TA/TL/2024/[085740004831]*

TUGAS AKHIR

PEMANFAATAN LIMBAH KULIT SINGKONG SEBAGAI ADSORBEN TERAKTIVASI ASAM NITRAT UNTUK MENURUNKAN LOGAM KADMIUM (Cd) DALAM AIR

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

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

REVA AMELIA

20513134

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

TUGAS AKHIR

PEMANFAATAN LIMBAH KULIT SINGKONG SEBAGAI ADSORBEN TERAKTIVASI ASAM NITRAT UNTUK MENURUNKAN LOGAM KADMIUM (Cd) DALAM AIR

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

REVA AMELIA
20513134

Disetujui,
Dosen Pembimbing

Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.
NIK. 155130112
Tanggal:

Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.
NIK. 025100406
Tanggal: 24 - 10 - 2024

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

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

HALAMAN PENGESAHAN

PEMANFAATAN LIMBAH KULIT SINGKONG SEBAGAI ADSORBEN TERAKTIVASI ASAM NITRAT UNTUK MENURUNKAN LOGAM KADMIUM (Cd) DALAM AIR

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Kamis

Tangggal : 29 Oktober 2024

Disusun Oleh:

REVA AMELIA

20513134

Tim Penguji:

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

Ir. 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. Tulisan ini merupakan hasil orisinal dan belum pernah diajukan untuk tujuan mendapatkan gelar akademik di Universitas Islam Indonesia atau lembaga pendidikan tinggi lainnya.
2. Karya ini merupakan produk dari pemikiran, perumusan, dan penelitian saya sendiri, dengan panduan dan bimbingan dari Dosen Pembimbing, tanpa melibatkan pihak lain.
3. Dalam tulisan ini, tidak ada penggunaan karya atau pandangan orang lain kecuali jika diakui secara jelas dalam teks dengan menyebutkan nama penulisnya dan mengikutsertakannya dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di masa mendatang terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sangsi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sangsi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 21 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



Reva Amelia

NIM: 20513134

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT karena anugerah dari-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir yang berjudul "Pemanfaatan Limbah Kulit Singkong Sebagai Adsorben Teraktivasi Asam Nitrat Untuk Menurunkan Logam Kadmium (Cd) Dalam Air" dengan baik. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan besar Nabi Muhammad SAW yang telah menunjukkan kepada kita jalan yang lurus berupa ajaran agama Islam yang sempurna dan menjadi anugerah serta rahmat bagi seluruh alam semesta.

Pada kesempatan kali ini, saya sebagai penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, mendukung, serta mendoakan saya dalam penyusunan tugas akhir ini, yakni kepada:

1. Allah SWT yang senantiasa melimpahkan nikmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini;
2. Alm Bapak Sofyan, Ibu Salamah dan Kakak Ravi Asgar yang selalu memberi dukungan dan doa kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir;
3. Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II penulis yang sudah membimbing serta memberi arahan dan motivasi selama proses penelitian tugas akhir;
4. Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.)., Ph.D. selaku Kepala Program Studi S1 Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia sekaligus Dosen Penguji penulis;
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia yang telah mendidik dan memberikan ilmu yang bermanfaat;
6. Bintang, Adinda, Awa, Ainun, Septia, dan Nurul yang selalu menemani, memberi semangat dan menghibur penulis disetiap waktu;
7. Teman-teman angkatan 2020 yang telah memberikan kebersamaan dan membantu selama masa perkuliahan;

8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah mendukung dan membantu penulis menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga tugas akhir ini dapat menambah pengetahuan dan pengalaman baik bagi pembaca maupun penulis sendiri. Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini memiliki keterbatasan pengetahuan maupun pengalaman. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Yogyakarta, 21 Agustus 2024

Reva Amelia

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

REVA AMELIA. “Pemanfaatan Limbah Kulit Singkong Sebagai Adsorben Teraktivasi Asam Nitrat Untuk Menurunan Logam Kadmium (Cd) Dalam Air”. Dibimbing oleh Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. dan Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

Salah satu logam berat yang sering dijumpai dalam air yaitu kadmium (Cd). Kadmium bersifat toksik yang mengakibatkan dampak negatif terhadap ekosistem dan kesehatan manusia jika terakumulasi dalam jumlah yang banyak. Metode yang dapat digunakan untuk penurunan logam kadmium pada air yaitu metode adsorpsi menggunakan karbon aktif. Penelitian ini menggunakan karbon aktif kulit singkong yang teraktivasi asam nitrat (HNO_3) karena memiliki kandungan serat, selulosa, dan lignin yang tinggi. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kondisi optimum (massa, pH, waktu kontak, dan konsentrasi) untuk adsorpsi logam kadmium (Cd) pada air dan efektivitas penurunan kadmium jika diaplikasikan pada sampel air lindi. Hasil dari proses adsorpsi menggunakan karbon aktif kulit singkong yaitu mendapatkan hasil kondisi optimum untuk massa 40 mg dengan efisiensi removal sebanyak 96,14%, pH 5 dengan efisiensi removal 77,32%, waktu kontak 20 menit dengan efisiensi removal 82,61%, dan konsentrasi 10 ppm dengan efisiensi removal 47,41%. Sedangkan pada air lindi, karbon aktif kulit singkong teraktivasi HNO_3 memiliki efisiensi penyisihan 76,82%.

Kata kunci : adsorpsi, kadmium (Cd), kulit singkong

ABSTRACT

REVA AMELIA. *"Utilization of Cassava Peel Waste as a Nitric Acid Activated Adsorbent to Reduce Cadmium (Cd) Metal in Water". Supervide by* Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. dan Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

One of the heavy metals often found in water is cadmium (Cd). Cadmium is toxic, causing negative impacts on ecosystems and human health if accumulated in large quantities. The method that can be used to reduce cadmium metal in water is the adsorption method using activated carbon. This research uses nitric acid (HNO_3) activated cassava peel activated carbon because it has high fiber, cellulose, and lignin content. The purpose of this study was to determine the optimum conditions (mass, pH, contact time, and concentration) for adsorption of cadmium (Cd) metal in water and the effectiveness of cadmium reduction when applied to leachate water samples. The results of the adsorption process using cassava peel activated carbon are the optimum conditions for a mass of 40 mg with a removal efficiency of 96.14%, pH 5 with a removal efficiency of 77.32%, contact time of 20 minutes with a removal efficiency of 82.61%, and a concentration of 10 ppm with a removal efficiency of 47.41%. While in leachate water, HNO_3-activated cassava peel activated carbon has a removal efficiency of 76.82%.

Keywords: adsorption, cadmium (Cd), cassava peel.

Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR ISI

ABSTRAK viii
ABSTRACT ..... *ix*
DAFTAR ISI xi
DAFTAR GAMBAR xiv
DAFTAR TABEL xvi
DAFTAR LAMPIRAN xviii
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 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) 5
2.2 Lindi (*Leachate)* 5
2.2.1 Proses Pembentukan Lindi 6
2.2.2 Karakteristik Lindi 6
2.3 Kadmium (Cd) 8
2.4 Karbon Aktif 9
2.5 Adsorpsi 9
2.6 Penelitian Terdahulu 10
BAB III METODE PENELITIAN 12
3.1 Waktu dan Lokasi 12
3.2 Alat dan Bahan 12
3.3 Prosedur Penelitian 12
3.4 Pelaksanaan Penelitian 14
3.4.1 Sampling Air Lindi 14
3.4.2 Preparasi dan Karakterisasi Adsorben 14
3.4.3 Proses Adsorpsi 16
3.5 Analisis Data 19
3.5.1 Pengukuran Kadmium Pada Air Lindi 19

3.5.2 Aplikasi Kondisi Optimum Pada Air Lindi 20
3.5.3 Efisiensi Penyisihan 22
3.5.4 Isoterm Adsorpsi 22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 24
4.1 Karakterisasi Adsorben 24
4.1.1 *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) 24
4.1.2 *Scanning Electron Microscope* (SEM) 26
4.2 Hasil Uji Adsorpsi 26
4.2.1 Hasil Uji Variasi Massa Optimum 26
4.2.2 Hasil Uji Variasi pH Optimum 27
4.2.3 Hasil Uji Variasi Waktu Kontak Optimum 28
4.2.4 Hasil Uji Variasi Konsentrasi Optimum 29
4.2.5 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi 30
4.2.6 Hasil Aplikasi Kondisi Optimum Pada Air Lindi 33
BAB V KESIMPULAN SARAN 35
5.1 Kesimpulan 35
5.2 Saran 35
DAFTAR PUSTAKA 37
LAMPIRAN 40

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir Penelitian 2
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian 13
Gambar 3. 2 Prosedur Pengambilan Sampel 14
Gambar 3. 3 Langkah Preparasi Adsorben 15
Gambar 3. 4 Langkah Penentuan Massa Optimum 16
Gambar 3. 5 Langkah Penentuan pH Optimum 17
Gambar 3. 6 Langkah Penentuan Waktu Optimum 18
Gambar 3. 7 Langkah Penentuan Konsentrasi Optimum 19
Gambar 3. 8 Langkah Persiapan Contoh Uji 20
Gambar 3. 9 Langkah Aplikasi Kondisi Optimum Pada Air Lindi 21
Gambar 4. 1 Hasil FTIR Adsorben Kulit Singkong 24
Gambar 4. 2 Hasil SEM Adsorben Kulit Singkong Sebelum Aktivasi (A) dan Sesudah Aktivasi (B) 26
Gambar 4. 3 Pengaruh Massa Adsorben Pada Proses Adsorpsi 27
Gambar 4. 4 Pengaruh pH Larutan Cd Pada Proses Adsorpsi 28
Gambar 4. 5 Pengaruh Waktu Kontak Pada Proses Adsorpsi 29
Gambar 4. 6 Pengaruh Konsentrasi Larutan Cd Pada Proses Adsorpsi 30
Gambar 4. 7 Plot 1/Ca *versus* 1/Qe 31
Gambar 4. 8 Plot Ca *versus* Qe 31
Gambar 4. 9 Plot Log Ca *versus* Log Qe 32

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik Lindi Berdasarkan Umur *Landfill* 7
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu 10
Tabel 4. 1 Hasil Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi 25
Tabel 4. 2 Perhitungan Isoterm *Langmuir* 32
Tabel 4. 3 Perhitungan Isoterm *Freundlich* 33
Tabel 4. 4 Hasil Analisis Penyisihan Kadmium Pada Air Lindi 33

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Preparasi Adsorben 40
Lampiran 2. Pembuatan Larutan Standar Cd 41
Lampiran 3. Perhitungan Efisiensi *Removal* pada Larutan Cd untuk Mengetahui Kondisi Optimum Adsorben 42
Lampiran 4. Perhitungan Efisiensi *Removal* pada Air Lindi Menggunakan Kondisi Optimum Adsorben 44
Lampiran 5. Perhitungan Isoterm Adsorpsi 45

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

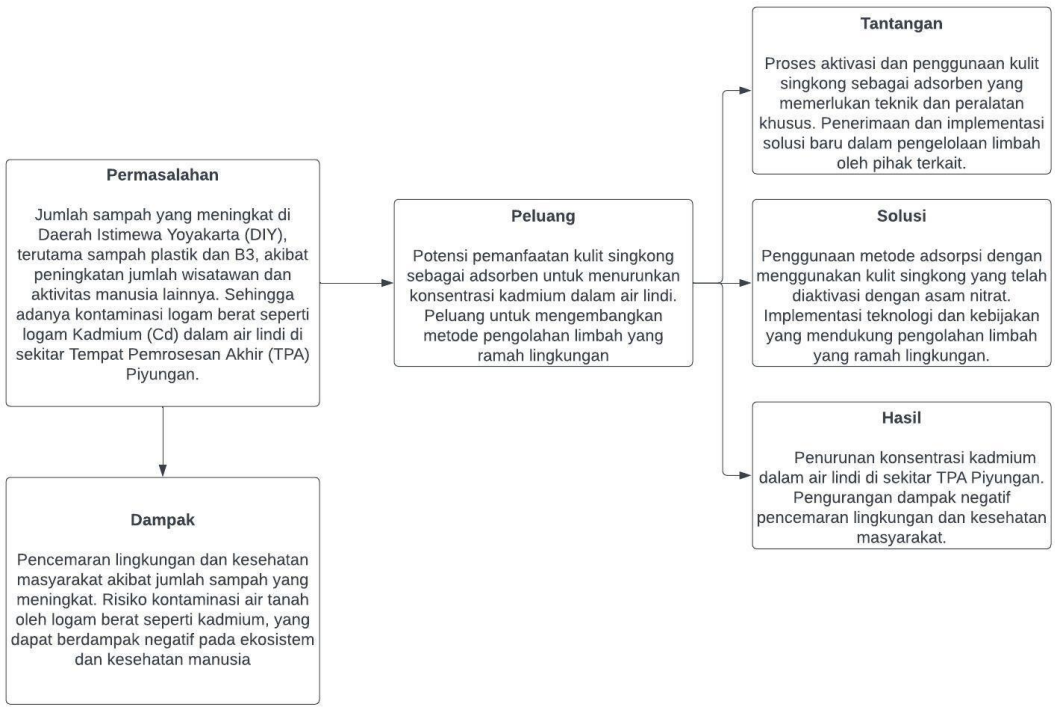
Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) menarik banyak pengunjung dari luar wilayah maupun lokal, terutama sebagai destinasi wisata dan pendidikan. Jumlah kunjungan wisatawan yang terus meningkat secara pesat akan memberikan dampak pada jumlah sampah yang dihasilkan seperti sampah plastik, kertas, produk kemasan yang mengandung B3 (Bahan Beracun Berbahaya). Sampah pada dasarnya merupakan suatu bahan yang terbuang atau dibuang dari suatu sumber hasil aktivitas manusia maupun proses-proses alam yang tidak mempunyai nilai ekonomi, bahkan dapat mempunyai nilai ekonomi yang negatif karena dalam penanganannya baik untuk membuang atau membersihkannya memerlukan biaya yang cukup besar (Ramdhanl & Hermawan, 2022).

