

TA/TL/2024/1941

TUGAS AKHIR

PENURUNAN KADAR KROMIUM HEKSAVALEN (Cr-(VI)) MENGUNAKAN ADSORBEN DARI AMPAS KOPI (ROBUSTA) PADA LINDI TPA

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



ALVIN MEIDIO PRATAMA

20513242

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

2024

TUGAS AKHIR

PENURUNAN KADAR KROMIUM HEKSAVALEN (Cr-(VI)) MENGUNAKAN ADSORBEN DARI AMPAS KOPI (*ROBUSTA*) PADA LINDI TPA

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



ALVIN MEIDIO PRATAMA

20513242

Disetujui,

Dosen Pembimbing

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

Tanggal: 18 Oktober 2024

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

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

Tanggal: 18 Oktober 2024

HALAMAN PENGESAHAN

PENURUNAN KADAR KROMIUM HEKSAVALEN (Cr-(VI)) MENGUNAKAN ADSORBEN DARI AMPAS KOPI (*ROBUSTA*) PADA LINDI TPA

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Senin

Tanggal : 28 Oktober 2024

ALVIN MEIDIO PRATAMA

20513242

Tim Penguji:

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



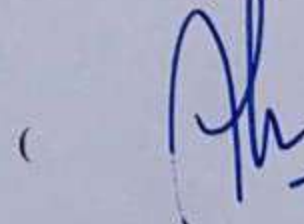
18/10/24

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



28/10/24

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



18/10/24

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 gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam penulisan 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, 02 Juli 2024

Yang membuat pernyataan,



Alvin Meidio Pratama

NIM: 20513242

PRAKATA

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji syukur dipanjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **“Penurunan Kadar Kromium Heksavalen (Cr (VI)) Menggunakan Adsorben Dari Ampas Kopi (Robusta) Pada Lindi”**, dalam rangka untuk memenuhi salah satu syarat untuk gelar Sarjana Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Perkenankanlah penulis untuk mengucapkan terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Allah SWT, yang selalu ada dalam setiap langkah, atas karunia hidayah akal serta fikiran dan kemudahannya.
2. Bapak **Haldi Yunas** dan Ibu **Elvi Ningsih** sebagai ayah dan ibu penulis yang selalu memberikan do'a dan support untuk penulis.
3. Ibu **Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.** selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan arahan, masukan, dan nasehat yang sangat bermanfaat untuk penulis.
4. Bapak **Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.** selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah membimbing, memberikan saran, dan arahan untuk penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Ibu **Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D.** selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah membimbing, memberikan saran, dan arahan untuk penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Kepada **20513054** yang selalu memberikan semangat, dukungan, membantu secara langsung, dan berada selalu bersama penulis dari awal penelitian hingga selesai.

7. Teman-teman Teknik Lingkungan angkatan 2020 yang tidak dapat disebutkan satu-satu yang sedang bersama-sama berjuang mendapatkan gelar sarjana.

Semoga seluruh bantuan, bimbingan dan pembelajaran yang telah diberikan kepada penulis mendapatkan imbalan dari Allah SWT. Penulis sepenuhnya menyadari keterbatasan kemampuan dan demikian, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi menyempurnakan laporan tugas akhir ini.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 02 Juli 2024

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized initial 'A' followed by a series of loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Alvin Meidio Pratama

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

ALVIN MEIDIO PRATAMA. “Penurunan Kadar Kromium Heksavalen (Cr (VI)) Menggunakan Adsorben Dari Ampas Kopi (Robusta) Pada Lindi”. Dibimbing oleh Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.

Lindi mengandung bahan pencemar organik berupa logam berat. Logam berat kromium heksavalen Cr (VI) bersifat toksik, keberadaannya di dalam lindi akibat sampah – sampah yang di buang ke TPA Piyungan D. I. Yogyakarta. Ampas kopi robusta (*Coffee Robusta*) merupakan adsorben alami yang mengandung arang aktif. Berdasarkan uraian diatas, maka penulis ingin melakukan penelitian tentang kemampuan ampas kopi robusta dalam menyerap logam Cr (VI) menggunakan metode adsorpsi pada lindi TPA Piyungan. Tujuan penelitian untuk mengetahui kondisi optimum dalam proses adsorpsi ampas kopi robusta terhadap Cr (VI) dan efisiensi penurunan kadar Cr (VI) oleh ampas kopi robusta. Analisis sampel lindi menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis *Double Beam* diidentifikasi bahwa kondisi optimum adsorben ampas kopi dalam proses adsorpsi Cr(VI) dengan massa 20 mg, pH larutan 8, waktu kontak 30 menit, dan konsentrasi awal sebesar 1,216 mg/l. Pada pemberian massa adsorben sebesar 20 mg dengan persentase penyisihan sebesar 94,59%. Kondisi pH larutan 8 dengan persentase penyisihan sebesar 91,98%. Waktu kontak optimum dalam penyerapan Cr(VI) selama 30 menit dengan persentase penyisihan sebesar 90,45%. Konsentrasi optimum dalam penyerapan Cr(VI) sebesar 1,216 mg/l dengan persentase 99,58%.

Kata Kunci: Lindi, Adsorpsi, Cr(VI), Ampas Kopi Robusta

ABSTRACT

ALVIN MEIDIO PRATAMA. *"Reduction of Hexavalent Chromium (Cr (VI)) Using Adsorbent from Coffee Dregs (Robusta) Leachate Water"*. Supervised by Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.

Leachate contains organic pollutants in the form of heavy metals. The heavy metal hexavalent chromium Cr (VI) is toxic, its presence in leachate is due to the garbage disposed of at TPA Piyungan, D. I. Yogyakarta. Robusta coffee grounds (Coffee Robusta) is a natural adsorbent that contains activated carbon. Based on the description above, the author wants to conduct research on the ability of robusta coffee grounds to absorb Cr (VI) metal using the adsorption method on TPA Piyungan leachate. The purpose of the study was to determine the optimum conditions in the adsorption process of robusta coffee grounds against Cr (VI) and the efficiency of reducing Cr (VI) levels by robusta coffee grounds. Analysis of leachate samples using a Double Beam Uv-Vis Spectrophotometer identified that the optimum conditions for coffee grounds adsorbent in the Cr(VI) adsorption process with a mass of 20 mg, solution pH 8, contact time 30 minutes, and an initial concentration of 1.216 mg/l. At the provision of adsorbent mass of 20 mg with a percentage Efisiensi Penyisihan of 94.59%. The pH condition of the solution was 8 with a Efisiensi Penyisihan percentage of 91.98%. Optimum contact time in the absorption of Cr(VI) for 30 minutes with a Efisiensi Penyisihan percentage of 90.45%. The optimum concentration in the absorption of Cr(VI) was 1.216 mg/l with a percentage of 99.58%.

Keywords: *Leachate Water, Adsorption, Cr(VI), Robusta Coffee Dregs*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR.....	1
TUGAS AKHIR.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	i
PRAKATA.....	ii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Lindi (<i>Leachate</i>).....	6
2.1.1 Pengertian Lindi.....	6
2.2 Kromium Heksavalen (Cr(VI)).....	7
2.2.1 Pengertian Kromium Heksavalen (Cr(VI)).....	7
2.2.2 Dampak Kromium Heksavalen (Cr(VI)) Terhadap Kesehatan dan Lingkungan.....	9

2.3 Adsorpsi	10
2.3.1 Pengertian Adsorpsi	10
2.3.2 Faktor Mempengaruhi Proses Adsorpsi	11
2.3.3 Jenis Isothermal Adsorpsi	12
2.4 Adsorben	14
2.5 Tanaman Kopi.....	15
2.5.1 Pengertian Tanaman Kopi.....	15
2.6 Karbon Aktif	16
2.6.1 Pengertian Karbon Aktif	16
2.6.2 Persiapan Karbon Aktif.....	17
2.6.3 Aktivasi Karbon Aktif Secara Kimia	19
2.7 Spektrofometri Visible	20
BAB III METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Waktu dan Lokasi	21
3.1.1 Waktu	21
3.1.2 Lokasi.....	21
3.2 Alat dan Bahan.....	22
3.2.1 Alat.....	22
3.2.2 Bahan	23
3.3 Prosedur Analisis Data	23
3.3.1 Ide.....	24
3.3.2 Tinjauan Pustaka	24
3.3.3 Persiapan Penelitian	24
3.3.4 Pengambilan Sampel.....	24
3.3.5 Preparasi Material	25

3.3.6 Pelaksanaan Penelitian	26
3.3.7 Karakterisasi Karbon Sebelum dan Sesudah Aktivasi	29
3.3.8 Proses Adsorpsi	30
3.3.9 Analisis Sampel	34
3.3.10 Analisis Data	34
3.3.11 Penyusunan Laporan	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Karakterisasi Adsorben	37
4.1.1 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)	37
4.1.2 Scanning Electron Mikroskop (SEM)	39
4.2 Hasil Adsorpsi	41
4.2.1 Massa Adsorben Optimum	41
4.2.2 pH Optimum	42
4.2.3 Waktu Kontak Optimum	45
4.2.4 Konsentrasi Lindi Optimum	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN	54
Lampiran 1. Sampling Lindi TPA Piyungan	54
Lampiran 2. Kurva Kalibrasi Standar	56
Lampiran 3. Perhitungan Efisiensi Penyisihan	57
RIWAYAT HIDUP	59

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil Uji FTIR Ampas Kopi Robusta	37
Tabel 4. 2 Hasil Percobaan Variasi Massa Adsorben	41
Tabel 4. 3 Hasil Percobaan Variasi pH	42
Tabel 4. 4 Hasil Percobaan Variasi Waktu Kontak.....	45
Tabel 4. 5 Hasil Percobaan Variasi Konsentrasi Lindi	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ampas Kopi dan Biji Kopi.....	15
Gambar 2. 2 Skema Pori Karbon Aktif.....	16
Gambar 3. 1 Lokasi Pengambilan Sampel	21
Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	23
Gambar 3. 3 Persiapan Ampas Kopi	26
Gambar 3. 4 Proses Karbonisasi Ampas Kopi	27
Gambar 3. 5 Diagram Alir Aktivasi Karbon Ampas Kopi.....	28
Gambar 3. 6 Tahapan Penentuan Massa Adsorben Ampas Kopi	30
Gambar 3. 7 Tahapan Penentuan pH Optimum	31
Gambar 3. 8 Tahapan Penentuan Waktu Kontak Optimum.....	32
Gambar 3. 9 Tahapan Penentuan Konsentrasi Optimum Lindi	33
Gambar 4. 1 Adsorben Ampas Kopi Robusta.....	36
Gambar 4. 2 Grafik Hasil Pengujian FTIR Ampas Kopi Robusta.....	37
Gambar 4. 3 Hasil Uji SEM Karbon Aktif Ampas Kopi Robusta	39
Gambar 4. 4 Grafik Hasil Percobaan Variasi Massa Adsorben	41
Gambar 4. 5 Diagram Eh-pH Kromium.....	43
Gambar 4. 6 Grafik Hasil Percobaan Variasi pH.....	44
Gambar 4. 7 Grafik Hasil Percobaan Variasi Waktu Kontak	45
Gambar 4. 8 Grafik Hasil Percobaan Variasi Konsentrasi Lindi	47

