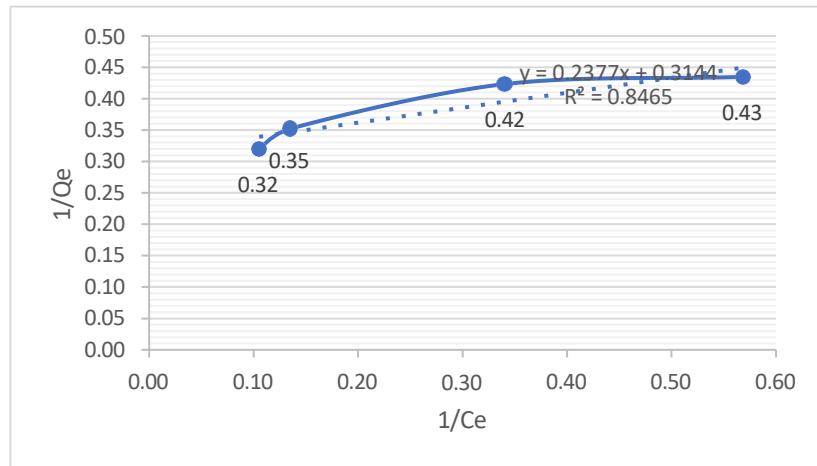
Sample Label	Conc (mg/L)	Mean Abs
S1	0.05	0.01
S2	0.1	0.0203
S3	0.2	0.0476
S4	0.3	0.0749
S5	0.5	0.124
S6	0.8	0.194
S7	1,000	0.2506
S8	2,000	0.482
koef kolerasi		0.925741866
slope		0.000197051
intersep		0.076482956



Lampiran 2. Isoterm Adsorpsi

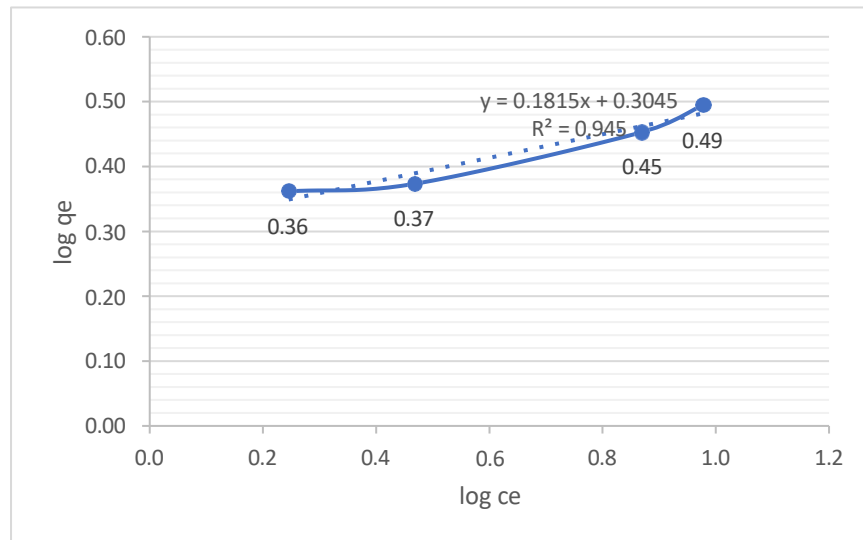
Konsent rasi	Konsent rasi Awal (Co)	Konsent rasi Akhir (Ca)	Penyisihan (%)	Delta C	Qe (mg/g)	1/Qe	1/Ce	Ln Qe	Ln Ce	Log Qe	Log Ce
5	3.60	1.76	51	1.84	2.30	0.43	0.57	0.83	0.6	0.36	0
10	4.83	2.94	39	1.89	2.36	0.42	0.34	0.86	1.08	0.37	0.5
20	9.67	7.40	23	2.27	2.84	0.35	0.14	1.04	2.00	0.45	0.9
25	12.00	9.50	21	2.50	3.13	0.32	0.11	1.14	2	0.49	1

a. Isoterm Langmuir



Langmuir				
Slope	Intercept	Q max (mg/g)	KL	R2
0.2377	0.3144	3.18	1.323	0.8465

b. Isoterm Freundlinch



Freundlinch					
Slope	Intercept	1/n	Kf	R ₂	ln kf
0.1815	0.3045	5.51	2.02	0.9450	0.70