Pemrosesan akhir sampah di kota Yogyakarta, Kabupaten Bantul dan Kabupaten Sleman telah dilakukan bersama dalam Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Regional yang terletak di Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul. Sampah di TPA Piyungan diolah menggunakan metode *sanitary landfill*. TPA Piyungan sebagai tempat utama untuk pemusnahan dan penimbunan sampah, memiliki potensi besar untuk mempengaruhi kualitas air lindi di sekitarnya. Proses dekomposisi sampah di dalam TPA dapat menghasilkan cairan yang dikenal sebagai air lindi. Air lindi ini mengandung berbagai zat kimia dan senyawa yang dapat mencemari tanah dan air tanah di sekitarnya. Salah satu logam berat yang sering dijumpai di dalam air lindi yaitu kadmium (Cd) yang dapat larut dalam air lindi dan merembes ke tanah dan air tanah. Kadmium bersifat toksik yang mengakibatkan dampak negatif terhadap ekosistem dan kesehatan manusia jika terakumulasi dalam jumlah yang banyak.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk penurunan logam kadmium pada air lindi yaitu metode adsorpsi menggunakan karbon aktif. Kemampuan karbon aktif dalam menyerap komponen-komponen yang terdapat dalam larutan

berasal dari struktur pori-porinya yang luas memberikan permukaan yang besar (Laos & Selan, 2016). Kulit singkong dipilih sebagai adsorben karena memiliki kandungan serat, selulosa, dan lignin yang tinggi (Chitra dkk, 2023). Selain itu, kulit singkong dapat mengatasi bau dan warna pada air yang keruh. Hal ini disebabkan oleh struktur permukaan kulit singkong yang luas serta pori-pori yang banyak. Ketersediaan kulit singkong yang melimpah, penggunaannya tidak hanya membantu dalam pengolahan air, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan limbah pertanian.

Dengan demikian, penelitian pemanfaatan limbah kulit singkong sebagai adsorben melalui proses aktivasi menggunakan asam nitrat, diharapkan dapat menangani masalah pencemaran logam berat dalam air lindi, memberikan kontribusi metode yang ramah lingkungan untuk pengolahan limbah, dan solusi untuk menjaga kualitas lingkungan hidup dan kesehatan masyarakat. Berikut merupakan kerangka berpikir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir Penelitian

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut :

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

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

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

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan metode alternatif untuk penurunan kadar kadmium (Cd) dalam air.
2. Menambah wawasan dan pengetahuan mengenai efektivitas karbon aktif yang dihasilkan dari kulit singkong teraktivasi asam nitrat (HNO_3) terhadap penurunan kadar kadmium (Cd) pada air lindi.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah :

1. Lokasi pengambilan sampel penelitian dilakukan di inlet IPAL lindi TPA Piyungan.

2. Pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
3. Metode yang digunakan adalah adsorpsi.
4. Adsorben yang digunakan adalah karbon aktif dari kulit singkong teraktivasi asam nitrat (HNO_3).

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)

Tempat Pemrosesan Akhir atau biasa disebut TPA adalah tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan. Pada TPA, sampah dari berbagai sumber dikumpulkan dan dikelola dengan berbagai metode, termasuk pemadaman, pemusnahan, dan daur ulang. Proses-proses ini dilakukan untuk mengurangi dampak negatif limbah terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat. Selain itu, TPA juga melibatkan proses pemantauan dan pengelolaan lindi, yaitu cairan yang dihasilkan dari proses dekomposisi limbah organik.

TPA Piyungan terletak di Dusun Ngablak, Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. TPA ini memiliki luas 12 hektar dengan kapasitas 2,7 juta meter kubik sampah, masa pakai diperkirakan mencapai 10 tahun. Di TPA Piyungan, sampah diolah melalui sistem *sanitary landfill*, di mana tumpukan sampah ditutupi dengan timbunan tanah. Selain itu, ada kolam pengolahan lindi, sistem drainase, dan lapisan kedap air (Kasam, 2011). Lindi ini diproses melalui proses aerasi dalam dua bak yang dibangun, sebelum dibuang ke perairan bebas melalui parit menuju sungai opak. Namun, proses aerasi ini tidak dilakukan setiap hari (Susanto dkk, 2004).

2.2 Lindi (*Leachate)*

Menurut Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada tahun 2016, air lindi dapat dijelaskan sebagai cairan limbah yang muncul akibat infiltrasi air eksternal ke dalam tumpukan sampah, menyebabkan pelarutan dan pembilasan materi-materi terlarut, termasuk bahan organik hasil dari proses dekomposisi biologis. Ada sejumlah variabel yang memengaruhi komposisi air lindi, termasuk jenis sampah yang didepositkan, jumlah curah hujan yang terjadi di lokasi pembuangan sampah, dan kondisi khusus tempat pembuangan sampah. Air lindi biasanya mengandung senyawa organik yang tinggi, seperti hidrokarbon, asam humat, sulfat, tanat, dan galat, serta senyawa anorganik yang tinggi, seperti

natrium, kalium, kalsium, magnesium, khlor, sulfat, fosfat, fenol, nitrogen, dan senyawa logam berat.

Lindi berasal dari proses perkolasi atau pencampuran, yang mengekstraksi atau membaur bahan terlarut dari sampah. Proses ini biasanya dilakukan oleh air hujan yang masuk ke dalam tumpukan sampah. Sebelum dibuang ke lingkungan, cairan ini harus diproses di suatu fasilitas pengolahan aerobik atau anaerobik.

Pada musim kemarau, debit lindi TPA Piyungan adalah 115 m^3/hari, dan pada musim hujan yang intens, debitnya dapat mencapai 400 m^3/hari (Astuti dkk, 2023). Untuk menghindari pencemaran lingkungan, kualitas lindi yang dibuang ke sungai harus memenuhi standar kualitas.

2.2.1 Proses Pembentukan Lindi

Pembentukan lindi di lokasi pembuangan sampah karena air hujan, air tanah, air limpahan, atau air banjir mengalir dan melalui lokasi pembuangan sampah. Selain itu umur tumpukan sampah juga mempengaruhi kualitas lindi dan gas yang terbentuk. Perubahan kualitas lindi dan gas menjadi parameter utama untuk mengetahui tingkat stabilisasi tumpukan sampah. Produksi air lindi akan berlangsung selama lima hingga enam tahun setelah tempat pembuangan akhir sampah ditutup.

Proses dekomposisi terjadinya lindi yaitu ketika terjadinya penumpukan sampah yang ditandai dengan adanya perubahan secara fisik, biologis, dan kimia pada sampah. Proses yang terjadi yaitu :

a. Penguraian biologis bahan organik secara aerob dan anaerob yang menghasilkan gas dan cairan
b. Oksidasi kimiawi
c. Pelepasan gas dari timbunan sampah
d. Pelarutan bahan organik dan anorganik oleh air dan lindi yang melewati timbunan sampah
e. Perpindahan materi terlarut karena gradien konsentrasi dan osmosis
f. Penurunan permukaan yang disebabkan oleh pemadatan sampah yang mengisi ruang kosong pada timbunan sampah

2.2.2 Karakteristik Lindi

Lindi memiliki karakteristik tertentu, hal ini disebabkan limbah yang dibuang

pada lokasi pembuangan sampah berasal dari berbagai sumber yang berbeda dengan tipe limbah yang berbeda pula. Dengan tingginya kandungan organik, logam, asam, garam terlarut, dan mikroorganisme, air lindi lebih berbahaya untuk lingkungan daripada limbah industri lainnya. Kualitas desain lindi yang akan diolah di Instalasi Pengolah Lindi (IPL) sangat penting, karena kualitas sampel lindi yang diambil sangat berpengaruh pada kualitas lindi. Karakteristik dan komposisi sampah, jenis tanah penutup *landfill*, musim, pH dan kelembaban, dan umur timbunan (*landfill*) adalah beberapa faktor yang mempengaruhi karakteristik dan kuantitas lindi. Untuk itu, beberapa hal yang perlu diperhatikan saat pengambilan sampel lindi adalah sebagai berikut :

a. Lokasi pengambilan sampel
b. Waktu pengambilan sampel : apakah setelah hujan atau saat musim kemarau?
c. Metode pengambilan sampel : apakah komposit atau grab sampling?

Meskipun lindi yang berasal dari timbunan sampah baru memiliki nilai BOD dan COD yang sangat tinggi, kualitas lindi *landfill* akan menurun seiring dengan umurnya. Karakteristik lindi berdasarkan umur *landfill* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Karakteristik Lindi Berdasarkan Umur *Landfill*

Parameter	**Landfill Umur < 2 th (mg/L)**	**Tipikal (mg/L)**	**Landfill Umur > 10 th (mg/L)**
BOD	2.000 – 30.000	10.000	100 – 200
COD	3.000 – 60.000	18.000	100 - 500
pH	4,5 – 7,5	6,0	6,6 – 7,5
TSS	200 – 2.000	500	100 – 400
N-No.	5 – 40	20	20 – 40
N-No.	5 – 40	25	5 – 10
Alkalinitas	1.000 – 10.000	3.000	200 – 1.000
Sulfat	50 – 100	300	20 – 50
Kalsium	200 – 3.000	1.000	100 – 400
Klorida	200 – 2.500	500	100 – 400
Natrium	200 – 2.500	500	100 – 400
Besi Total	50 – 1.200	60	20 - 200

Secara umum, lindi memiliki karakteristik antara lain adalah:

- Konsentrasi BOD dan COD tinggi diawal
- Memiliki kandungan nitrogen yang tinggi

- Daya hantar tinggi, hal tersebut dikarenakan banyaknya mineral yang dilarutkan oleh aliran lindi, sehingga daya hantarnya menjadi tinggi
- Kandungan logam berat yang kadang tinggi, hal tersebut dikarenakan pH lindi yang asam dapat melarutkan logam berat yang tercampur pada sampah yang masuk ke TPA
- Memilki pH netral sampai asam
- Warna yang sulit dihilangkan (coklat muda sampai hitam)

(Said dan Hartaja, 2015)

2.3 Kadmium (Cd)

Air lindi, sebagai produk dari proses penguraian sampah padat, memiliki potensi besar untuk mengandung berbagai zat berbahaya termasuk logam berat seperti kadmium. Kadmium adalah logam berat yang secara alami tidak terurai dan memiliki efek toksik pada manusia dan lingkungan. Pada manusia, efek toksisitas pajanan kadmium termasuk kerusakan tubulus ginjal, kerusakan glomerulus, dan penurunan mineralisasi tulang, risiko patah tulang yang lebih tinggi, fungsi paru-paru yang lebih buruk, dan emfisema. Keberadaannya dalam tubuh belum diketahui manfaatnya, namun diketahui bersifat beracun. Oleh karena itu, penting untuk memastikan keberadaan kadmium dalam perairan diketahui dengan pasti karena konsentrasi yang terlalu tinggi dapat memiliki dampak negatif pada kesehatan manusia (Sasongko dkk, 2017). Kadmium digunakan sebagai elektrosis, bahan pigmen untuk industri cat, enamel, baterai, dan plastik. Kadmium memiliki karakteristik berwarna putih keperakan seperti logam alumunium, tahan panas, dan tahan terhadap korosi. Kadar logam berat mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yaitu kadar maksimum kadmium sebesar 0,05 mg/L. Metode penentuan kadmium dalam air limbah domestik menggunakan Spektrometri Serapan Atom (SSA) bergantung pada prinsip penyerapan energi radiasi oleh atom-atom pada tingkat energi dasar. Dengan mengukur intensitas radiasi yang melewati sampel atau yang diserap oleh sampel, maka konsentrasi kadmium dalam sampel dapat diestimasi.