BAB I

PENDAHULUAN

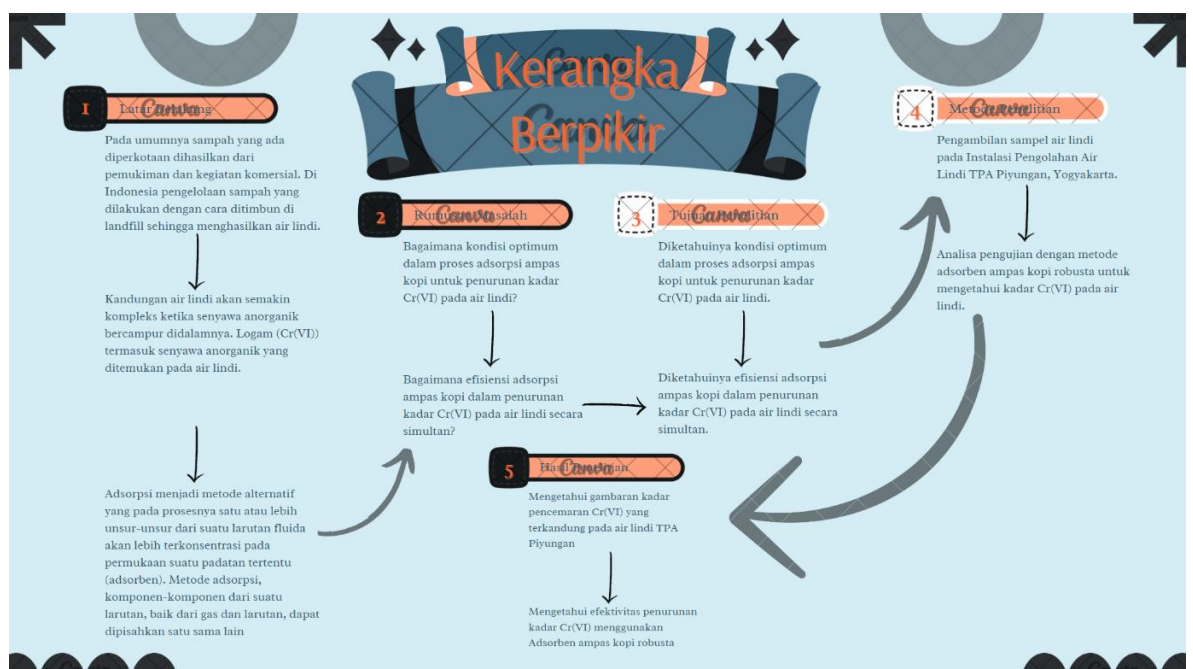
1.1 Latar Belakang

Pada umumnya sampah di daerah perkotaan dihasilkan dari pemukiman dan kegiatan komersial. Sebagian besar daerah di Indonesia, pengelolaan sampah yang dilakukan dengan cara menimbun sampah di suatu lahan (*landfill*). Seiring bertambahnya sampah yang ditimbun di landfill dapat akan menghasilkan lindi. Lindi (*leachate*) merupakan cairan yang dihasilkan dari adanya air yang masuk ke dalam timbunan sampah. Timbulan lindi dalam kualitas ataupun kuantitas akan bervariasi dan berfluktuasi yang disebabkan dari berbagai faktor yang mempengaruhi.

TPA Piyungan adalah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang menggunakan metode *sanitary landfill*. TPA ini menjadi tempat penampungan sampah dari wilayah yang ada di Yogyakarta. Berdasarkan Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), Kota Yogyakarta Tahun 2022 persentase sampah logam 0,55%, Kabupaten Kulon Progo Tahun 2022 persentase sampah logam 1,68%, dan Kabupaten Sleman Tahun 2022 persentase logam 0,99% (Putra, 2016). Kandungan lindi menjadi semakin kompleks ketika senyawa anorganik ikut bercampur didalamnya. Logam Cr(VI) masuk pada jenis senyawa anorganik yang ditemukan pada lindi dan potensi bersumber dari limbah industri dan juga ditemukan pada bahan kimia cat (Puspitaraini dkk., 2018).

Adsorpsi menjadi metode alternatif yang pada prosesnya satu atau lebih unsur-unsur dari suatu larutan fluida akan lebih terkonsentrasi pada permukaan suatu padatan tertentu (adsorben). Metode adsorpsi, komponen-komponen dari suatu larutan, baik dari gas dan larutan, dapat dipisahkan satu sama lain (Treyball, R. 1980). Adsorben yang banyak digunakan untuk menyerap logam berat adalah arang aktif. Arang aktif merupakan padatan berpori yang dihasilkan dari bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan suhu tinggi. Semakin luas permukaan arang aktif maka daya adsorpsinya semakin tinggi. Meningkatkan daya adsorpsi ampas kopi dengan cara aktivasi ampas kopi dengan menjadikan dosis 1 gram sebagai acuan. Aktivasi dilakukan dengan cara memanaskan pada suhu tinggi dan menambahkan bahan kimia sehingga dapat memperluas permukaan arang aktif (Sembiring dkk, 2003). Bahan baku yang berasal dari bahan organik dapat dibuat menjadi arang aktif karena bahan baku mengandung karbon. Ampas kopi merupakan bahan yang mudah didapatkan dan biaya yang ekonomis (Irmanto, 2009). Berdasarkan penelitian oleh Caetano, kandungan dari ampas kopi meliputi karbon sebesar 47,8% - 58,9%, nitrogen sebesar 1,9% - 2,3%, abu sebesar 0,43% - 1,6%, dan selulosa 8,6% (Cartano N, 2012). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Kyaz, disebutkan bahwa kadar optimum ampas kopi dalam mengadsorpsi Cr(VI) sebanyak 1 gram per liter larutan Cr mampu mengadsorpsi kadar krom sebesar 90% (Kyaz, 2016). Jenis kopi yang dapat digunakan sebagai arang aktif adalah kopi robusta (*Coffee Robusta*).

Penelitian dengan judul Penurunan Kadar Kromium Heksavalen (Cr(VI)) Menggunakan Adsorben Ampas Kopi (*Robusta*) Pada Lindi TPA penting untuk dilakukan didasari permasalahan pencemaran yang terjadi saat ini. Adsorben ampas kopi dapat mengurangi kandungan Kromium Heksavalen relatif lebih cepat dan mampu mengurangi pencemaran kontaminan sampai tingkat yang lebih rendah. Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh faktor-faktor yang dapat terjadi seperti konsentrasi awal, pH, dan waktu kontak yang dibutuhkan.



Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir Penelitian

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang dapat ditarik rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi optimum dalam proses adsorpsi ampas kopi untuk penurunan kadar Cr(VI) pada lindi?
2. Bagaimana efisiensi adsorpsi ampas kopi dalam penurunan kadar Cr(VI) pada lindi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menentukan kondisi optimum dalam proses adsorpsi ampas kopi untuk penurunan kadar Cr(VI) pada lindi.
2. Menentukan efisiensi adsorpsi ampas kopi dalam penurunan kadar Cr(VI) pada lindi.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Bagi Pemerintah

- a. Menjadi acuan bagi pemerintah dan instansi terkait, khususnya Dinas Lingkungan Hidup dalam pengambilan keputusan serta membuat kebijakan maupun peraturan tentang pencemaran Cr(VI).
- b. Menjadi referensi data bagi Dinas Lingkungan Hidup untuk melakukan upaya pencegahan pencemaran air akibat Cr(VI).

2. Manfaat Bagi Masyarakat

- a. Masyarakat dapat mengenali tentang bahayanya pencemaran Cr(VI).
- b. Dapat menjadi salah satu upaya pencegahan yang dapat dilakukan masyarakat secara personal.

3. Manfaat Bagi Peneliti Lain

- a. Menambah wawasan dan pengetahuan bagi peneliti lainnya terkait pencemaran Cr(VI) yang terdapat pada badan air.
- b. Dapat menjadi acuan bagi peneliti lain untuk penelitian lebih lanjut dan menjadi informasi bagi peneliti lain dalam melakukan penelitian terkait masalah pencemaran Cr(VI) serta dampaknya bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian dilakukan di Instalasi Pengolahan Lindi TPA Piyungan, Kabupaten Bantul.
2. Parameter uji yang dilakukan pada penelitian ini adalah Kromium Heksavalen (Cr(VI)).
3. Pengujian sampel menggunakan spektrofotometer UV Visible.
4. Pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lindi (*Leachate*)

2.1.1 Pengertian Lindi

Lindi adalah bentuk cair yang dihasilkan oleh dekomposisi biologis sampah, yang larut melalui pembusukan dan bercampur dengan air eksternal yang masuk ke tumpukan sampah (Tchobanoglous, 1993). Menurut Dena dikutip dari (Damanhuri, 1992), lindi adalah cairan yang keluar dari timbunan sampah dan mengandung komponen terlarut dan tersuspensi. Ketika air masuk dari luar untuk mengisi rongga-rongga pada sampah, cairan bertambah, dan ketika kapasitas hidrolik sampah menjadi tidak terkendali, cairan menembus dan mengekstrak zat organik dan anorganik sehingga menyebabkan kerusakan fisik dan kimia pada sampah (Tchobanoglous, 1993).

Pada umumnya setiap TPA mempunyai karakteristik lindi berbeda di setiap lokasi tergantung dari proses yang terjadi, meliputi proses kimia, fisika, dan biologi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Al-Wabel dkk (2011) tentang karakteristik lindi di TPA Kota Riyadh, Arab Saudi ditemukan bahwa lindi di lokasi penelitian memiliki kandungan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), *Electrical Conductivity* (EC) dalam konsentrasi tinggi, akan tetapi memiliki pH yang rendah. Lindi di TPA Kota Riyadh juga terkandung logam berat, seperti Fe, Mn, Mo, Ni, Cr, Zn, dan Cu.

2.2 Kromium Heksavalen (Cr(VI))

2.2.1 Pengertian Kromium Heksavalen (Cr(VI))

Kromium merupakan unsur yang terdapat secara alami dalam konsentrasi rendah pada batuan, hewan, tanah, debu dan gas. Logam kromium murni tidak pernah ditemukan di alam dan terdapat dalam bentuk senyawa padat atau mineral dengan unsur lain (Mukaromah, 2008). Kromium merupakan logam transisi memiliki massa atom 51,996 gram/mol, nomor atom 24, titik lebur 1.907°C , dan massa jenis $7,19 \text{ g/cm}^3$ (Callister, 2007). Logam ini mempunyai tingkat oksidasi +2 sampai +6, namun seiring ditemukannya tingkat oksidasi +3 dan +6 (Cavaro, 2009).

Kromium memasuki air melalui dua cara, secara alami dan tidak alami. Masuknya kromium secara alami dapat disebabkan oleh berbagai faktor fisik, seperti erosi atau pengikisan yang terjadi pada batuan mineral. Selain itu, partikel debu dan kromium di udara juga terbawa oleh hujan. Masuknya kromium non-alami lebih disebabkan oleh pengaruh atau aktivitas manusia. Sumber kromium yang berhubungan dengan aktivitas manusia berkisar dari limbah atau limbah industri hingga limbah rumah tangga (Pratiwi, 2013). Industri penyamakan kulit merupakan salah satu industri yang mengeluarkan limbah kromium dalam jumlah besar (Sugihartono, 2016).

Limbah kromium yang dihasilkan dapat berupa kromium trivalen (Cr(III)) dan kromium heksavalen (Cr(VI)). Adanya konsentrasi limbah kromium yang tinggi pada limbah penyamakan kulit dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan. Pasalnya, kelebihan kromium dalam tubuh dapat menyebabkan berbagai penyakit pada kulit, saluran pernapasan, ginjal, dan liver. Selain itu, limbah kromium trivalen juga dapat menimbulkan masalah jika dioksidasi menjadi ion kromium heksavalen Cr(VI) yang bersifat racun atau toksik (Cavaco, 2009). Kromium sulfat merupakan limbah kromium trivalen (Cr(III)) yang dapat teroksidasi secara spontan menjadi Cr(VI) di lingkungan (Triatmojo dkk., 2001). Limbah

kromium yang dihasilkan berkisar antara 80,067 mg/L hingga 260,97 mg/L (Wardhani dkk. 2012). Kementerian Kesehatan RI memperbolehkan batas maksimum 0,05 mg/L kromium heksavalen pada air kesehatan dan 0,1 mg/L pada air limbah.

Logam berat merupakan logam dengan berat molekul yang tinggi, berat jenis lebih dari 5 g/cm³ (Connel dan Miller, 2006). Logam berat termasuk kedalam golongan logam dengan kriteria yang sama dengan logam lainnya, perbedaan di setiap logam hanya dari pengaruh yang dihasilkan apabila logam berat berikatan dengan senyawa lain dan dapat masuk kedalam organisme. Karakteristik dari logam berat, seperti mempunyai spesifikasi graviti yang besar, memiliki nomor atom 22-34 dan 40-5-, memiliki respon biokimia (spesifik) pada organisme hidup (Palar, 2004).

Kromium (Cr) merupakan logam berat yang memiliki berat sebesar 51,996 g/mol, tahan terhadap oksidasi walaupun di suhu tinggi, memiliki titik didih 2.722° C, titik lebur 1.857°C dan memiliki sifat paramagnetik. Kromium dapat membentuk berbagai ion kompleks yang berfungsi sebagai katalisator (Widowati, W. 2008).

Berikut sifat fisik dan kimia dari kromium, yaitu:

1. Titik didih 2.672°C
2. Titik lebur 1.837-1.877°C
3. Berat jenis 7,20 mg/l pada suhu 28°C
4. Energi untuk ionisasi 652 kg/mol
5. Kromium tidak larut dalam asam sulfat encer dan asam klorida
6. Kromium tidak dapat menyatu dengan basa oksidator, halogen peroksida dan logam lainnya (Nurwati, 2009)

2.2.2 Dampak Kromium Heksavalen (Cr(VI)) Terhadap Kesehatan dan Lingkungan

Ada banyak jenis kromium, yang memiliki efek berbeda pada organisme hidup. Kromium memasuki udara, air dan tanah dalam bentuk kromium trivalen dan heksavalen melalui proses alami dan aktivitas manusia. Aktivitas utama manusia yang meningkatkan konsentrasi kromium trivalen bersifat racun bagi kulit dan manufaktur tekstil. Aktivitas utama manusia adalah peningkatan konsentrasi kimia kromium heksavalen, manufaktur kulit dan tekstil, pelapisan listrik, dan penggunaan kromium heksavalen dalam industri. Aplikasi ini terutama akan meningkatkan konsentrasi kromium di dalam air. Kromium juga berakhir di udara melalui pembakaran batu bara dan di tanah melalui pembuangan limbah.

Sebagian besar kromium di udara akhirnya mengendap dan masuk ke dalam air atau tanah. Kromium dalam tanah sangat melekat pada partikel tanah sehingga tidak berpindah ke dalam tanah. Kromium dalam air terserap ke dalam sedimen dan menjadi tidak bergerak. Hanya sebagian kecil kromium yang masuk ke dalam air pada akhirnya akan larut. Kromium (VI) sangat beracun bagi organisme hidup. Ini dapat mengubah materi genetik dan menyebabkan kanker.

2.3 Adsorpsi

2.3.1 Pengertian Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses penyerapan oleh padatan terhadap zat tertentu yang terjadi dipermukaan zat padat karena adanya gaya tarik atom atau molekul ke permukaan zat padat meresap kedalam. Jika gas ataupun uap bereaksi dengan permukaan zat padatan, maka gas atau uap dapat teradsorpsi pada permukaan padatan. Permukaan padatan disebut adsorben, sedangkan gas atau uap disebut adsorbat. Seluruh padatan dapat menyerap gas atau uap pada permukaannya. Banyak gas teradsorpsi yang bergantung terhadap suhu dan tekanan serta luas permukaan padatan. Padatan yang efisien merupakan padatan yang sangat porous seperti arang dan butiran padatan yang halus (Bird, 1993).

Proses adsorpsi terjadi karena adanya gaya tarik atom maupun molekul di permukaan padatan yang tidak seimbang. Gaya ini, padatan dapat menarik molekul – molekul lain yang bersentuhan dengan permukaan padatan, baik dalam bentuk gas atau larutan. Konsentrasi molekul pada permukaan dapat menjadi lebih besar dari bentuk gas zat terlarut dalam larutan. Adsorpsi berinteraksi antara adsorben dengan adsorbat terjadi di permukaan adsorben (Tandy, 2012).

2.3.2 Faktor Mempengaruhi Proses Adsorpsi

Daya serap adsorpsi dipengaruhi oleh pH, suhu, konsentrasi logam, dan luas permukaan adsorben (Cechinel dkk., 2013).

1. Jenis Adsorbat

Ukuran molekul adsorbat yang sesuai menjadi salah satu hal penting agar proses adsorpsi dapat terjadi, molekul – molekul yang dapat melakukan adsorpsi adalah molekul yang berukuran kecil atau sama dengan ukuran pori adsorben.

2. Suhu

Ketika molekul bersentuhan dengan adsorben maka dapat terjadi pembebasan energi sehingga proses adsorpsi digolongkan eksoterm. Jika suhu rendah maka kemampuan adsorpsi meningkat sehingga adsorbat juga meningkat.

3. Karakteristik Adsorben

Ukuran pori adsorben, luas permukaan adalah karakteristik dari adsorben. Ukuran pori adsorben berkaitan dengan luas permukaan. Semakin kecil ukuran pori-pori, maka luas permukaan semakin tinggi sehingga adsorpsi yang terjadi menjadi signifikan. Selain ukuran pori dan ukuran adsorbat harus sesuai karena diameter pori adsorben harus lebih besar dari pada diameter adsorbat. Kemurnian adsorben juga termasuk karakteristik adsorben. Adsorben yang murni lebih diutamakan karna kemampuan untuk adsorpsi nya lebih baik.

2.3.3 Jenis Isothermal Adsorpsi

2.3.3.1 Isothermal Langmuir

Isothermal langmuir ditemukan oleh Langmuir pada tahun 1918, berdasarkan asumsi bahwa nilai valensi ada pada permukaan adsorben dan tempat terjadinya adsorpsi. Kemampuan untuk menyerap molekul dengan demikian akan ada satu lapisan (Benefield, 1982). Pada tahun 1918, Langmuir menurunkan teori eksoterm adsorpsi dengan menggunakan model yang sederhana berupa padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaan. Model tersebut mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat ada lapisan tunggal adsorbat pada permukaan adsorben (Mulyana dkk, 2003).

Pendekatan Langmuir menjadi lima asumsi mutlak, sebagai berikut:

1. Gas yang teradsorpsi berkelakuan ideal dalam fasa uap.
2. Gas yang teradsorpsi dibatasi hingga lapisan monolayer.
3. Permukaan adsorbat homogen, artinya afinitas setiap kedudukan ikatan untuk molekul gas sama.
4. Tidak ada interaksi lateral antar molekul adsorbat.
5. Molekul gas yang teradsorpsi terlokalisasi artinya gas tidak bergerak pada permukaan,

$$\frac{xm}{m} = a \cdot C \dots\dots\dots (2.1)$$

$$1 + b \cdot c \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\frac{m \cdot c}{xm} = \frac{1}{a} + \frac{b}{a} \cdot C \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan membuat kurva $\frac{m \cdot c}{xm}$ terhadap C akan memperoleh persamaan liner dengan intersep $\frac{1}{a}$ dan kemiringan $\frac{b}{a}$, sehingga nilai a dan b dapat dihitung dari besar kecilnya nilai a dan b menunjukkan daya adsorpsi.

2.3.3.2 Isothermal Freundlich

Isothermal Freundlich ditemukan oleh Freundlich pada tahun 1926, berdasarkan asumsi bahwa adsorben mempunyai lokasi yang heterogen dan adanya perbedaan energi pengikatan pada tiap lokasi. Pendekatan isoterm adsorpsi yang cukup memuaskan dijelaskan oleh H. Freundlich. Jika y adalah berat zat terlarut per gram adsorben dan c adalah konsentrasi zat terlarut dalam larutan. Dari konsep ini diturunkan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{x_m}{m} = k \cdot \frac{c_1}{n} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{Log} \left(\frac{x_m}{m} \right) = \log k + \frac{1}{n} \cdot \log c \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

X_m = berat zat yang teradsorpsi

M = berat adsorben

C = Konsetrasi zat

Kemudian nilai k dan n merupakan konstanta adsorpsi yang nilainya tergantung pada jenis adsorben dan suhu adsorpsi. Kurva $\text{Log} \left(\frac{x_m}{m} \right)$ terhadap $\log C$ akan diperoleh persamaan linear dengan intersep $\log k$ dan kemiringan $\frac{1}{n}$, sehingga nilai k dan n dapat dihitung.

2.4 Adsorben

Adsorben adalah zat padat yang dapat menyerap komponen dari suatu fase fluida (Saragih, 2008). Adsorben terbuat dari bahan-bahan yang berpori dan adsorpsi berlangsung pada dinding pori-pori atau pada letak-letak tertentu didalam partikel itu. Jika pori-pori biasanya kecil maka luas permukaan dalam beberapa orde besaran menjadi lebih besar daripada permukaan luar dan dapat mencapai 2.000 m/g. pemisahan terjadi disebabkan adanya perbedaan bobot atau karena perbedaan polaritas yang menyebabkan sebagian molekul menempel pada permukaan lebih erat dibanding molekul lainnya. Adsorben digunakan secara komersial terbagi menjadi dua, yaitu polar dan non polar. (Saragih, 2008).

a. Adsorben Polar

Adsorben polar disebut *hydrophilic*, jenis adsorben yang termasuk adsorben polar adalah silika gel, alumina aktif, dan zeolit.

b. Adsorben Non-polar

Adsorben nonpolar disebut *hydrophobic*. Jenis adsorben yang termasuk nonpolar adalah polimer adsorben dan karbon aktif.

2.5 Tanaman Kopi

2.5.1 Pengertian Tanaman Kopi

Kopi adalah salah satu hasil perkebunan yang mempunyai nilai ekonomis yang tinggi diantara tanaman perkebunan lainnya dan berperan penting sebagai sumber devisa negara. Sisa dari pembuatan minuman kopi dapat menghasilkan limbah berupa ampas kopi. Mayoritas dari ampas kopi dibuang ke tempat pembuangan akhir, sedangkan ampas kopi dapat dialih fungsikan menjadi berbagai produk yang memiliki manfaat lain. Ampas kopi merupakan bahan yang mudah untuk didapatkan, biaya yang ekonomis, dan termasuk bahan organik yang dapat dijadikan arang aktif untuk digunakan sebagai adsorben (Irmanto, 2009). Gambar ampas kopi dan biji kopi ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Ampas Kopi dan Biji Kopi

Kandungan ampas kopi meliputi karbon 69,11%, oksigen 30,35%, dan kalium 0,54% (Caetano, 2012). Sampel ampas kopi dalam bentuk kering mengandung hemiselulosa, lignin, selulosa, protein, nitrogen, lemak dan abu (Ballesteros dkk, 2014).