2.4 Karbon Aktif

Karbon aktif, juga dikenal sebagai arang aktif, adalah sebuah material yang memiliki struktur pori-pori yang besar dan luas permukaan internal yang memungkinkannya untuk menyerap berbagai zat kimia dari lingkungan. Proses pembuatan karbon aktif terdiri dari tiga tahapan yaitu dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi. Aktivasi bertujuan untuk meningkatkan volume dan memperbesar luas permukaan setelah bahan baku melalui proses karbonisasi (Mentari dkk, 2018). Dalam proses pembuatan karbon aktif teraktivasi, karbon diproses dengan zat pengoksidasi atau aktivator, seperti asam nitrat. Proses aktivasi ini meningkatkan luas permukaan dan volume pori-pori karbon aktif yang meningkatkan kemampuan penyerapan dan adsorpsi. Kemampuan penyerapan karbon aktif bervariasi tergantung pada jumlah senyawa karbon yang terkandung di dalamnya. Daya serap nya terkait erat dengan luas permukaan partikel karbon tersebut. Penyempurnaan kemampuan penyerapan dapat dicapai melalui aktivasi menggunakan zat kimia atau pemanasan pada suhu tinggi. Sebagai hasilnya, sifat fisik dan kimia karbon aktif mengalami perubahan yang signifikan (Maulinda dkk, 2015).

2.5 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan kejadian di permukaan suatu materi yang melibatkan penumpukan zat tertentu di antara batas padatan dan cairan. Proses adsorpsi terjadi karena adanya gaya tarik antara molekul-molekul yang terlibat. Terdapat 2 jenis adsorpsi yaitu :

1. Adsorpsi Fisika *Van Der Waals*
2. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi fisika terjadi karena molekul-molekul zat teradsorpsi di permukaan karbon aktif melalui gaya-gaya *Van Der Waals* tanpa adanya reaksi kimia yang signifikan. Sedangkan adsorpsi kimia melibatkan reaksi kimia antara zat teradsorpsi dengan permukaan karbon aktif, yang menghasilkan pembentukan ikatan kovalen atau ionik pada permukaan karbon. Secara umum, molekul dengan berat yang lebih besar cenderung lebih mudah di adsorpsi (Widiyatno dkk, 2017).

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai pemanfaatan limbah kulit singkong sebagai adsorben untuk penurunan kandungan logam berat kadmium telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Beberapa hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

Peneliti	Judul	Hasil
Robby & Razif (2023)	Uji Adsorpsi Karbon Aktif dari kulit Singkong dan Karbon Aktif Komersial Teraktivasi Asam Nitrat dalam Menurunkan Logam Kadmium (Cd)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif kulit singkong memiliki efisiensi removal yang tinggi dalam proses adsorpsi logam kadmium. Karbon aktif kulit singkong memiliki luas permukaan sebesar 151,360 m/g dengan 9 gram, waktu kontak 90 menit dengan konsentrasi logam Cd 8 ppm yaitu 95%. Sedangkan karbon aktif aktif komersial dengan luas 251,648 m/g dapat mencapai 96%.
Maulinda dkk (2015)	Pemanfaatan Kulit Singkong Sebagai Bahan Baku Karbon Aktif	Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif dari kulit singkong yang di karbonisasi pada suhu 600ºC selama 2 jam mampu mengurangi kotoran dan logam dalam air sumur dengan standar kualitas air bersih. Suhu dan waktu karbonisasi berpengaruh pada kadar air, kadar abu dan rendemen karbon aktif.
Sailah dkk (2020)	Kinerja Karbon Aktif dari Kulit Singong dalam Menurunkan Konsentrasi Fosfat pada Air Limbah *Laundry*	Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif kulit singkong memiliki potensi sebagai alternatif adsorben. Karakterisasi karbon aktif dilakukan dengan uji kadar air dan kadar abu. Penggunaan asam dalam aktivasi karbon lebih baik dalam menghilangkan zat pengotor. Kondisi optimum adsorpsi ditentukan berdasarkan waktu kontak dan pH. Waktu kontak optimal untuk karbon teraktivasi asam adalah 30 menit, sedangkan untuk karbon teraktivasi basa adalah 90 menit.
Kosim dkk (2022)	Perbandingan Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif dari Kulit Singkong dengan Karbon	Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif kulit singkong memenuhi standar SNI 06-3730-1995 dan memiliki kapasitas adsorpsi logam Cu yang baik, meskipun sedikit lebih rendah daripada karbon aktif komersil. Kulit

Peneliti	Judul	Hasil
	Aktif Komersil Terhadap Logam Tembaga Dalam Limbah Cair Elektroplating	singkong memiliki potensi sebagai adsorben karena mengandung karbon, selulosa, hemiselulosa, dan lignin.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Pengambilan sampel penelitian ini dilakukan di inlet IPAL lindi TPA Piyungan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Setelah dilakukan pengambilan sampel, maka dilakukan uji sampel di Laboratorium Kualitas Air, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dengan waktu penelitian dimulai pada bulan Maret 2024.

3.2 Alat dan Bahan

A. Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Peralatan Gelas
2. Pipet
3. Labu Ukur
4. Erlenmeyer
5. Cawan Porselen
6. Ayakan 100 mesh
7. Neraca Analitik
8. pH meter
9. Kertas Saring
10. Blender
11. *Oven*
12. *Furnace*
13. Spektrofometer Serapan Atom (SSA)
14. *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR)
15. *Scanning Electron Microscope* (SEM)

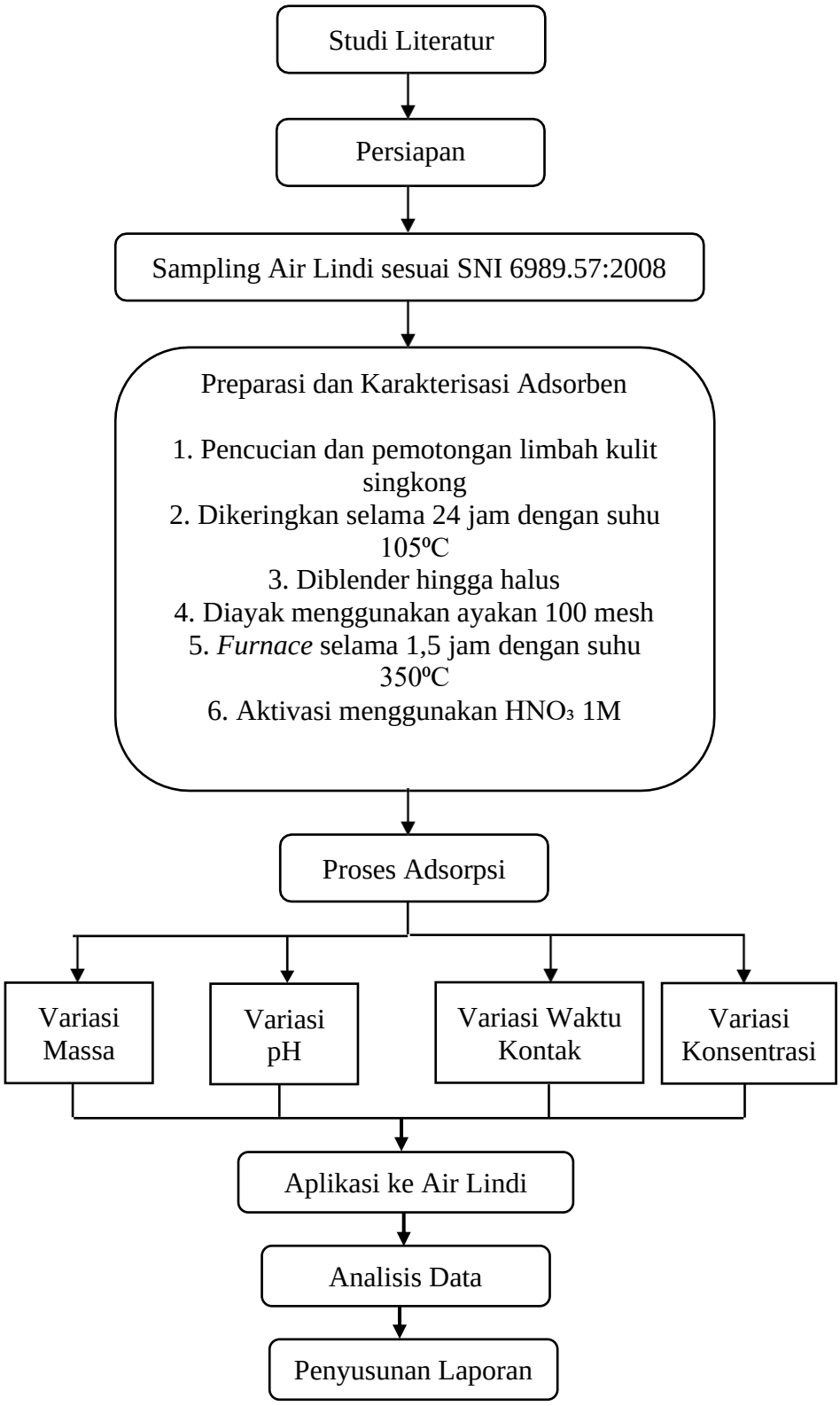
B. Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini meliputi :

1. Limbah kulit singkong
2. Air lindi
3. Larutan HNO_3 1M

3.3 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.1.

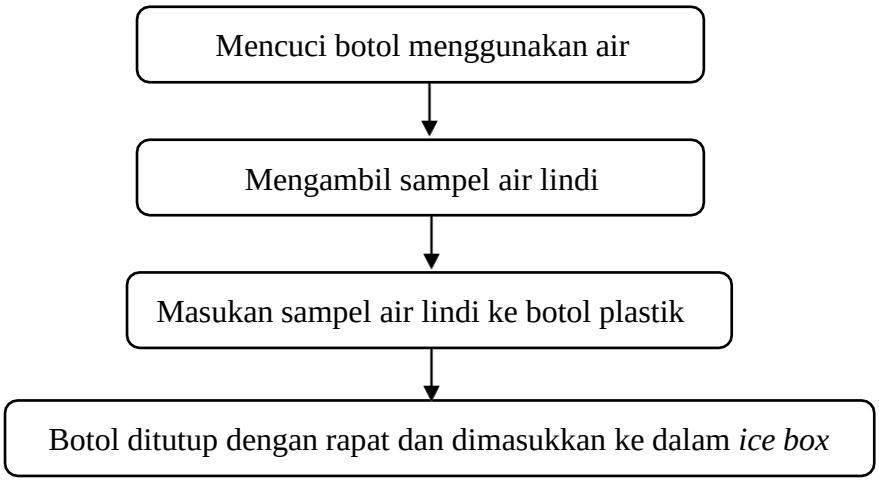


Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Sampling Air Lindi

Metode pengambilan sampel merujuk pada standar SNI 6989.57:2008 menggunakan metode *grab sampling* yaitu pengambilan sampel air pada titik tertentu pada waktu tertentu dengan menggunakan wadah atau botol tertentu. Sampel diambil secara langsung dari inlet IPAL lindi TPA Piyungan tanpa campur tangan dan kemudian ditutup dengan rapat. Berikut merupakan cara pengambilan sampel air lindi dapat dilihat pada Gambar 3.2.

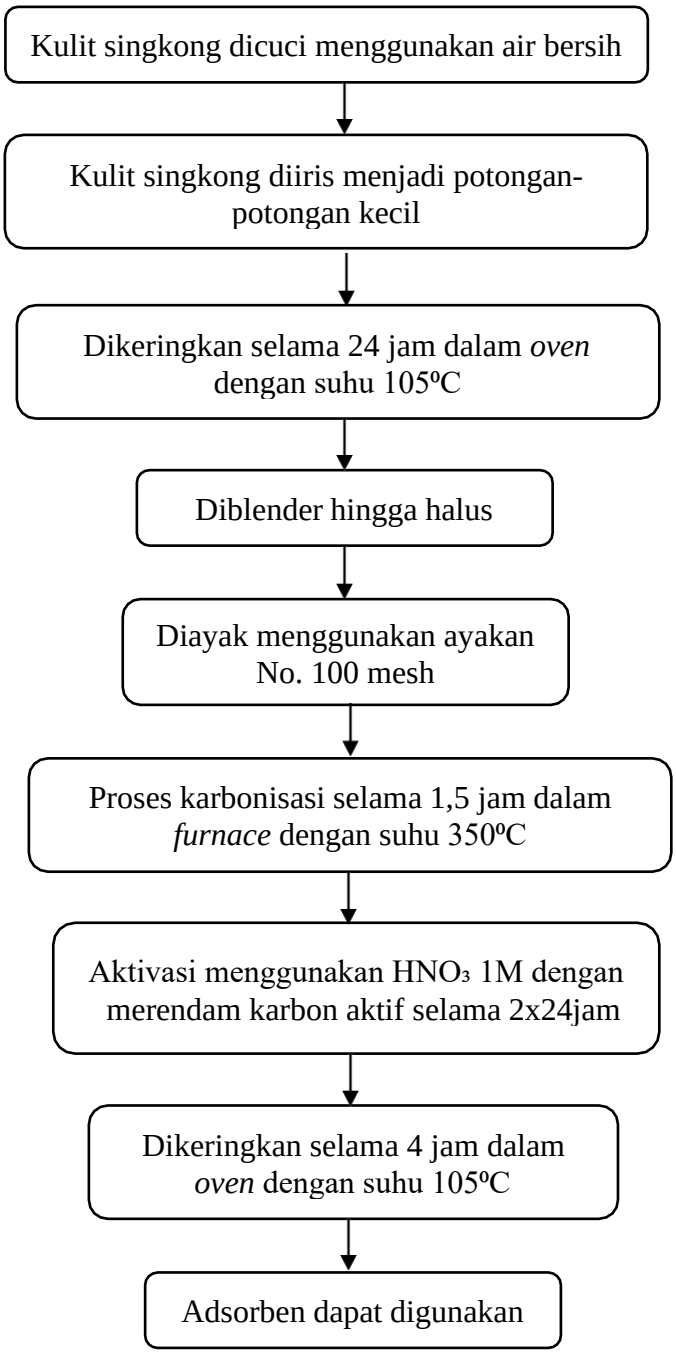


Gambar 3. 2 Prosedur Pengambilan Sampel

3.4.2 Preparasi dan Karakterisasi Adsorben

3.4.2.1 Preparasi Adsorben

Pada tahapan penelitian ini, limbah kulit singkong di dapat dari salah satu penjual UMKM yang ada di Jalan Kaliurang. Kulit singkong yang digunakan yaitu yang telah dibuang atau menjadi limbah, tetapi masih segar. Potongan kulit singkong sebelum diproses biasanya berukuran sekitar 2-3 cm untuk memudahkan proses pengeringan dan karbonisasi. Kulit singkong segar biasanya memiliki berat 10-20 gram per potongan. Berikut adalah langkah-langkah preparasi adsorben dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Langkah Preparasi Adsorben

3.4.2.2 Karakterisasi Adsorben

Karakterisasi adsorben limbah kulit singkong sebelum dan sesudah diaktivasi dengan HNO_3 akan dilakukan menggunakan dua teknik analisis, yaitu *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR).

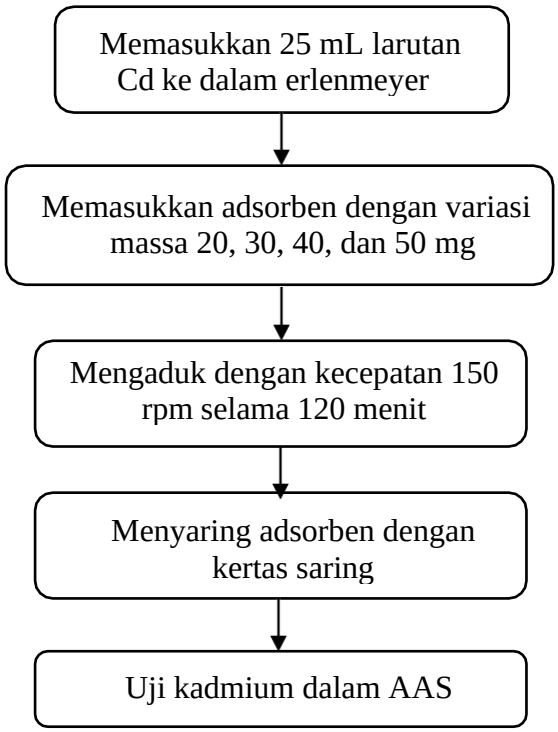
Teknik SEM untuk pengamatan tekstur permukaan yang dihasilkan oleh proses aktivasi. Sedangkan teknik FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada adsorben.

3.4.3 Proses Adsorpsi

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

A. Penentuan Massa Optimum

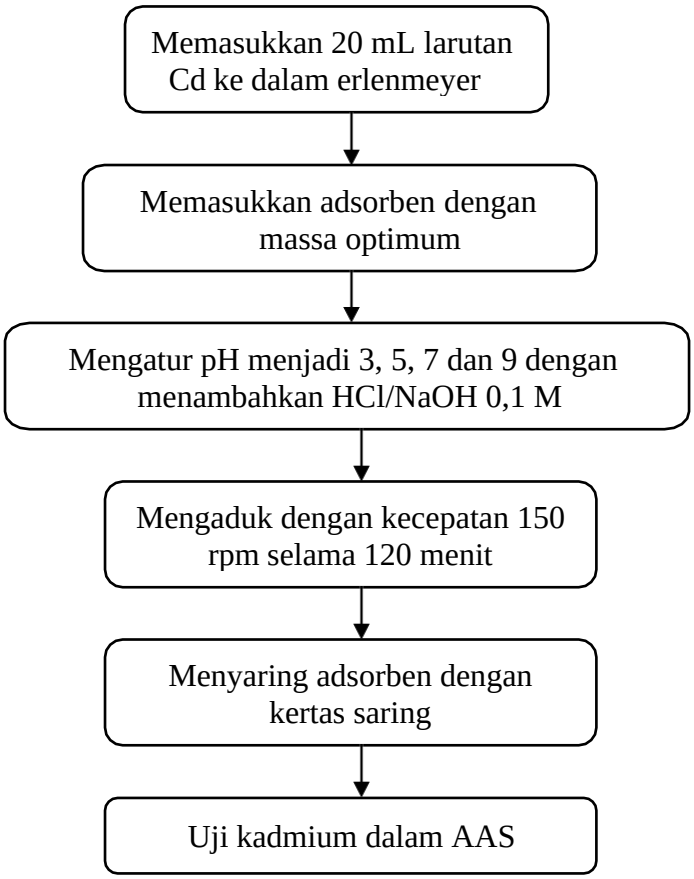
Dalam proses ini, penentuan massa optimum bertujuan untuk menemukan jumlah karbon aktif yang paling efisien untuk menghilangkan kontaminan dari suatu larutan. Berikut adalah langkah penentuan massa optimum dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Langkah Penentuan Massa Optimum

B. Penentuan pH Optimum

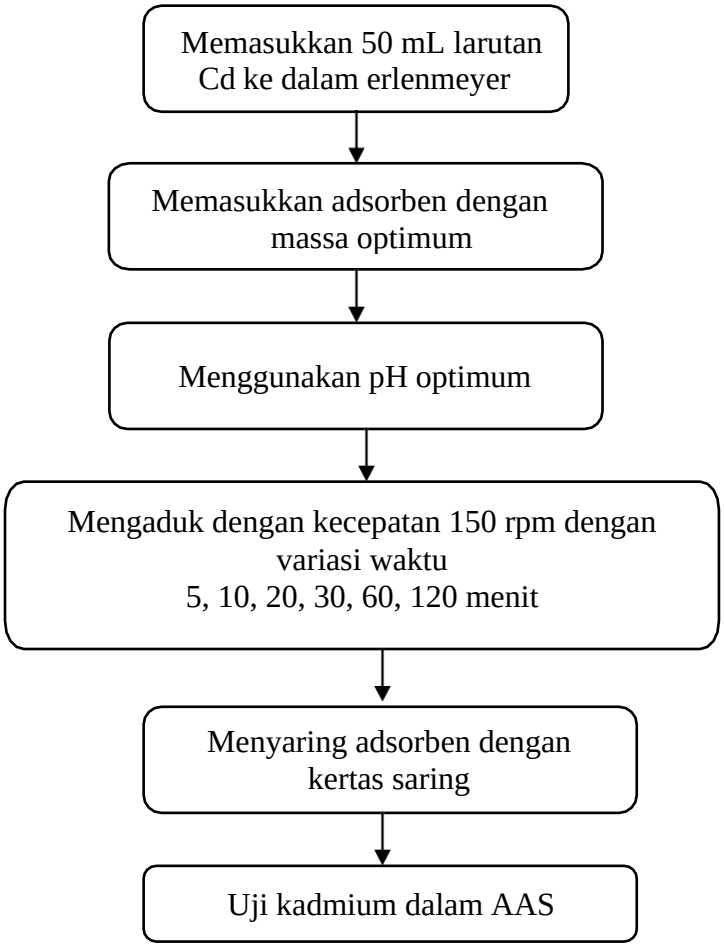
Dalam proses adsorpsi, penentuan pH optimum bertujuan untuk mengoptimalkan efisiensi penyerapan zat pencemaran oleh adsorben. Berikut adalah langkah penentuan pH optimum dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Langkah Penentuan pH Optimum

C. Penentuan Waktu Kontak Optimum

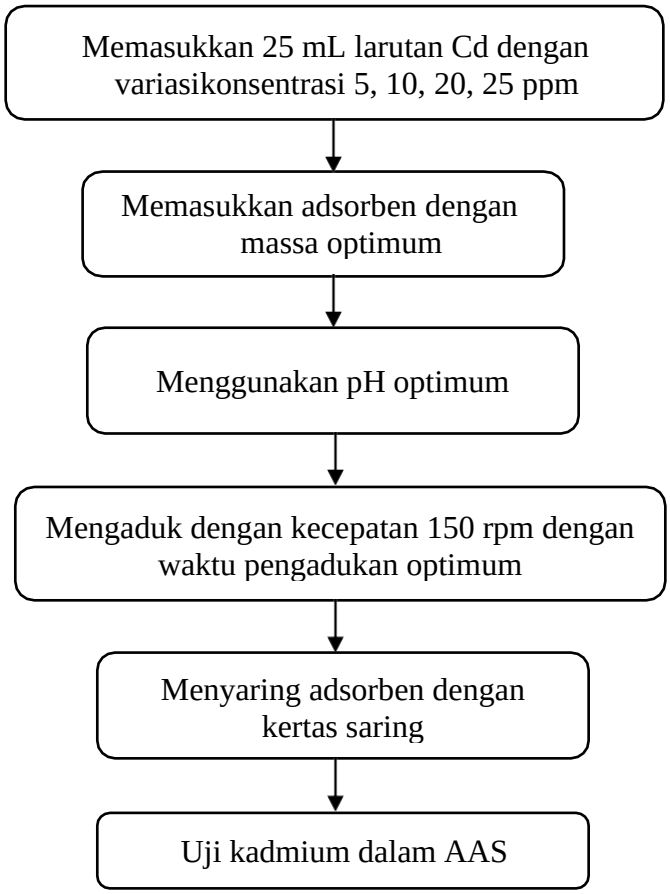
Setelah mendapatkan pH optimum, selanjutnya adalah penentuan waktu adsorpsi yang bertujuan untuk menentukan durasi optimal yang dibutuhkan bagi adsorben untuk mencapai penyerapan maksimum zat pencemar dari larutan. Berikut adalah langkah penentuan waktu kontak optimum dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Langkah Penentuan Waktu Optimum

D. Penentuan Konsentrasi Optimum

Setelah mendapatkan massa optimum, pH optimum dan waktu kontak optimum, selanjutnya adalah penentuan konsentrasi adsorben yang bertujuan untuk menentukan tingkat zat pencemar dalam larutan yang memungkinkan adsorben untuk mencapai efisiensi penyerapan maksimum. Berikut adalah langkah penentuan konsentrasi optimum dapat dilihat pada Gambar 3.7.