2.6 Karbon Aktif

2.6.1 Pengertian Karbon Aktif

Pada umumnya karbon aktif dimanfaatkan untuk material yang mempunyai pori dengan jumlah banyak yang dihasilkan dari bahan mengandung karbon setelah melewati aktivasi secara fisika maupun kimia (Rouquerol dkk, 2014). Bahan yang digunakan untuk menghasilkan karbon aktif harus mengandung karbon, seperti kayu keras, lignin, sekam padi, batu bara, kulit kacang, kayu lunak, sisa minyak bumi dan tempurung kelapa (Crittenden dkk, 1998). Karbon aktif terdiri dari tiga jenis ukuran pori, seperti micropore, mesopore, dan makro pori. Sebagian besar dari karbon aktif mempunyai ukuran pori yang disebut mikropori, namun digunakan untuk banyak tujuan, ukuran pori dari karbon aktif ini bisa diperbesar sampai kisaran mesopori dan mikropori (Rouquerol dkk, 2014). Gambar skema pori karbon aktif ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Skema Pori Karbon Aktif

Karbon aktif banyak digunakan sebagai adsorben karena biaya yang ekonomis dan mudah untuk didapatkan. Pemanfaatan karbon aktif digunakan untuk mengolah air minum, pemisahan gas, memulihkan kondisi pelarut, tempat penyimpanan gas, dan penghilang senyawa berbahaya, seperti logam berat, kafein, klorin dalam bentuk gas dan cair (Cecen dkk, 2012). Penggunaan karbon aktif karena luas permukaan internal dari karbon aktif yang besar, ukuran porinya mikropori. Dalam pengaplikasiannya dapat menghilangkan kontaminan dari gas dan dalam suatu cairan, struktur mikropori memberikan kapasitas adsorpsi yang besar dan daya adsorpsi tinggi, akan tetapi reaksi kimia yang terjadi di permukaan karbon aktif dipengaruhi terhadap sifat dan pemanfaatan karbon aktif (Rouquerol dkk, 2014).

2.6.2 Persiapan Karbon Aktif

Pembuatan karbon aktif melalui dua proses, yaitu karbonisasi bahan baku dan aktivasi karbon. Karbonisasi atau proses pirolisis lambat adalah dekomposisi termal pada suhu 400°C - 600°C dengan tanpa oksigen atau dengan oksigen terbatas (Yuan, 2017). Proses karbonisasi membutuhkan suhu yang tinggi dan melalui proses yang cukup lama dan berlangsung lambat (Basu, 2018). Dalam proses karbonisasi, bahan baku dipanaskan pada suhu 400°C - 800°C tanpa adanya oksigen. Senyawa organik yang terkandung pada bahan baku mudah menguap dan terpisah secara thermal, atom karbon yang berikatan membentuk struktur kristalin yang lebih banyak.

Tahapan proses karbonisasi suatu biomassa terbagi menjadi lima tahap: (Babu,2008).

1. Temperatur 110°C - 200°C menghilangkan kandungan air, memutus rantai biomassa, membentuk gugus karbonil, karboksil, dan hidroperoksida.
2. Temperatur 200°C - 260°C menguraikan hemiselulosa.
3. Temperatur 240°C - 350°C menguraikan selulosa.
4. Temperatur 280°C - 500°C menguraikan lignin.
5. Temperatur 500°C – 1.000°C memurnikan karbon.

Kualitas karbon yang dihasilkan dari proses karbonisasi tergolong rendah karena adanya residu yang menutupi pori karbon. Daya adsorpsi dapat dimaksimalkan dengan proses aktivasi. Proses aktivasi pada karbon dilakukan dengan dua cara, yaitu secara aktivasi cara fisika dan aktivasi kimia. Aktivasi fisika dilakukan pada suhu 800°C. proses aktivasi karbon secara fisika menggunakan karbon dioksida atau steam, yang digunakan bersamaan atau salah satu. Karbon dioksida dan steam dapat bereaksi dengan karbon dan menghasilkan gas karbon monoksida dan hidrogen. Dengan terjadinya reaksi ini, pori – pori pada karbon dapat semakin luas (Marsh dkk, 2006).

2.6.3 Aktivasi Karbon Aktif Secara Kimia

Aktivasi karbon secara kimia menggunakan reagen untuk meningkatkan porositas dari suatu karbon. Pada umumnya aktivator berupa senyawa yang mengandung logam alkali atau alkali tanah dan beberapa senyawa asam. Senyawa yang digunakan untuk aktivasi karbon secara kimia, seperti ZnCl_2 , H_3PO_4 , AlCl_3 , MgCl_2 , NaOH , KOH . Senyawa yang biasanya digunakan untuk aktivasi karbon secara kimia adalah ZnCl_2 , H_3PO_4 , KOH . Aktivasi karbon menggunakan ZnCl_2 , H_3PO_4 direntang temperatur 450°C - 600°C (Marsh dkk, 2012). Pada umumnya temperatur yang digunakan pada saat proses aktivasi karbon secara kimia lebih rendah daripada aktivasi secara fisika. Hasil dari aktivasi kimia lebih baik, akan tetapi setelah proses aktivasi harus dilakukannya pencucian karbon untuk menghilangkan kandungan aktivator kimia yang digunakan ketika aktivasi karbon dilakukan (Visnawanathan dkk, 2009). Aktivasi secara kimia berpengaruh pada gugus fungsi di permukaan karbon aktif dapat meningkatkan kapasitas dari adsorpsi dan selektivitas dalam adsorbat tertentu dalam bentuk gas maupun cair (Park dkk, 2002)

Aktivasi kimia karbon aktif mempengaruhi sifat-sifat karbon aktif yang dihasilkan. Aktivator asam dapat merusak oksigen pada saat proses aktivasi dan dapat memperluas permukaan karbon secara lebih optimal terutama pada bahan dengan kandungan lignoselulosa tinggi (Esterlita dkk, 2015). Asam klorida (HCl) sebagai bahan kimia aktivator bersifat higroskopis dan dapat menurunkan kadar air pada karbon aktif yang dihasilkan. Dibandingkan dengan aktivator lain seperti H_2SO_4 dan HNO_3 , karbon aktif yang diaktivasi dengan HCl mempunyai daya serap ion yang lebih baik. Hal ini dikarenakan HCl dapat melarutkan pengotor lebih banyak sehingga membentuk pori-pori lebih banyak dan memaksimalkan proses penyerapan adsorbat (Rizky, 2015).

2.7 Spektrofotometri Visible

Spektrofotometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur besarnya absorbansi suatu sampel sebagai fungsi dari panjang gelombang. Spektrofotometer terbagi menjadi dua, yaitu sistem berkas rangkap (*double beam*) dan sistem berkas tunggal (*single beam*).

Spektrofotometer visible adalah alat yang digunakan untuk mengukur absorbansi dari sampel yang mengandung zat pengabsorpsi pada sinar tampak. Pengabsorpsian sinar tampak oleh molekul umumnya menghasilkan eksitasi elektron, akibatnya panjang gelombang absorpsi maksimum dapat dikorelasikan dengan jenis ikatan yang ada pada molekul yang diuji (Fessenden, 1995).

BAB III

METODE PENELITIAN

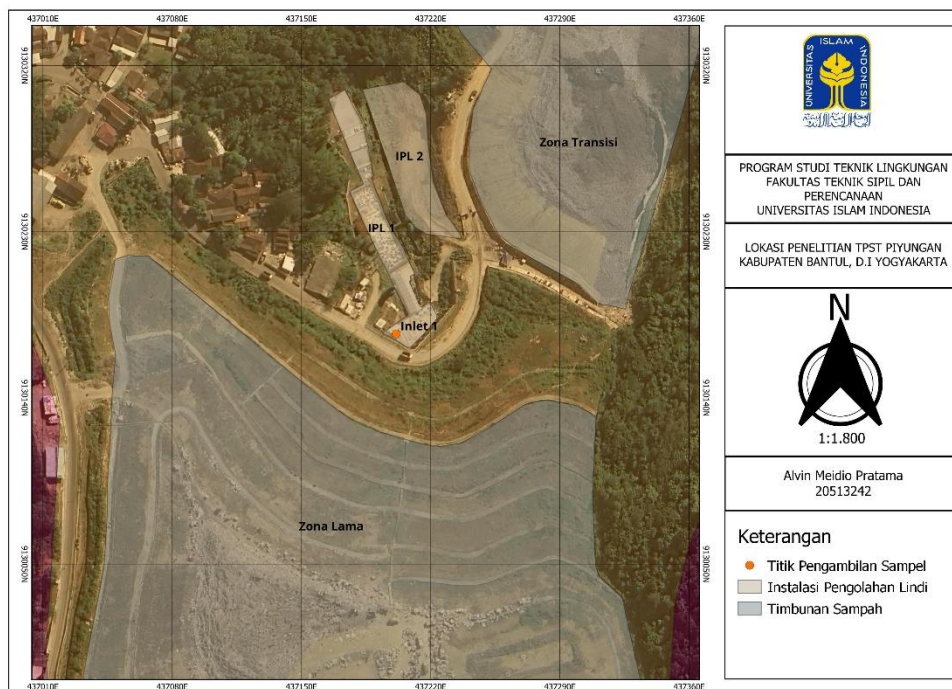
3.1 Waktu dan Lokasi

3.1.1 Waktu

Waktu penelitian dalam pengambilan sampel lindi dan penelitian di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia akan dilaksanakan pada bulan Februari hingga bulan Mei 2024. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Maret 2024.

3.1.2 Lokasi

Pengambilan sampel penelitian dilakukan pada Inlet 1 Instalasi Pengolahan Lindi di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang berada di Kota Yogyakarta dan pengujian sampel dilakukan pada Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Berikut peta lokasi pengambilan sampel lindi TPA ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Lokasi Pengambilan Sampel

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

- a. Spektrofotometer Uv-Vis Double Beam
- b. Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)
- c. *Scanning Electron Microscope* (SEM)
- d. Pipet Volumetrik
- e. Labu Ukur
- f. Erlenmeyer
- g. Orbital Shaker
- h. Corong Gelas
- i. Kaca Arloji
- j. Pemanas Listrik
- k. Saringan membrane ukuran pori 0,45 μm
- l. Timbangan analitik 0,0001 g
- m. Labu Semprot
- n. Oven
- o. pH universal
- p. Furnace
- q. Cawan porselen
- r. Mortir dan stepler
- s. Ayakkan ukuran 100 mesh

3.2.2 Bahan

- a. Aquades
- b. Ampas kopi robusta lampung
- c. Sampel lindi
- d. Asam klorida (HCl) 0,1 M
- e. Larutan Standar Kromium Heksavalen (Cr(VI))
- f. Nitric Acid (HNO₃) 0,1 M
- g. Sodium Hydroxide (NaOH) 0,1 M

3.3 Prosedur Analisis Data

Pengambilan data dilakukan dengan observasi eksperimen di laboratorium yang berfokus pada pengujian kandungan logam berat Kromium (Cr) pada lindi TPA Piyungan. Adapun diagram alir tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.3.1 Ide

Gagasan yang ada dikembangkan lebih lanjut, mencari tahu apa yang harus dilakukan, merancang rencana dan bagaimana cara menyelesaikan masalah yang ada untuk penelitian ini terdapat masalah pada konsentrasi logam berat yang terkandung pada lindi TPA.

3.3.2 Tinjauan Pustaka

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

3.3.3 Persiapan Penelitian

Meliputi persiapan teknis pelaksanaan dari penelitian, teknis penulisan proposal penelitian, teknis pengambilan sampel, dan perizinan untuk melaksanakan penelitian.