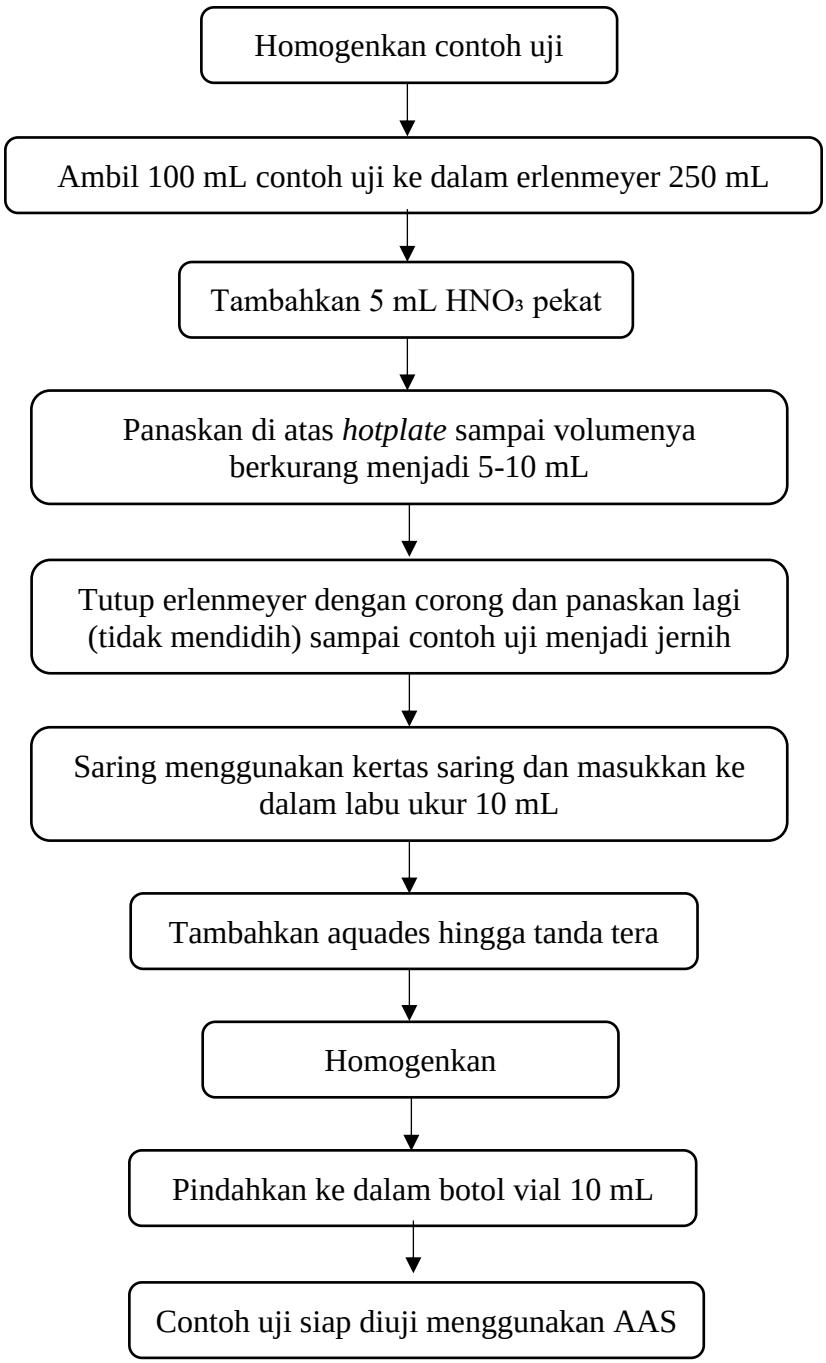


Gambar 3. 7 Langkah Penentuan Konsentrasi Optimum

3.5 Analisis Data

3.5.1 Pengukuran Kadmium Pada Air Lindi

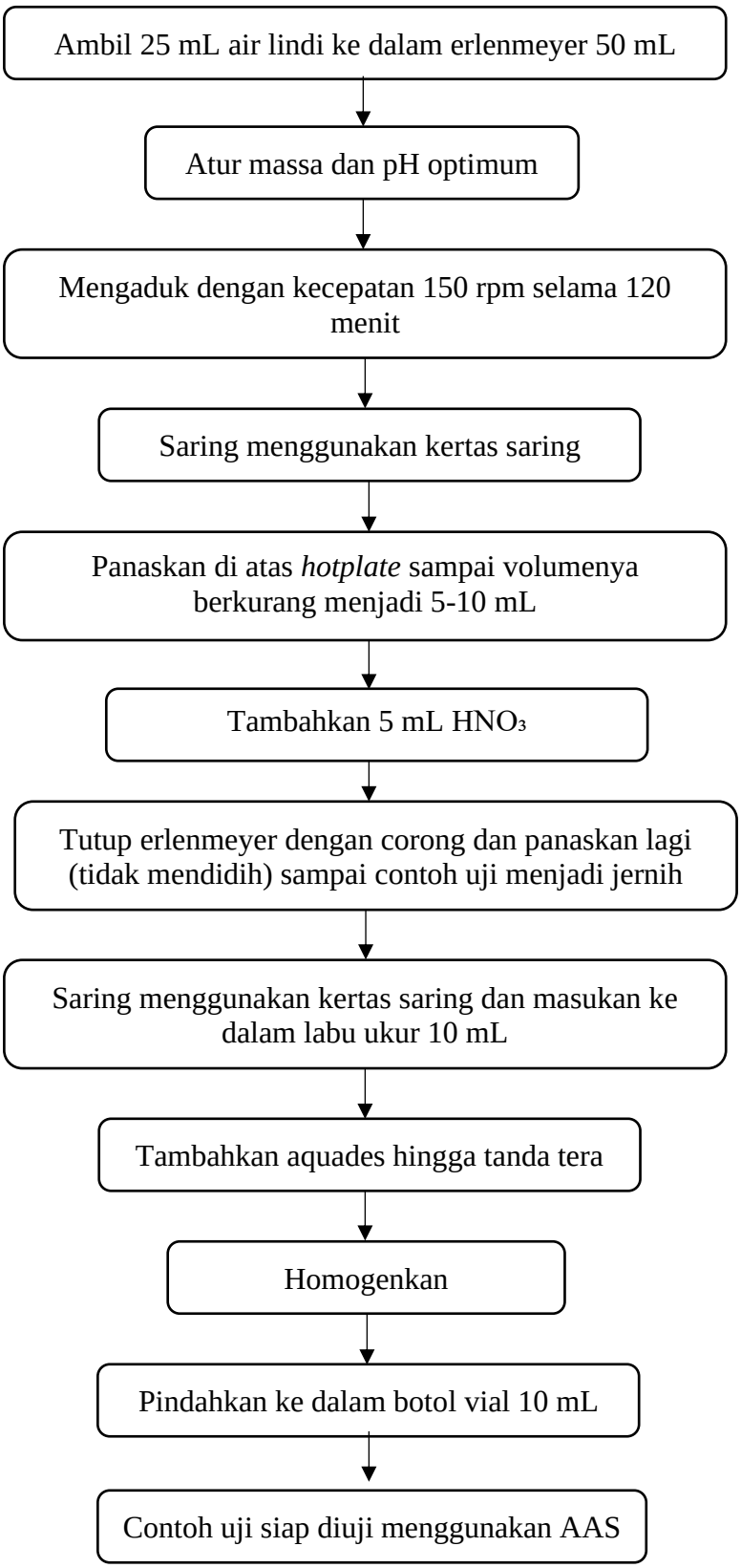
Pengukuran logam kadmium dalam air lindi berdasarkan SNI 6989.84.2019 yang mengatur tata cara analisis konsentrasi kadmium dalam sampel air menggunakan metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Berikut adalah langkah persiapan contoh uji dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Langkah Persiapan Contoh Uji

3.5.2 Aplikasi Kondisi Optimum Pada Air Lindi

Setelah mendapatkan massa, pH, waktu kontak, dan konsentrasi optimum selanjutnya adalah aplikasi kondisi optimum tersebut pada air lindi. Berikut adalah langkah aplikasi kondisi optimum pada air lindi dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Langkah Aplikasi Kondisi Optimum Pada Air Lindi

3.5.3 Efisiensi Penyisihan

Efisiensi penyisihan ini bertujuan untuk menghitung penyerapan logam kadmium dari larutan. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi penyisihan logam yaitu massa, pH, waktu kontak dan konsentrasi. Efisiensi dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\textbf{Efisiensi Penyisihan} = \frac{(Co-Ca)}{Co}\textbf{x100\%}$$

Keterangan :

Co : konsentrasi awal logam kadmium (Cd) dalam air (mg/L)

Ca : konsentrasi akhir logam kadmium (Cd) dalam air (mg/L)

3.5.4 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi mengacu pada hubungan antara konsentrasi zat terlarut yang terserap pada zat padat dan konsentrasi larutan. Ada dua persamaan yang biasa digunakan untuk menjelaskan data percobaan isoterm yaitu *langmuir* dan *freundlich*.

Isoterm *langmuir* merupakan adanya lapisan tunggal atau monolayer adsorbat di permukaan adsorben menghasilkan kapasitas adsorpsi tertinggi. Adsorpsi pada model *langmuir* terjadi pada permukaan homogen, di mana setiap adsorpsi hanya dapat menampung satu molekul adsorbat. Persamaan model isoterm *langmuir* dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\frac{Ce}{qe} = \frac{1}{Q0b} + \frac{Ce}{Q0}$$

Dimana :

Ce : konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/L)

qe : jumlah zat yang diadsorpsi per gram adsorben (mg/gr)

Q_0 : kapasitas adsorpsi (mg/gr)

b : interaksi adsorpsi (L/mg)

Isoterm *freundlich* merupakan proses adsorpsi yang melibatkan beberapa lapisan atau multilayer dan ikatan yang lemah. Persamaan ini digunakan untuk menentukan konstanta k dan n, yang menunjukkan kemampuan dan intensitas adsorpsi. Selain itu, dapat digunakan juga untuk memahami jenis adsorpsi yang terjadi

serta parameter yang terkait dengan proses adsorpsi. Persamaan model isotherm *freundlich* dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\log \frac{Xm}{m} = \log K + \frac{1}{n} \log Ce$$

Dimana :

X : jumlah zat terlarut yang diserap (mg)

M : gram adsorben yang digunakan (g)

Ce : konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/L)

K : kapasitas adsorpsi (mg/g)

n : intensitas adsorpsi (L/g)

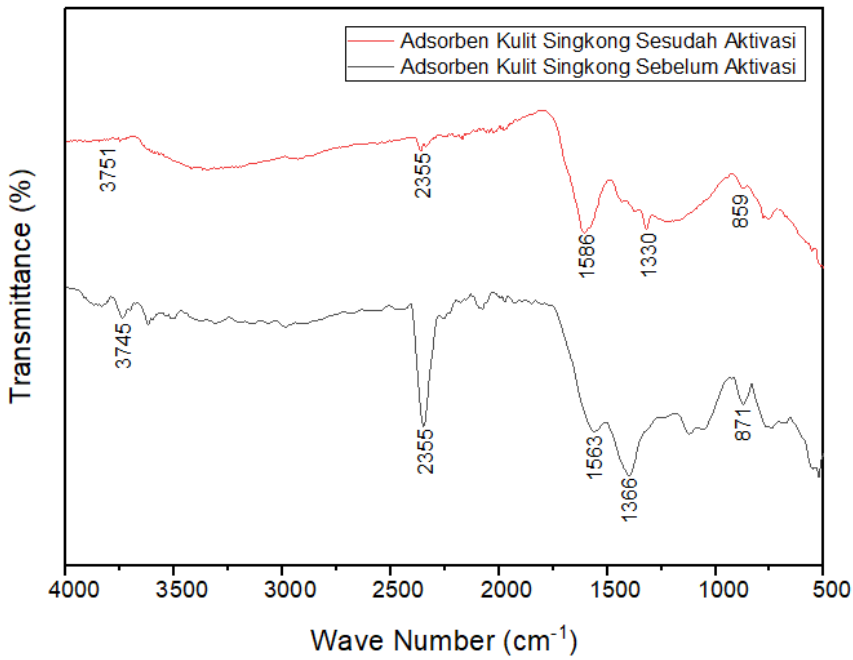
BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Adsorben

Karakterisasi adsorben limbah kulit singkong sebelum dan sesudah diaktivasi dengan HNO_3 akan dilakukan menggunakan dua teknik analisis, yaitu *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

4.1.1 *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR)

Karakterisasi adsorben kulit singkong menggunakan FTIR bertujuan untuk mengukur frekuensi getaran ikatan dalam molekul dan digunakan untuk menentukan gugus fungsional. Hasil uji FTIR dianalisa menggunakan grafik antara sumbu x (bilangan gelombang ƛ) dan sumbu y (*transmitan %*) dengan melihat puncak spesifik pada panjang gelombang tertentu. Gelombang FTIR dibaca pada rentang panjang 500 – 4000 cm^{-1}. Jenis gugus fungsional dalam senyawa adsorben ditunjukkan pada setiap puncak spesifik. Hasil grafik FTIR adsorben kulit singkong sebelum dan sesudah aktivasi HNO_3 dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Hasil FTIR Adsorben Kulit Singkong

Grafik gelombang *spectrum* IR dibagi menjadi 4 daerah. Daerah pertama *fingerprint* atau sidik jari, daerah kedua disebut ikatan rangkap dua, daerah ketiga disebut ikatan rangkap tiga, dan daerah keempat disebut daerah gugus fungsi H. Hasil uji FTIR pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa adsorben sebelum aktivasi terdapat pada pita serapan berwarna hitam, sedangkan adsorben teraktivasi HNO_3 terdapat pada pita serapan berwarna merah. Hasil bilangan gelombang dan gugus fungsi adsorben kulit singkong dapat dilihat pada Tabel 4.1.