3.3.4 Pengambilan Sampel

Pengambilan data sampel lindi yang dilaksanakan pada TPA Piyungan yang terdapat di Kota Yogyakarta. Pengambilan sampel dilaksanakan menggunakan SNI 6989.59:2008 Tentang Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah. Pewadahan menggunakan jerigen plastik, waktu lama penyimpanan sampel selama 6 bulan. Pengawetan sampel untuk logam terlarut contoh air limbah segera disaring dan ditambahkan HNO_3 hingga pH <2 selanjutnya didinginkan.

3.3.5 Preparasi Material

3.3.5.1 Pembuatan Larutan NaOH 0,1 M

Padatan NaOH ditimbang sebanyak 0,4 gram lalu dilarutkan dengan aquades sebanyak 50 ml. Dimasukkan dalam labu ukur 100 ml dengan menambahkan aquades sampai tanda batas.

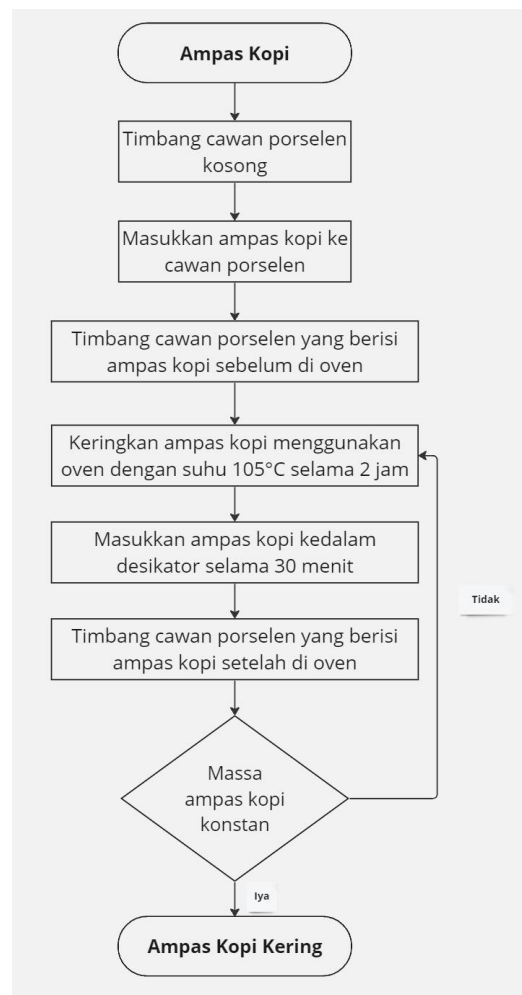
3.3.5.2 Pembuatan Larutan HCl 0,1 M

Larutan HCl 37% diambil sebanyak 0,83 ml dan dimasukkan ke dalam labu ukur dengan menambahkan aquades sebanyak 100 ml.

3.3.6 Pelaksanaan Penelitian

3.3.6.1 Persiapan Ampas Kopi

Ampas kopi robusta yang digunakan berasal dari konsumsi pribadi merupakan kopi robusta lampung. Prosedur persiapan ampas kopi berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan Imawati dan Adhitiyawarman (2015). Ampas kopi diletakkan kedalam cawan porselen selanjutnya dikeringkan menggunakan oven di suhu 105°C selama 2 jam. Ampas kopi didiamkan dalam desikator dan ditimbang. Berikut diagram alir persiapan ampas kopi ditunjukkan pada Gambar 3.3.



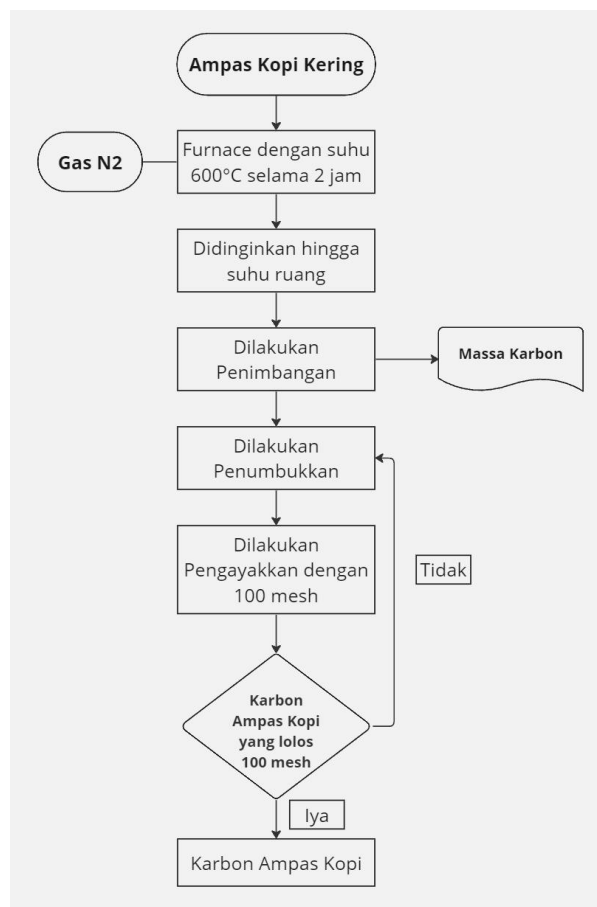
Gambar 3. 3 Persiapan Ampas Kopi

3.3.6.2 Karbonisasi Ampas Kopi

Proses karbonisasi ampas kopi, sebagai berikut:

1. Memasukkan ampas kopi ke dalam reaktor karbonisasi yang dialirkan gas nitrogen.
2. Melakukan proses karbonisasi pada temperatur 600°C selama 2 jam.
3. Mendinginkan ampas kopi hasil karbonisasi hingga suhu ruang.
4. Menimbang karbon dengan neraca analitik
5. Menyeragamkan ukuran karbon hingga dapat dilewati ayakan 100 mesh.

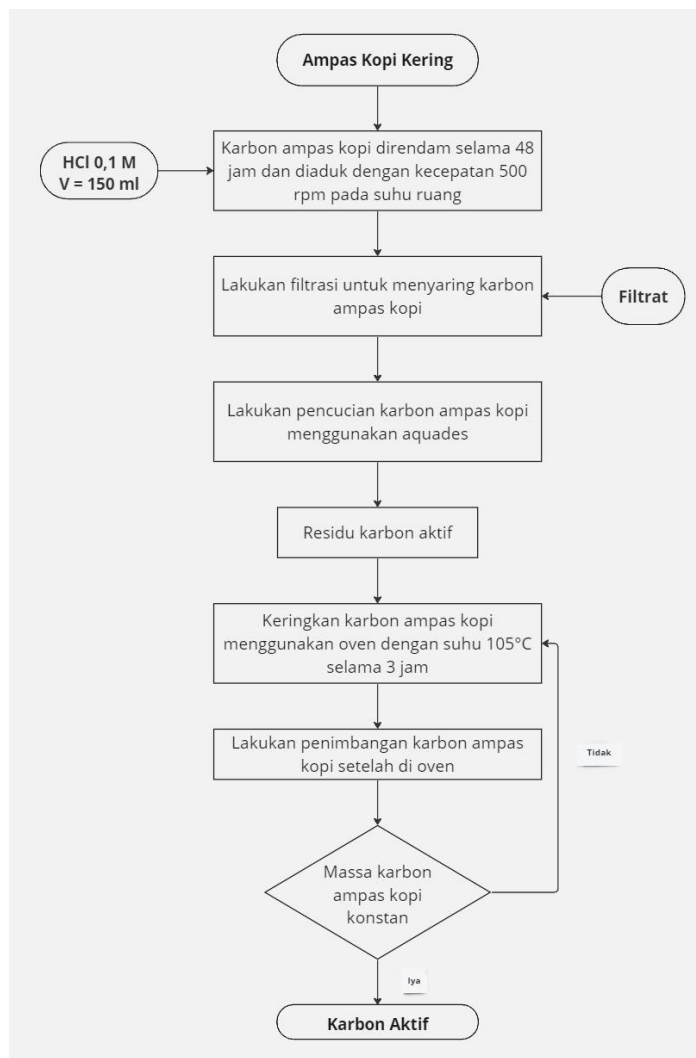
Berikut diagram alir proses karbonisasi ampas kopi ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Proses Karbonisasi Ampas Kopi

3.3.6.3 Proses Aktivasi Karbon Ampas Kopi

Aktivasi karbon ampas kopi dilakukan dengan aktivasi secara kimia. Aktivasi karbon secara kimia dengan merendam 50-gram karbon ampas kopi dalam larutan HCl 0,1 M sebanyak 150 ml selama 48 jam dengan kecepatan pengadukan 500 rpm di suhu ruang, selanjutnya disaring. Kemudian dicuci dengan aquades sampai netral dan dikeringkan menggunakan oven di suhu 105°C selama 3 jam. Diagram alir proses aktivasi karbon ampas kopi ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Diagram Alir Aktivasi Karbon Ampas Kopi

3.3.7 Karakterisasi Karbon Sebelum dan Sesudah Aktivasi

3.3.7.1 Analisis Karbon Aktif Menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Analisis FTIR menggunakan prinsip spektroskopi inframerah yang berguna untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada karbon ampas kopi sebelum dan sesudah aktivasi.

3.3.7.2 Analisis Morfologi Karbon Aktif Menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM)

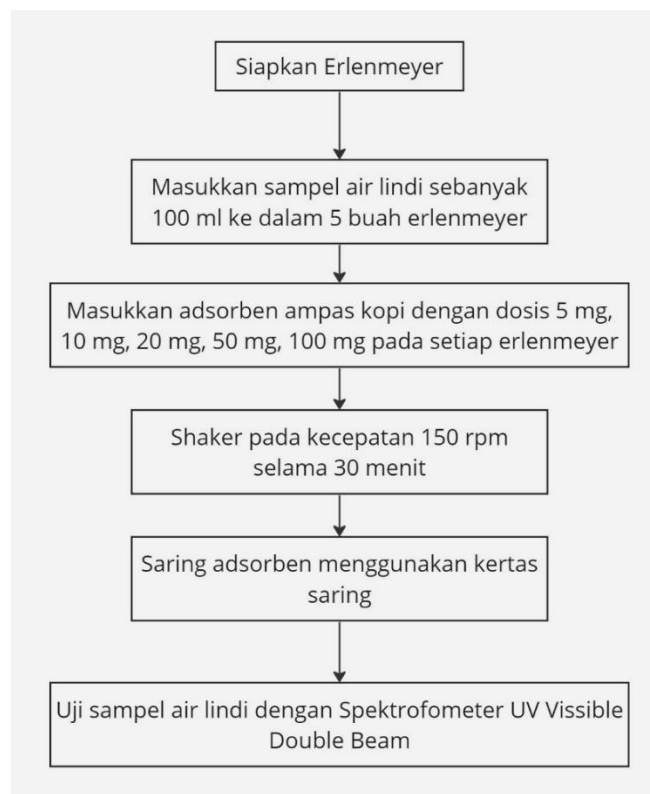
Analisis morfologi karbon aktif dari ampas kopi dapat dilihat menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM). SEM dapat memberikan gambaran rinci tentang morfologi permukaan, yaitu spesifik terhadap partikel karbon dan pori pada permukaan karbon aktif.

3.3.8 Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kemampuan penyerapan logam Kromium Heksavalen (Cr(VI)) pada lindi TPA dengan tahapan penentuan massa adsorben, pH, waktu kontak, dan konsentrasi lindi yang optimum.

3.3.8.1 Penentuan Massa Optimum Adsorben

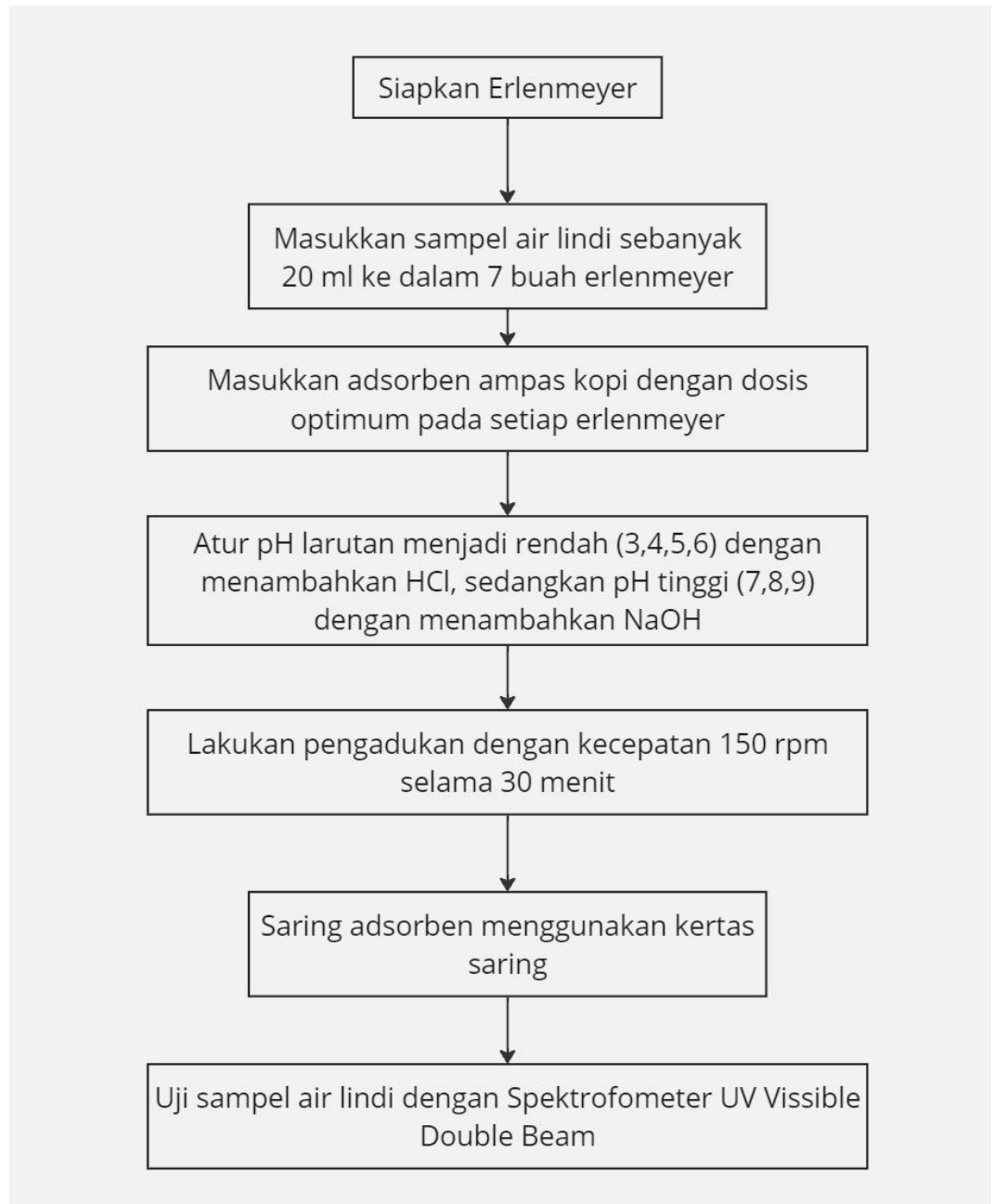
Untuk mendapatkan kondisi massa optimum dapat menggunakan adsorben kondisi equilibrium dengan pH 7 dengan waktu kontak selama 2 jam. Sampel lindi yang mengandung Cr(VI) dengan konsentrasi mg/L. Kondisi sampel lindi ini bertujuan agar mengetahui persen penyerapan Cr(VI). Berikut urutan dari tahapan penentuan massa optimum adsorben ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Tahapan Penentuan Massa Adsorben Ampas Kopi

3.3.8.2 Penentuan pH Optimum

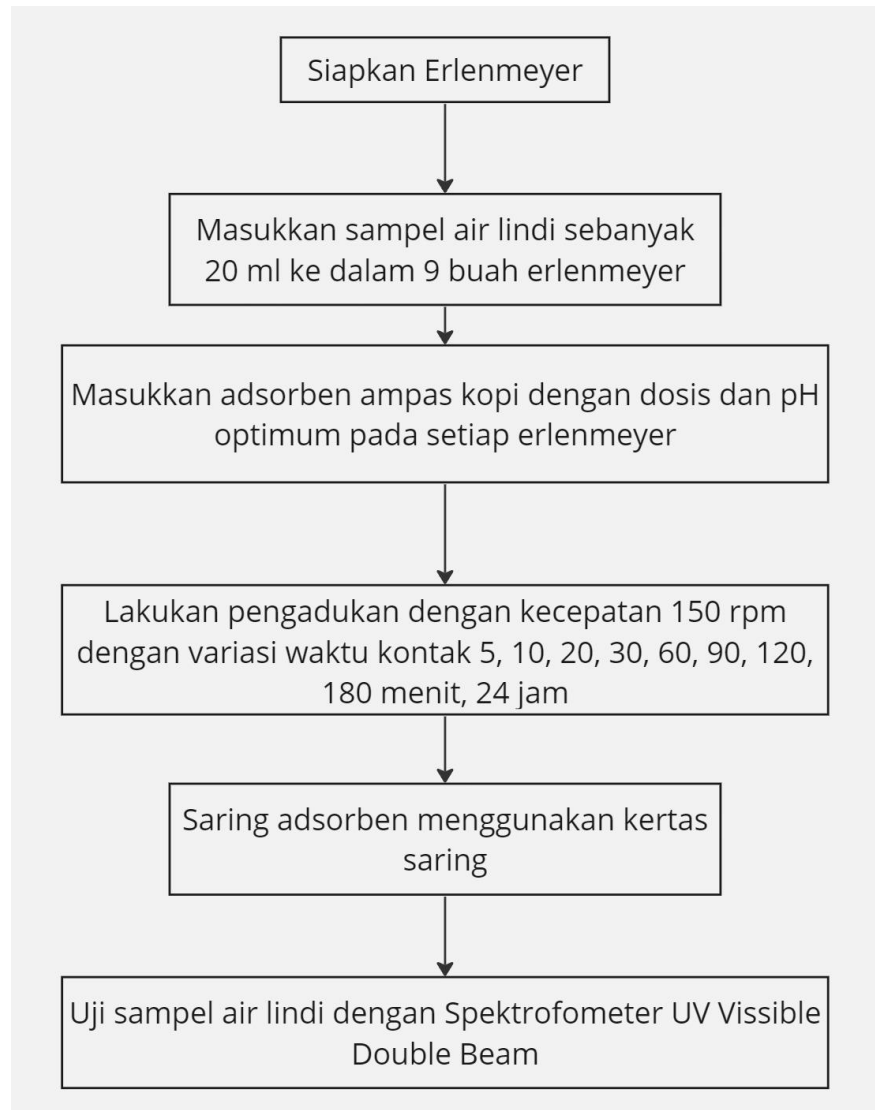
Setelah mengetahui massa adsorben optimum. Selanjutnya menentukan pH optimum adsorpsi. Tahapan dalam menentukan pH optimum adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Tahapan Penentuan pH Optimum

3.3.8.3 Penentuan Waktu Kontak Optimum

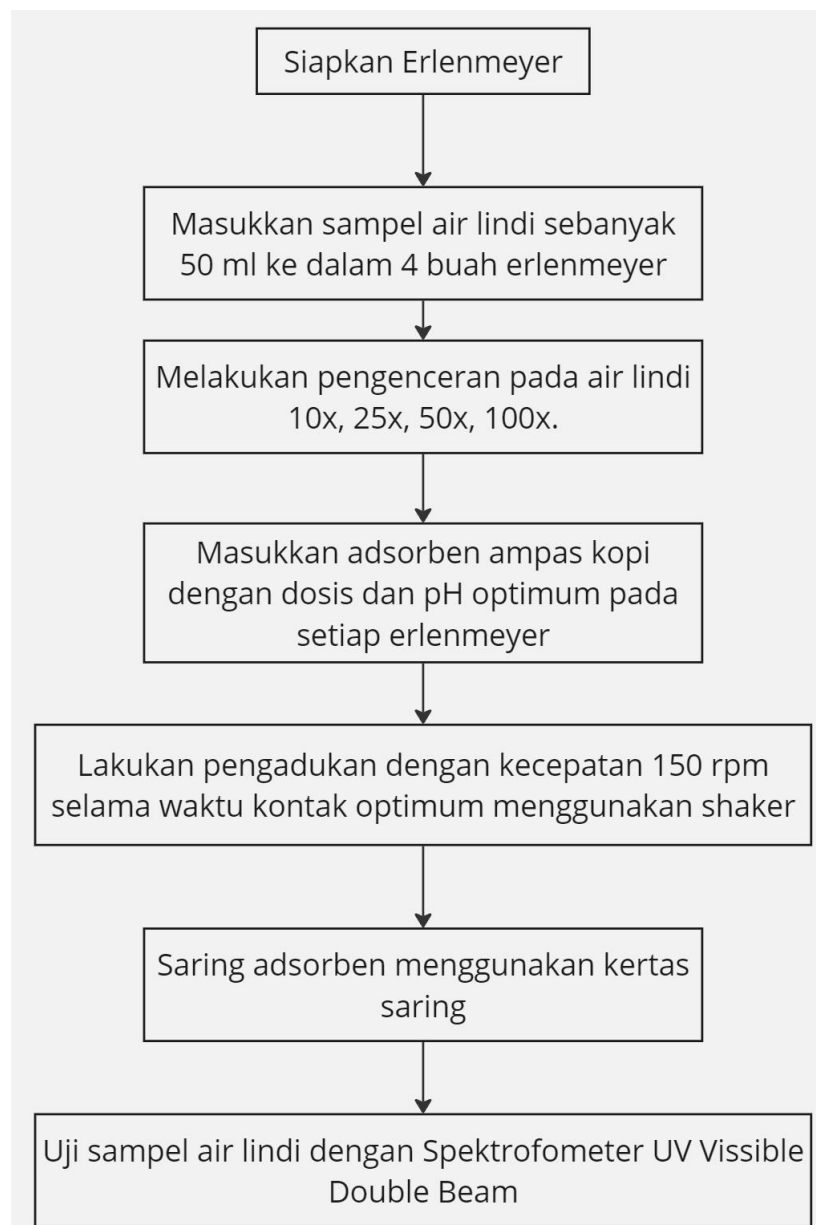
Setelah mengetahui massa adsorben dan pH Optimum, selanjutnya menentukan waktu kontak optimum. Tahapan dalam menentukan waktu kontak adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Tahapan Penentuan Waktu Kontak Optimum

3.3.8.4 Penentuan Konsentrasi Lindi

Setelah mengetahui massa adsorben optimum, waktu kontak optimum, pH optimum. Selanjutnya menentukan konsentrasi lindi. Tahapan dalam menentukan konsentrasi lindi ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Tahapan Penentuan Konsentrasi Optimum Lindi

3.3.9 Analisis Sampel

Berdasarkan SNI 6989.71:2009 untuk analisis sampel lindi sebelum dan sesudah adsorpsi menggunakan spektrofometer UV-Vis dengan parameter kromium heksavalen (Cr(VI)). Berikut tahapan analisis sampel yang dilakukan:

1. Membuat larutan standar dibuat dengan beberapa variasi konsentrasi yang berbeda, yaitu 0,1 mg/l, 0,2 mg/l, 0,3 mg/l, 0,5 mg/l, 0,7 mg/l.
2. Mengukur absorbansi larutan standar menggunakan spektrofotometer uv-vis untuk setiap sampel.
3. Membuat kurva kalibrasi dengan mengukur absorbansi dari larutan standar yang telah dibuat dan menentukan panjang gelombang maksimal.