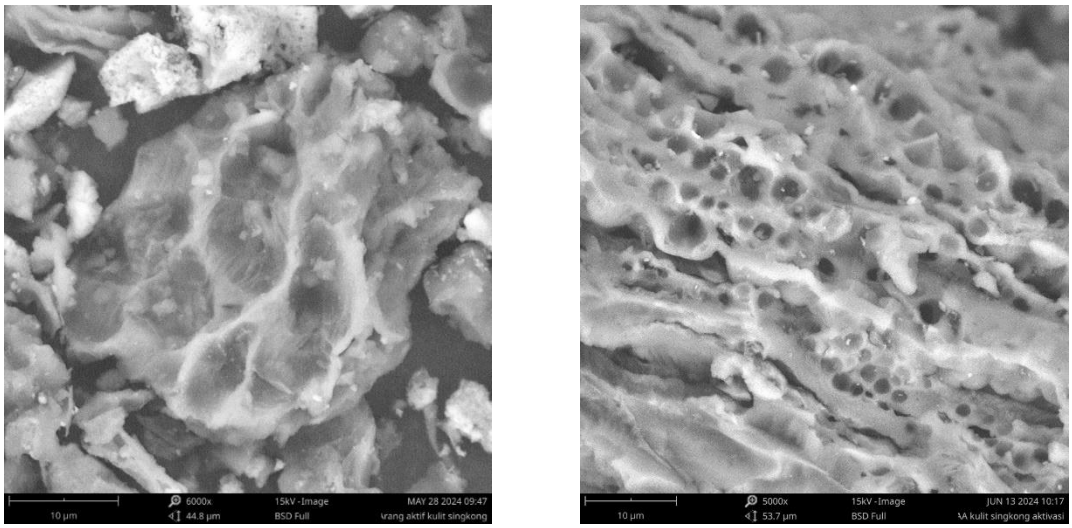
Tabel 4. 1 Hasil Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi

Adsorben Kulit Singkong	**Bilangan Gelombang (cm^{-1})**	**Gugus Fungsi**
Sebelum Aktivasi	3745	O - H
	2355	C = C
	1563	C = C
	1366	C – H
	871	C – C
Sesudah Aktivasi	3751	O - H
	2355	C = C
	1586	C = C
	1330	C - H
	859	C - C

Pada Tabel 4.1 diperoleh informasi bahwa gugus fungsi yang terkandung pada adsorben kulit singkong adalah sebagai berikut : Pada pita serapan 2350, 1557, 1593 cm^{-1} terdapat gugus fungsi C = C. Kemudian pada pita serapan 1396 dan 1324 cm^{-1} adanya gugus fungsi C – H. Pita serapan 865 dan 758 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi C – C. Gugus fungsi yang kemungkinan bisa digunakan untuk mengikat ion Cd^{2+} pada adsorben kulit singkong yaitu gugus karboksil (-COOH) dan hidroksil (-OH) pada pita serapan 3745 dan 3751 cm^{-1}, karena kemampuan untuk berikatan melalui ikatan elektrosatik dan/atau ikatan hidrogen.

4.1.2 *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Selanjutnya karbon aktif kulit singkong dilakukan uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang bertujuan untuk melihat perubahan bentuk pori-pori adsorben kulit singkong sebelum dan sesudah aktivasi menggunakan HNO_3. Analisis SEM dilakukan dengan perbesaran 6000x untuk adsorben sebelum aktivasi dan 5000x untuk adsorben sesudah aktivasi. Hasil pengujian SEM dapat dilihat pada Gambar 4.2.



(A) (B)

Gambar 4. 2 Hasil SEM Adsorben Kulit Singkong Sebelum Aktivasi (A) dan Sesudah Aktivasi (B)

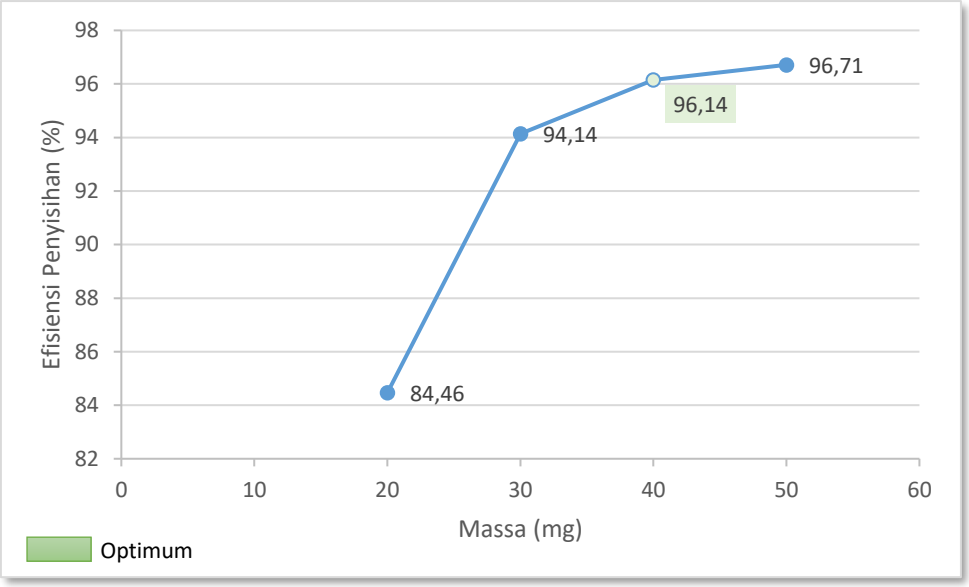
Dapat dilihat pada Gambar 4.2 terdapat perubahan bentuk pori pada permukaan adsorben kulit singkong. Pori permukaan adsorben sebelum aktivasi tidak terlalu tampak dikarenakan masih ada sisa bahan pengotor dari hasil pembakaran pada suhu yang tinggi. Sedangkan pori permukaan adasorben sesudah aktivasi HNO_3 lebih tampak dan terbuka. Oleh sebab itu, maksud dari adsorben diaktivasi dengan HNO_3 berhasil karena proses aktivasi dapat membersihkan sisa pembakaran dari bahan pengotor.

4.2 Hasil Uji Adsorpsi

4.2.1 Hasil Uji Variasi Massa Optimum

Penentuan massa optimum bertujuan untuk menemukan jumlah karbon aktif yang paling efisien untuk menghilangkan kontaminan dari suatu larutan. Pada pengujian ini digunakan variasi massa karbon aktif yang berbeda, yaitu 10 mg, 20 mg,

30 mg, 40 mg, dan 50 mg dengan konsentrasi larutan Cd 1 ppm, volume 25 mL, dan waktu kontak selama 120 menit. Hasil uji variasi massa terhadap proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.3.

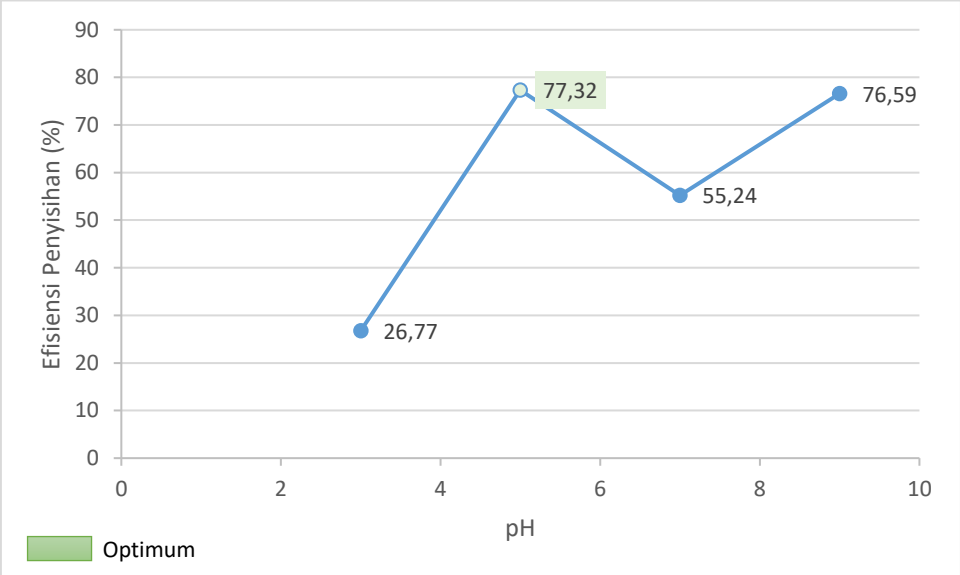


Gambar 4. 3 Pengaruh Massa Adsorben Pada Proses Adsorpsi

Berdasarkan Gambar 4.3 dapat disimpulkan bahwa penyerapan ion logam kadmium akan lebih baik dengan massa karbon aktif dari kulit singkong yang lebih banyak dikarenakan pada dasarnya semakin banyak jumlah adsorben yang digunakan maka semakin tinggi luas permukaan untuk penyerapan ion logam kadmium tersebut. Maka bisa disimpulkan massa optimum pada pengujian ini adalah 40 mg, karena dengan massa tersebut sudah bisa melakukan penyerapan hingga 96% ion logam kadmium yang terlarut. Peningkatan massa adsorben dapat meningkatkan kemampuan penyerapan, tetapi jika melebihi batas waktu optimum, maka adsorben sudah mulai kondisi jenuh. Hal ini dapat menyebabkan penurunan kapasitas logam atau zat lainnya.

4.2.2 Hasil Uji Variasi pH Optimum

Penentuan pH optimum bertujuan untuk mengoptimalkan efisiensi penyerapan zat pencemaran oleh adsorben. Pada pengujian ini dilakukan variasi pH 3, 5, 7, dan 9 dengan menggunakan konsentrasi larutan Cd 10 ppm, massa adsorben 40 mg, volume 20 mL, dan waktu kontak selama 120 menit. Hasil uji variasi pH terhadap proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.4.



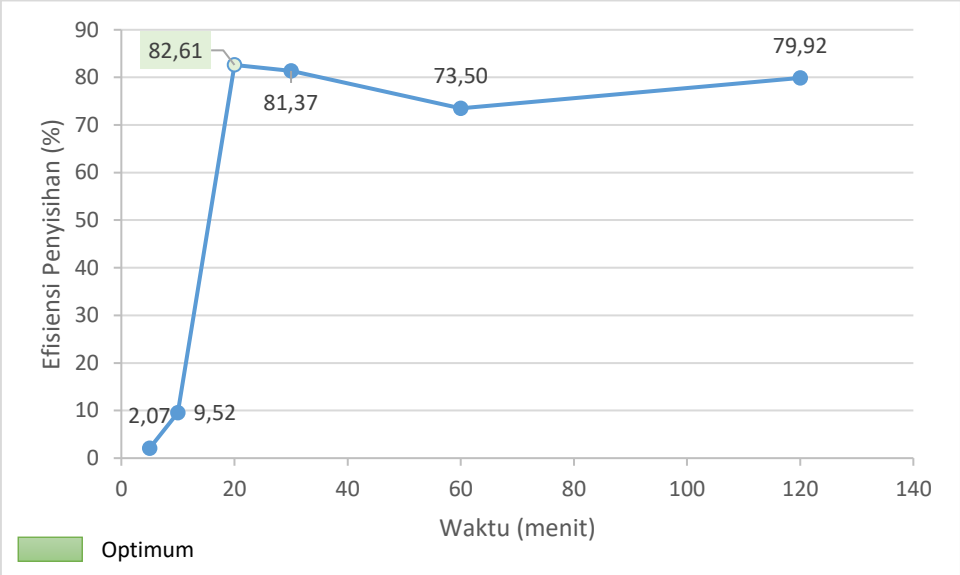
Gambar 4. 4 Pengaruh pH Larutan Cd Pada Proses Adsorpsi

Pada pH rendah, ion H^+ bersaing dengan ion logam kadmium untuk menempel pada permukaan adsorben. Akibatnya, baik ion H^+ maupun kadmium bisa terlepas dari adsorben. Ion logam berat seperti kadmium lebih mudah terlepas jika kondisi pH sangat asam. Sebaliknya, pada pH tinggi yang bersifat basa, logam seperti kadmium cenderung mengalami proses hidrolisis dan membentuk endapan karena pH basa membuat kemampuan adsorpsi menjadi menurun. Misalnya, pada pH 9, kadmium dapat membentuk endapan putih.

Sedangkan pada kisaran pH 5, adsorpsi kadmium meningkat. Hal ini terjadi pengikatan logam kadmium karena ion H^+ berkurang. Berdasarkan Gambar 4.4 bisa dilihat dari hasil uji coba variasi pH ini dimana pada pH 5 penyerapan hingga 77%. Maka bisa disimpulkan pH optimum pada pengujian ini adalah pH 5.

4.2.3 Hasil Uji Variasi Waktu Kontak Optimum

Penentuan waktu kontak optimum bertujuan untuk menentukan durasi optimal yang dibutuhkan bagi adsorben untuk mencapai penyerapan maksimum zat pencemar dari larutan. Pada pengujian ini dilakukan variasi waktu kontak selama 5, 10, 20, 30, 60, dan 120 menit dengan menggunakan konsentrasi larutan Cd 10 ppm, massa adsorben 40 mg, dan volume 50 mL. Hasil uji variasi waktu kontak terhadap proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.5.

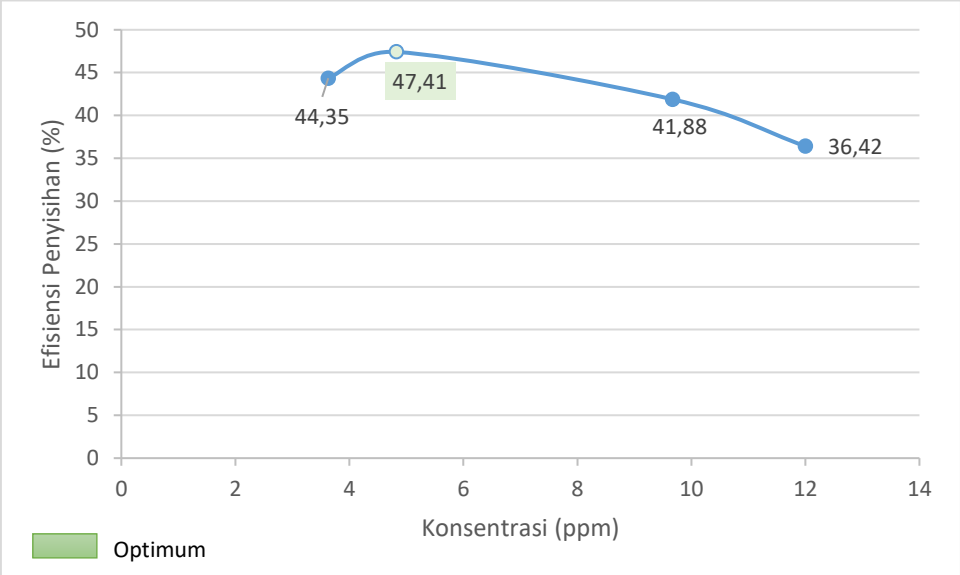


Gambar 4. 5 Pengaruh Waktu Kontak Pada Proses Adsorpsi

Berdasarkan Gambar 4.5, pada menit awal mengalami peningkatan yang tinggi atau optimal, setelah itu menjadi konstan. Hal ini terjadi karena adsorben sudah mencapai kondisi jenuh, artinya permukaan adsorben sudah penuh dengan ion logam kadmium, sehingga tidak bisa menyerap lebih banyak lagi. Biasanya, kondisi ini terlihat pada grafik penyerapan yang stabil pada nilai tertentu, misalnya mulai dari menit ke-20 atau menit ke-30, menunjukkan bahwa penyerapan sudah mencapai batas maksimalnya.

4.2.4 Hasil Uji Variasi Konsentrasi Optimum

Penentuan konsentrasi adsorben bertujuan untuk menentukan tingkat zat pencemar dalam larutan yang memungkinkan adsorben untuk mencapai efisiensi penyerapan maksimum. Pada pengujian ini dilakukan variasi konsentrasi 5, 10, 20, 25 ppm dengan menggunakan massa adsorben 40 mg, volume 25 mL, dan waktu kontak 120 menit. Hasil uji variasi konsentrasi terhadap proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.6.

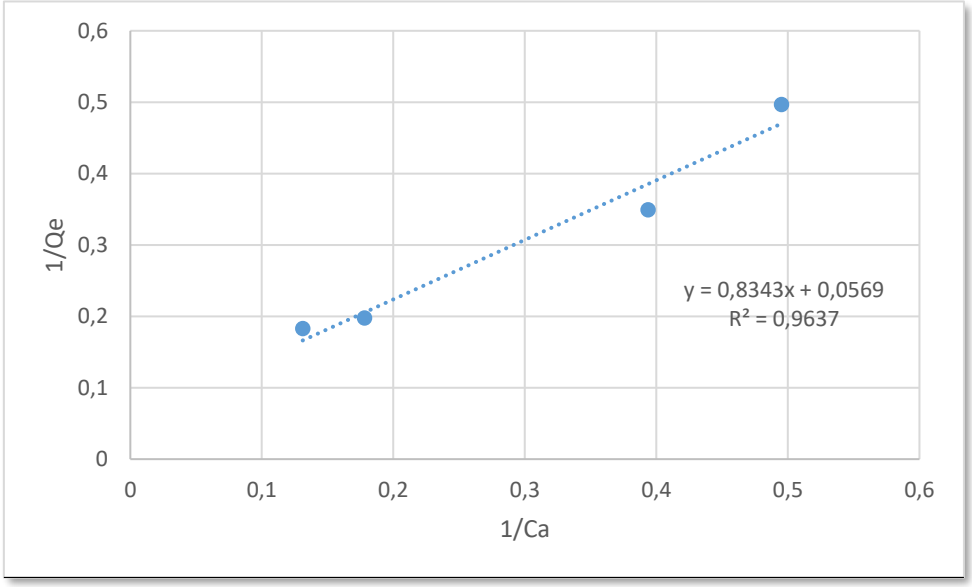


Gambar 4. 6 Pengaruh Konsentrasi Larutan Cd Pada Proses Adsorpsi

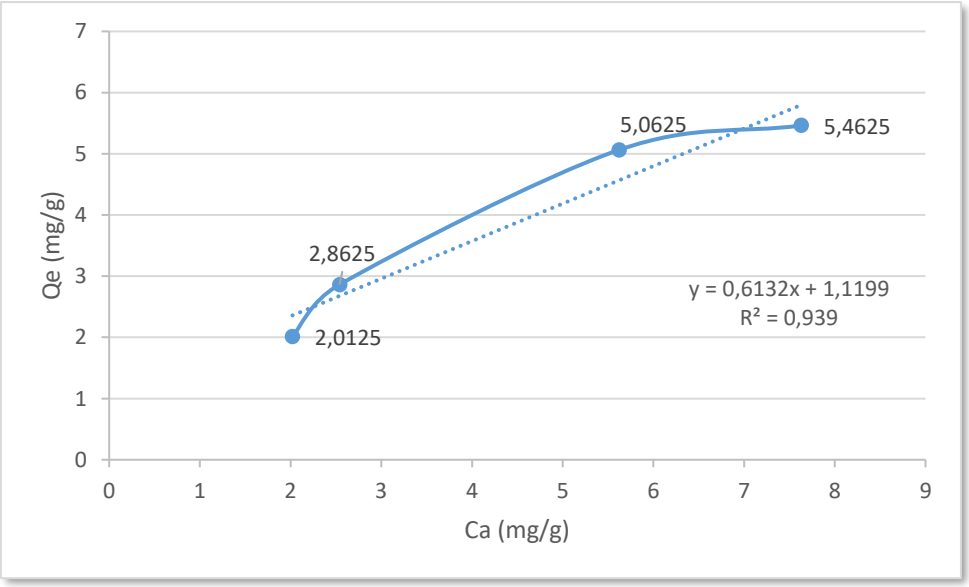
Berdasarkan Gambar 4.6 dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan penyerapan pada uji coba ini disebabkan adsorben sudah mengalami kondisi dimana adsorben sudah mencapai batas kemampuannya dalam menyerap ion logam kadmium, sehingga proses penyerapan ion logam kadmium oleh adsorben tidak dapat meningkat secara signifikan. Maka, konsentrasi optimum pada pengujian ini adalah 10 ppm, karena dengan konsentrasi tersebut sudah bisa melakukan penyerapan hingga 47% ion logam kadmium yang terlarut.

4.2.5 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi

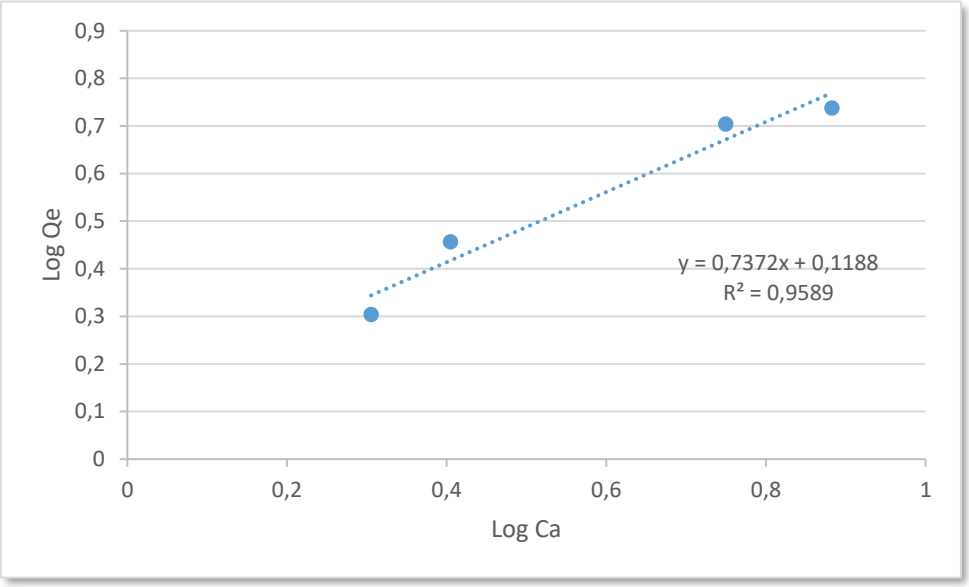
Selanjutnya dilakukan analisis isoterm adsorpsi dari kondisi optimum massa adsorben, pH larutan, waktu kontak, dan konsentrasi larutan. Isoterm yang digunakan pada analisis ini yaitu *langmuir* dan *freundlich*. Cara menentukan model isoterm adsorpsi yang dipilih yaitu isoterm yang mempunyai R^2 mencapai hampir 1. Perbandingan antara isoterm *langmuir* dan *freundlich* dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.9.



Gambar 4. 7 Plot 1/Ca *versus* 1/Qe



Gambar 4. 8 Plot Ca *versus* Qe



Gambar 4. 9 Plot Log Ca *versus* Log Qe

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa R^2 yang mencapai hampir 1 adalah isoterm *langmuir*. Model isoterm *langmuir* menyatakan bahwa hubungan antara adsorben dan adsorbat terjadi pada lapisan tunggal (*monolayer*). Proses adsorpsi pada model isoterm *langmuir* diasumsikan sebagai berikut : (1) Setiap sisi adsorben mempunyai sifat yang homogen dan dapat menjerap adsorbat dalam keadaan yang sama (2) Proses adsorpsi hanya dapat menjerap satu molekul adsorbat untuk setiap sisi aktifnya (3) Molekul yang terserap dan sisi adsorben disekitarnya tidak berinteraksi, dan (4) Ketika permukaan adsorben memiliki hanya satu lapisan adsorbat (*monolayer*), kapasitas adsorben akan maksimal (Nurhidayati dkk, 2022).

Perhitungan isoterm *langmuir* dan *freundlich* dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

Tabel 4. 2 Perhitungan Isoterm *Langmuir*

Langmuir	
Qo/Slope	0,83
n/intercept	0,05
Qmax (mg/g)	1,19
K_L	0,83
R_L	5,02
R^2	0,96

Tabel 4. 3 Perhitungan Isoterm *Freundlich*

Freundlich	
Qo/Slope	0,73
n/intercept	0,11
1/n	1,35
Kf	1,31
R^2	0,95

4.2.6 Hasil Aplikasi Kondisi Optimum Pada Air Lindi

Aplikasi kondisi optimum adsorben pada air lindi bertujuan untuk mengetahui efektivitas karbon aktif yang dihasilkan dari kulit singkong teraktivasi asam nitrat (HNO_3) dalam menurunkan logam kadmium pada air lindi. Sebelum dibaca menggunakan instrumen AAS, sampel air lindi harus dilakukan proses destruksi terlebih dahulu. Hasil AAS konsentrasi kadmium pada air lindi sebelum aktivasi yaitu 11,9 ppm. Proses adsorpsi pada air lindi yaitu dengan cara sampel air lindi diatur menjadi pH 5, ditambahkan massa 40 mg, dan diaduk selama 120 menit. Setelah itu, disaring dan destruksi dengan menambahkan larutan HNO_3 sebanyak 5 mL agar air lindi menjadi jernih. Setelah sampel air lindi jernih, dapat dibaca menggunakan instrumen AAS yang menunjukkan konsentrasi 2,76 ppm. Hasil analisis penyisihan kadmium pada air lindi dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil Analisis Penyisihan Kadmium Pada Air Lindi

Konsentrasi Awal (ppm)	**Konsentrasi Akhir (ppm)**	**Efisiensi Removal (%)**
11,9	2,76	76,81

Berdasarkan Tabel 4.4 konsentrasi kadmium pada air lindi sangat tinggi ditandai dengan warna lindi hitam coklat kepekatan. Jika dilihat baku mutu kadmium menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yaitu kadar maksimum kadmium sebesar 0,05 mg/L. Artinya, pencemaran logam kadmium sudah diatas ambang baku mutu. Setelah proses adsorpsi konsentrasi yang didapat adalah

2,76 ppm. Walaupun konsentrasi akhir belum memenuhi baku mutu tetapi setidaknya ada pengurangan sebanyak 76,81%.