Mengukur sampel lindi dengan cara mengukur absorbansi warna yang dihasilkan dari penambahan pereaksi.

3.3.10 Analisis Data

Perhitungan efisiensi penyisihan logam Cr(VI) pada lindi serta analisis kemampuan adsorpsi ampas kopi dalam menurunkan konsentrasi logam Cr(VI). Analisis kemampuan adsorpsi ampas kopi dalam menurunkan konsentrasi logam Cr(VI) pada setiap tahapan adsorpsi yang dilakukan dan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$Efisiensi\ Penyisihan\ (\%) = \frac{Co - Ca}{Co} \times 100\%$$

Keterangan:

Co = Konsentrasi Cr(VI) sebelum adsorpsi (mg/L)

Ca = Konsentrasi Cr(VI) sesudah adsorpsi (mg/L)

3.3.11 Penyusunan Laporan

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

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Penelitian yang dilakukan bertujuan mengetahui ampas kopi robusta dapat digunakan sebagai adsorben untuk menurunkan konsentrasi kromium heksavalen (Cr (VI)) pada lindi TPA. Proses adsorpsi dilakukan bertahap, yaitu menentukan kondisi optimum pada proses adsorpsi. Menentukan kondisi optimum dengan variasi massa adsorben, pH, waktu kontak, dan konsentrasi lindi optimum.

Penelitian ini diawali dengan proses pembuatan adsorben ampas kopi robusta. Proses pembuatan mencakup penyeduhan kopi dan dioven selama 24 jam untuk menurunkan kadar air yang terkandung pada ampas kopi. Bahan adsorben dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan berukuran 100 mesh. Kemudian proses karbonisasi menggunakan furnace dengan suhu 600 °C selama 2 jam. Selanjutnya diaktivasi menggunakan *Hydrochloric Acid* (HCl) selama 2 hari. Setelah proses aktivasi dilakukan pada adsorben ampas kopi robusta, dilanjutkan dengan proses adsorpsi dimulai dari variasi massa adsorben, pH, waktu kontak, dan konsentrasi lindi. Akhir dari penelitian ini adalah data hasil adsorpsi dengan variasi massa adsorben, pH, waktu kontak, konsentrasi lindi optimum akan digunakan untuk menentukan kemampuan penyerapan Kromium Heksavalen (Cr (VI)) oleh adsorben ampas kopi robusta pada lindi TPA.

Berikut gambar adsorben ampas kopi robusta sebelum dan sesudah aktivasi asam klorida (HCl) ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Ampas kopi sebelum aktivasi



Ampas kopi setelah aktivasi

Gambar 4. 1 Adsorben Ampas Kopi Robusta

4.1 Karakterisasi Adsorben

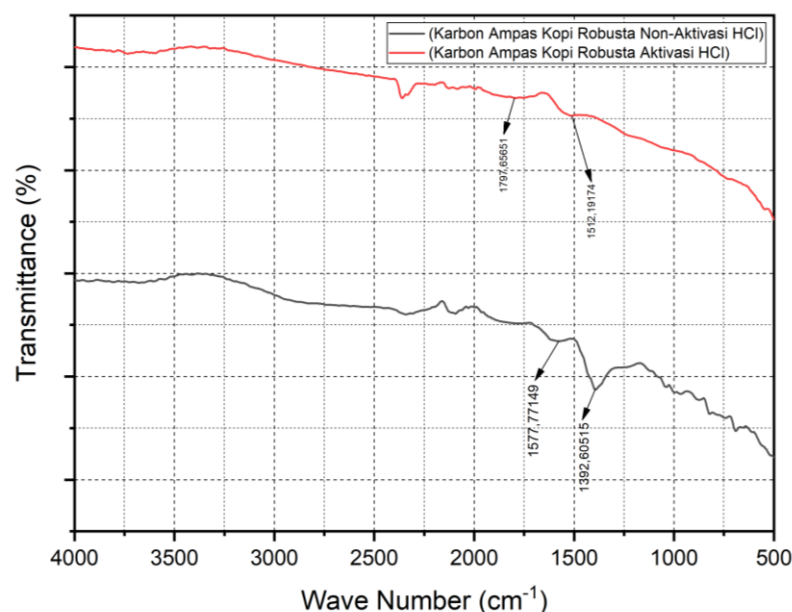
4.1.1 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Karakterisasi menggunakan FTIR bertujuan untuk menganalisis gugus fungsi yang terkandung pada adsorben ampas kopi robusta yang digunakan pada saat penelitian. Dengan mengetahui gugus fungsi yang ada pada adsorben dan dapat mengetahui perbedaan adsorben sebelum dan sesudah aktivasi dengan HCl. Berikut gelombang spektrum IR yang didapatkan pada adsorben ampas kopi robusta dilihat pada Tabel 4.1, Gambar 4.2.

Tabel 4. 1 Hasil Uji FTIR Ampas Kopi Robusta

Adsorben	Bilangan Gelombang (cm^{-1})		Gugus Fungsi	Intensitas Pita
Ampas Kopi Robusta	Teori Sumber: Principle of Instrumental Analysis 6 th edition	Hasil		
Non - Aktivasi HCl	1475 - 1300	1392,61	C - H	Lentur
	1675 - 1500	1577,77	C = C	Regang
Aktivasi HCl	1675 - 1500	1512,19	C = C	Regang
	1900 - 1650	1797,66	C = O	Regang

Sumber: Data Primer, 2024



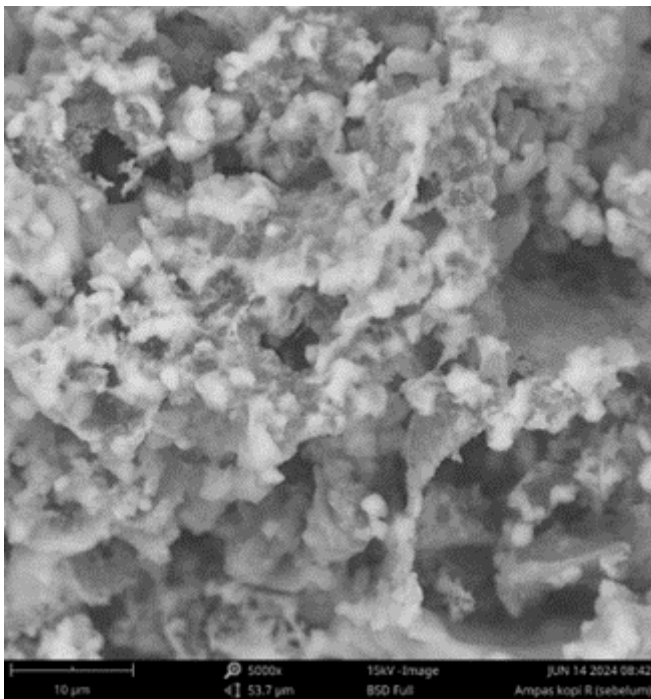
Gambar 4. 2 Grafik Hasil Pengujian FTIR Ampas Kopi Robusta

Berdasarkan Tabel 4.1 dan Gambar 4.2 menunjukkan hasil analisis spektrum FTIR pada ampas kopi robusta memiliki beberapa puncak gelombang yang terdeteksi adanya gugus fungsi C-H (alkana), C=O (bisa sebagai asam, aldehida, keton, amida, ester, anhidrida), C=C (aromatik). Ampas kopi robusta sebelum aktivasi HCl terdeteksi adanya gugus fungsi C-H dengan panjang gelombang $1392,61\text{ cm}^{-1}$ dan gugus fungsi C=C terdeteksi pada panjang gelombang $1577,77\text{ cm}^{-1}$. Kemudian ampas kopi robusta yang diaktivasi HCl terdeteksi gugus fungsi yang sama seperti sebelum aktivasi, yaitu C=C dengan panjang gelombang $1512,19\text{ cm}^{-1}$ dan terbentuknya gugus fungsi baru, yaitu C=O pada panjang gelombang $1797,66\text{ cm}^{-1}$. Hilangnya gugus fungsi C-H pada ampas kopi robusta yang diaktivasi HCl pada permukaan adsorben disebabkan HCl dapat mengoksidasi dan memutus ikatan gugus fungsi C-H. Ketika proses aktivasi terjadi reaksi oksidasi yang menghasilkan gugus fungsi C=O. Dengan adanya perubahan gugus fungsi antara adsorben sebelum dan sesudah aktivasi dapat mempengaruhi kemampuan adsorpsi dari adsorben ampas kopi robusta. Gugus fungsi yang sudah ada sebelum aktivasi maupun terbentuk setelah proses aktivasi dapat memberikan interaksi yang lebih efektif terhadap Cr(VI), meningkatkan kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihan menjadi semakin baik.

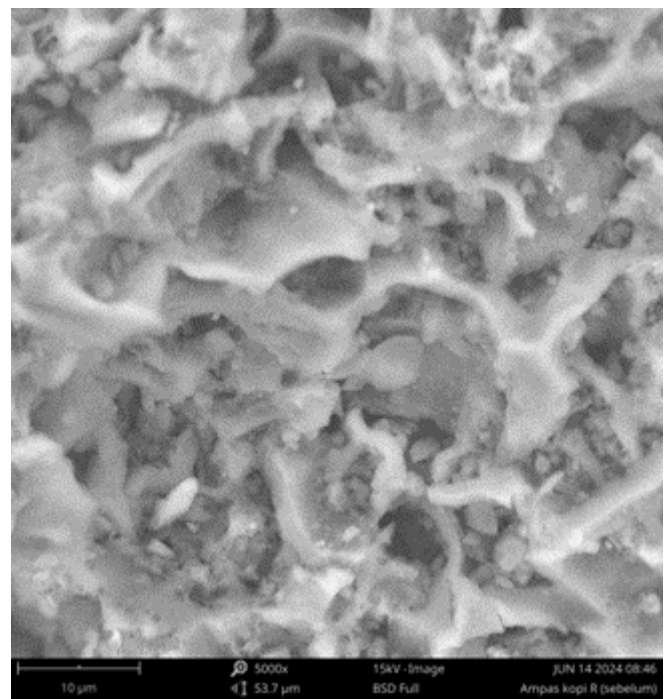
Dari hasil analisis FTIR memungkinkan karbon aktif ampas kopi digunakan sebagai adsorben, karena mempunyai gugus fungsi yang dapat menyerap logam. Adsorben setelah aktivasi memiliki pori serapan yang lebih besar daripada adsorben sebelum aktivasi. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi kimia dapat membuat lubang penyerapan dan adsorpsi semakin baik (Prasatia dkk, 2024).