BAB V
KESIMPULAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Proses adsorpsi menggunakan karbon aktif kulit singkong teraktivasi asam nitrat (HNO_3) mendapatkan hasil kondisi optimum untuk massa 40 mg dengan efisiensi removal sebanyak 96,14%, pH 5 dengan efisiensi removal 77,32%, waktu kontak 20 menit dengan efisiensi removal 82,61%, dan konsentrasi 10 ppm dengan efisiensi removal 47,41%.
2. Efektivitas penyisihan kadmium pada air lindi menggunakan variasi optimum adalah 76,82%.

5.2 Saran

Pada pengujian ini, adsorpsi tidak cukup untuk menurunkan konsentrasi kadmium hingga mencapai baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah daerah. Hal ini disebabkan konsentrasi awal kadmium pada air lindi sangat tinggi. Jika ingin mencapai hasil yang sesuai dengan baku mutu, diperlukan penelitian lanjutan untuk penurunan logam berat kadmium pada air lindi.

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Astuti, F. A., Syarifudin, & Susilowati, I. (2023). Kajian Status Mutu Air Sungai Akibat Buangan Air Lindi TPA Piyungan di Kabupaten Bantul. *Jurnal Ilmu Lingkungan, 21*,881-887.

Chitra, F., Andriani, N., & Sungkawa, H. B. (2023). Efektivitas Kulit Singkong, Ampas Tebu dan Kulit Pisang Kepok sebagai Karbon Aktif. *Jurnal Poltekkes Jayapura, 15*, 26-35.

Kasam. (2011). Analisis Resiko Lingkungan pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah (Studi Kasus: TPA Piyungan Bantul). *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan, 3*, 19-30.

Kosim, M. E., Siskayanti, R., Prambudi, D., & Rusanti, W. D. (2022). Perbandingan Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif dari Kulit Singkong dengan Karbon Aktif KomersilTerhadap Logam Tembaga dalam Limbah Cair Electroplating.

Laos, L. E., & Selan, A. (2016). Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Bahan Baku KarbonAktif. *Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika, 1*, 32-36.

Maulinda, L., ZA, N., & Sari, D. N. (2015). Pemanfataan Kulit Singkong sebagai Bahan Baku Karbon Aktif. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal, 2*, 11-19.

Mentari , V. A., Handika, G., & Maulina, S. (2018). Perbandingan Gugus Fungsi dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator Asam Fosfat (H3PO4) dan Asam Nitrat (HNO_3). *Jurnal Teknik Kimia USU, 7*, 16-20.

Nurhidayati, I., Mellisani, B., Puspita, F., & Putri, F. A. R. (2022). Penentuan Isoterm dan Kinetika Adsorpsi Ion Besi oleh Sedimen Sebagai Adsorben. Warta Akab, 46(1).

Ramdhanl, M., & Hermawan, E. (2022). Permasalahan Sampah di Kota Bogor sebagai Wilayah Penyangga DKI Jakarta. *Jurnal Riset Jakarta, 15*, 77.

Robby, M. D., & Razif, M. (2023). Uji Adsorpsi Karbon Aktif dari Kulit Singkong dan Karbon Aktif Komersial Teraktivasi Asam Nitrat dalam Menurunkan Logam Kadmium (Cd). *Enviromental Science and Engineering Conference, 4*, 73-79.

Said, N. I., & Hartaja, D. R. (2015). Pengolahan Air Lindi dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob dan Denitrifikasi.

Sailah, I., Mulyaningsih, F., Ismayana, A., Puspaningrum, T., Adnan, A. A., & Indrasti, N. S.(2020). Kinerja Karbon Aktif dari Kulit Singkong dalam Menurunkan Konsentrasi Fosfat pada Air Limbah Laundry. *Jurnal*

Teknologi Industri Pertanian, 30, 180-189.

Sasongko, A., Yulianto, K., & Sarastri, D. (2017). Verifikasi Metode Penentuan LogamKadmium (Cd) dalam Air Limbah Domestik dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom. *Jurnal Sains dan Teknologi, 6*, 228-237.

Susanto, J. P., Ganefati, S. P., Muryani, S., & Istiqomah, S. H. (2004). Pengolahan Lindi (Leachate) dari TPA dengan Sistem Koagulasi-Biofilter Anaerobic. *Jurnal TeknikLingkungan, 3*, 167-173.

Widiyatno, T., Yuliawati, T., & Susilo, A. A. (2017). Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam, 1*,17-23.

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1. Preparasi Adsorben



(a) Limbah kulit singkong



(b) Pengeringan kulit singkong menggunakan *oven* dengan suhu 105º



(c) Kulit singkong setelah diblender



(d) Karbonisasi menggunakan *furnace* dengan suhu 350º selama 1,5 jam



(e) Arang aktif kulit singkong



(f) Pengayakan dengan No. 100 mesh



(g) Aktivasi menggunakan HNO_3



(h) Adsorben siap digunakan

Lampiran 2. Pembuatan Larutan Standar Cd

Mr $Cd(NO_3)$ = 236,42 g/mol
Ar Cd = 112,40 g/mol

Perhitungan :

Larutan Cd = $\frac{\text{Mr } Cd(NO_3)}{\text{Ar Cd}}$ x 1000 mg

Larutan Cd = $\frac{236{,}42 \text{ g/mol}}{112{,}40\ g/mol}$ x 1000 mg

Larutan Cd = 2130,20 mg

Larutan Cd = 2,1 gram

Jadi, 2,1 gram $Cd(NO_3)$ dilakukan dalam 1000 mL larutan aquadest dan menjadi larutan baku Cd 1000 mg/L

Pembuatan Larutan Cd 10 ppm dari 1000 ppm

$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$

$V_1 \times 1000$ mg/L = 100 mL x 10 mg/L

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL x } 10 \text{ mg/L}}{1000 \text{ mg/L}}$$

V_1 = 1 mL

Lampiran 3. Perhitungan Efisiensi *Removal* pada Larutan Cd untuk Mengetahui Kondisi Optimum Adsorben

Perhitungan Efisiensi *Removal* Variasi Massa

Konsentrasi Cd = 2,8 mg/L

Volume Larutan = 25 mL

Waktu = 120 menit

Tabel Lampiran 1. 1 Perhitungan Efisiensi *Removal* Variasi Massa

Massa (mg)	Ca (mg/L)	%removal
20	0,43	84,46
30	0,16	94,14
40	0,10	96,14
50	0,09	96,71

Variasi massa 40 mg

% Efisiensi *removal* konsentrasi Cd = $\frac{Co-Ca}{Co}$ x 100

% Efisiensi *removal* konsentrasi Cd = $\frac{2,8-0,108}{2,8}$ x 100

% Efisiensi *removal* konsentrasi Cd = 96,14%

Perhitungan Efisiensi *Removal* Variasi pH

Massa = 20 mg

Volume Larutan = 250 mL

Waktu = 120 menit

Tabel Lampiran 1. 2 Perhitungan Efisiensi *Removal* Variasi pH

pH	Blanko (mg/L)	Co (mg/L)	Ca (mg/L)	% removal
3	5,74	5,64	4,13	26,77
5	2,53	4,41	1	77,32
7	0,98	2,48	1,11	55,24
9	4,14	3,46	0,81	76,59

Variasi pH 5

% Efisiensi *removal* konsentrasi Cd = $\frac{Co-Ca}{Co}$ x 100

% Efisiensi *removal* konsentrasi Cd = $\frac{4,41-1}{4,41}$ x 100

% Efisiensi *removal* konsentrasi Cd = 77,32%

Perhitungan Efisiensi *Removal* Variasi Waktu

Konsentrasi Cd = 4,83 mg/L

Volume Larutan = 50 mL

Massa = 40 mg

Tabel Lampiran 1. 3 Perhitungan Efisiensi *Removal* Variasi Waktu

Waktu (menit)	Ca (mg/L)	% removal
5	4,73	2,07
10	4,37	9,52
20	0,84	82,61
30	0,9	81,37
60	1,28	73,50
120	0,97	79,92

Variasi waktu 120 menit

% Efisiensi *removal* konsentrasi Cd = $\frac{Co-Ca}{Co}$ x 100

% Efisiensi *removal* konsentrasi Cd = $\frac{4,83-0,97}{4,83}$ x 100

% Efisiensi *removal* konsentrasi Cd = 79,92%

Perhitungan Efisiensi *Removal* Variasi Konsentrasi

Volume Larutan = 25 mL

Massa = 40 mg

Waktu = 120 menit

Tabel Lampiran 1. 4 Perhitungan Efisiensi *Removal* Variasi Konsentrasi

Co (mg/L)	Ca (mg/L)	% removal
3,63	2,02	44,35
4,83	2,54	47,41
9,67	5,62	41,88
12	7,63	36,42

Variasi konsentrasi 10 ppm

% Efisiensi *removal* konsentrasi Cd = $\frac{Co-Ca}{Co}$ x 100

% Efisiensi *removal* konsentrasi Cd = $\frac{4,83-2,54}{4,83}$ x 100

% Efisiensi *removal* konsentrasi Cd = 47,41%

Lampiran 4. Perhitungan Efisiensi *Removal* pada Air Lindi Menggunakan Kondisi Optimum Adsorben

Volume Air Lindi = 25 mL

Massa = 40 mg

pH = 5

Waktu = 120 menit

Tabel Lampiran 1. 5 Perhitungan Efisiensi *Removal* pada Air Lindi

Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)	Efisiensi Removal (%)
11,9	2,76	76,81

Efisiensi *removal* pada air lindi

% Efisiensi *removal* konsentrasi Cd = $\frac{Co-Ca}{Co}$ x 100

% Efisiensi *removal* konsentrasi Cd = $\frac{11,9-2,76}{11,9}$ x 100

% Efisiensi *removal* konsentrasi Cd = 76,81%

Lampiran 5. Perhitungan Isoterm Adsorpsi

Tabel Lampiran 1. 6 Perhitungan Isoterm Adsorpsi

Co (mg/L)	Ca (mg/L)	Selisih (ΔC)	Efisiensi Penyisihan (%)	Langmuir				
				Qe (mg/g)	1/Qe	1/Ca	Log Qe	Log Ca
3,63	2,02	1,61	44,35	2,01	0,49	0,49	0,30	0,30
4,83	2,54	2,29	47,41	2,86	0,34	0,39	0,45	0,40
9,67	5,62	4,05	41,88	5,06	0,19	0,17	0,70	0,74
12	7,63	4,37	36,41	5,46	0,18	0,13	0,73	0,88

Perhitungan Isoterm *Langmuir*

Tabel Lampiran 1. 7 Perhitungan Isoterm *Langmuir*

Langmuir	
Qo/Slope	0,83
n/intercept	0,05
Qmax (mg/g)	1,19
K_L	0,83
R_L	5,02
R^2	0,96

Perhitungan nilai Qmax

Q_{max} $= \frac{1}{slope}$

Q_{max} $= \frac{1}{0{,}8343}$

Q_{max} = 1,19 mg/g

Perhitungan nilai K_L

K_L = Slope

K_L = 0,83

Perhitungan nilai R_L

R_L $= \frac{1}{1+Ci\ xK_L}$

R_L $= \frac{1}{1+4{,}83\ x\ 0{,}8343}$

R_L = 5,02

Perhitungan Isoterm *Freundlich*

Tabel Lampiran 1. 8 Perhitungan Isoterm *Freundlich*

Freundlich	
Qo/Slope	0,73
n/intercept	0,11
1/n	1,35
Kf	1,31
R^2	0,95

Perhitungan nilai 1/n

$\frac{1}{n}$ = slope

$\frac{1}{n}$ = 0,73

Perhitungan nilai Kf

Kf = antilog intercept

Kf = $10^{intercept}$

Kf = $10^{0,1188}$

Kf = 1,31 mg/g