4.1.2 Scanning Electron Mikroskop (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah mikroskop elektron yang digunakan untuk melihat permukaan suatu bahan. Karakterisasi SEM dilakukan untuk mengetahui bentuk morfologi, jenis pori, bentuk permukaan adsorben. Bentuk morfologi permukaan karbon aktif ampas kopi robusta yang menggunakan aktivator HCl 0,1 M dengan perbesaran 5.000x. Memurnikan karbon pada permukaan adsorben agar meningkatkan adsorpsi terhadap ion logam (Siswoyo dkk., 2019). Berikut hasil pengujian SEM ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Karbon Aktif Ampas Kopi Sebelum Aktivasi



Karbon Aktif Ampas Kopi Sesudah Aktivasi

Gambar 4. 3 Hasil Uji SEM Karbon Aktif Ampas Kopi Robusta

Terdapat perbedaan pori-pori antara adsorben ampas kopi sebelum dan sesudah aktivasi dengan perbesaran 5000x. Dapat dilihat pada gambar adanya perbedaan morfologi antara ampas kopi yang diaktivasi dan non-aktivasi. Adsorben yang diaktivasi asam klorida terlihat pori yang lebih terbuka dan terstruktur, sedangkan adsorben non-aktivasi terlihat pori yang tertutup dan kurang terstruktur. Perbedaan antara adsorben yang diaktivasi dengan non-aktivasi disebabkan oleh adanya senyawa organik yang menutupi adsorben, yaitu abu, nitrogen dan sulfur (Verayana dkk.2018).

Proses aktivasi efektif untuk menghilangkan bahan non-karbon kemudian membentuk pori yang lebih terstruktur dan beragam (Kurniawan D., 2016). Bentuk permukaan adsorben menjadi salah satu faktor yang memiliki peran untuk proses adsorpsi. Pori yang terdapat pada permukaan karbon aktif meningkatkan kemampuan untuk adsorpsi adsorbat (La Hasan dkk, 2015). Dengan adanya proses aktivasi asam klorida memberikan perubahan pada pori adsorben ampas kopi robusta.

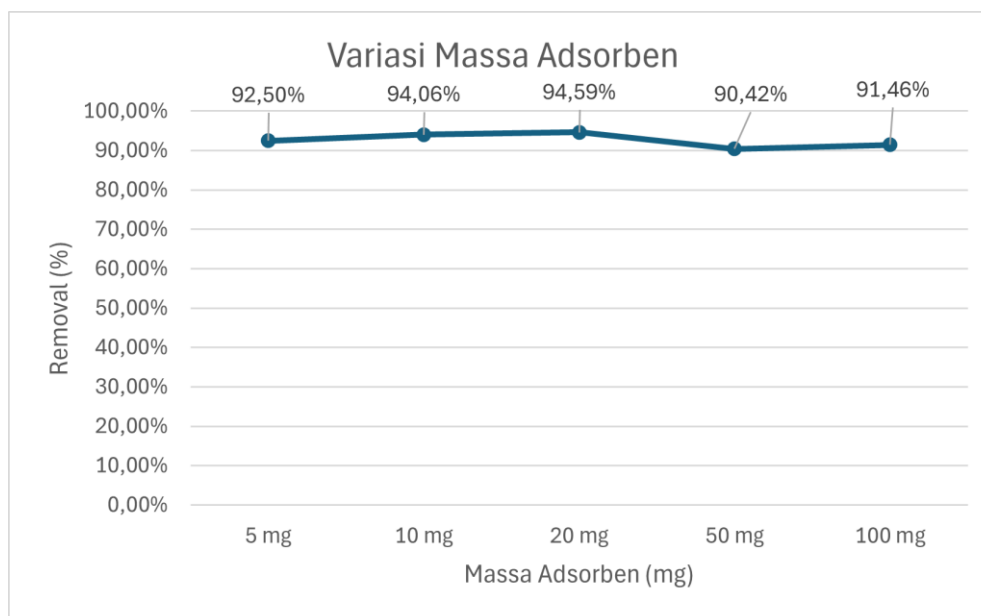
4.2 Hasil Adsorpsi

4.2.1 Massa Adsorben Optimum

Pengujian variasi massa adsorben dilakukan untuk menentukan massa yang optimal dalam penyerapan Cr(VI) pada air lindi. Massa adsorben yang digunakan adalah 5, 10, 20, 50, 100 mg. Berdasarkan Tabel 4.2 dan Gambar 4.4 menunjukkan bahwa efisiensi yang didapatkan dari setiap variasi massa adsorben berbeda.

Tabel 4. 2 Hasil Percobaan Variasi Massa Adsorben

Massa Adsorben	Co (mg/l)	Ca (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)
5 mg	3,839	0,288	92,50%
10 mg	3,839	0,228	94,06%
20 mg	3,839	0,208	94,59%
50 mg	3,839	0,368	90,42%
100 mg	3,839	0,328	91,46%



Gambar 4. 4 Grafik Hasil Percobaan Variasi Massa Adsorben

Dari data diatas efisiensi penyerapan Cr(VI) terbesar dihasilkan pada massa 20 mg dengan persentase 94,59%, dimana konsentrasi awal Cr(VI) sebesar 3,839 mg/l turun menjadi 0,208 mg/l. Berdasarkan Tabel 4.2 semakin banyak massa adsorben yang diberikan penyerapan Cr(VI) tetap terjadi , namun hasil penyerapan tidak sebesar massa 20 mg. Penurunan efisiensi penyerapan Cr(VI) disebabkan adanya bagian dari adsorben yang belum berikatan dengan adsorbat. Massa adsorben berpengaruh terhadap penyerapan adsorbat seiring bertambahnya luas permukaan dan partikel (Herlina R, dkk., 2023).

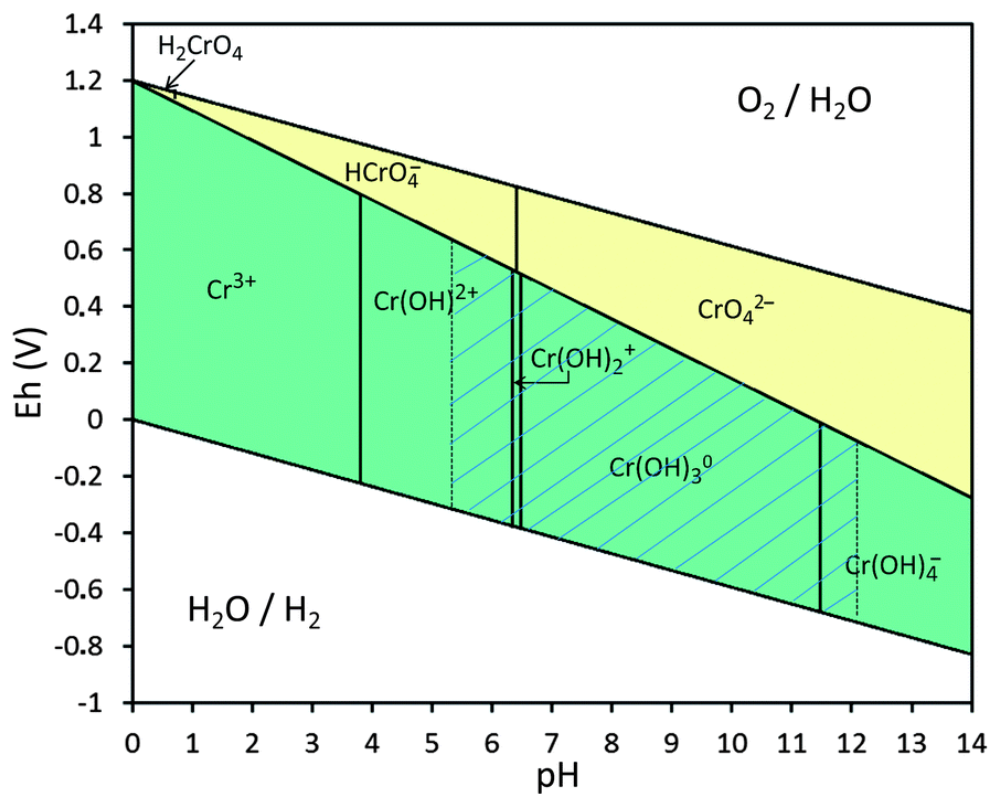
4.2.2 pH Optimum

Percobaan variasi pH dilakukan untuk mengetahui optimasi penyerapan Cr(VI) dengan pH yang berbeda. Derajat keasaman (pH) dapat mempengaruhi proses adsorpsi. Perbedaan pH dilakukan untuk mengetahui persentase penyerapan logam Cr(VI) dalam proses adsorpsi. Variasi pH yang dikondisikan pada pH 3, 4, 6, 7, 8, dan 9 dengan penambahan larutan HCl 0,1 M dan NaOH 0,1 M. Berikut data hasil percobaan variasi pH ditunjukkan pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.5.

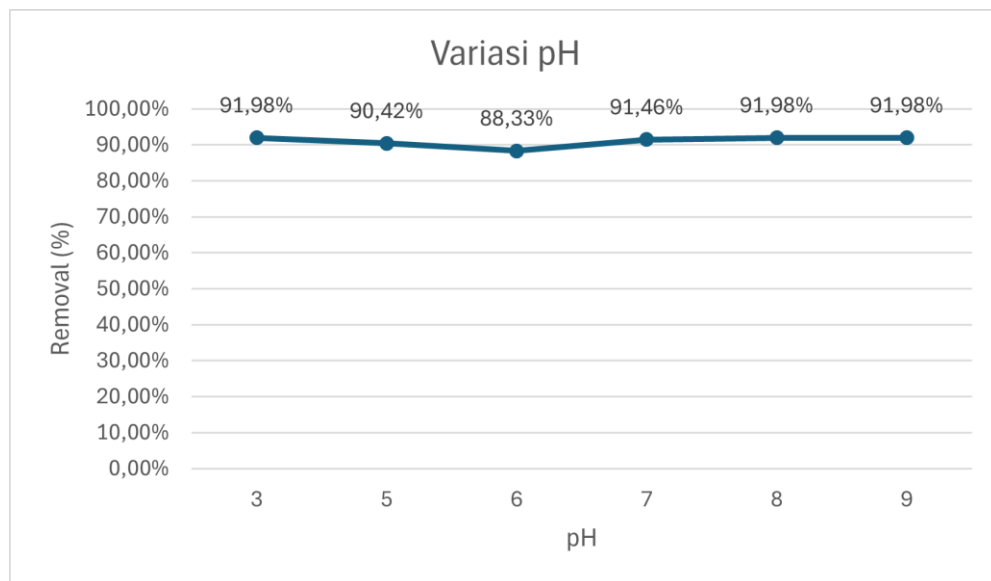
Tabel 4. 3 Hasil Percobaan Variasi pH

pH	Co (mg/l)	Ca (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)	Qe (mg/g)
3	3,839	0,308	91,98%	3,532
5	3,839	0,368	90,42%	3,472
6	3,839	0,448	88,33%	3,392
7	3,839	0,328	91,46%	3,512
8	3,839	0,308	91,98%	3,532
9	3,839	0,308	91,98%	3,532

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dilihat perbedaan pH pada proses adsorpsi memiliki pengaruh dalam penyerapan Cr(VI). Hasil adsorpsi pada variasi pH yang optimum dikondisi pH 8 dengan efisiensi penyerapan 91,98%. Semakin tinggi pH efisiensi penyisihan cenderung stabil. Pada Gambar 4.5 bahwa Cr(VI) dapat ditemukan dalam beberapa bentuk, seperti CrO_4^{2-} , HCrO_4^- , dan $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ bentuk ini bergantung pada kondisi pH. Pada kondisi pH asam bentuk Cr yang muncul adalah HCrO_4^- . Ketika kondisi pH berada di 7, ion yang muncul adalah CrO_4^{2-} .



Gambar 4. 5 Diagram Eh-pH Kromium



Gambar 4. 6 Grafik Hasil Percobaan Variasi pH

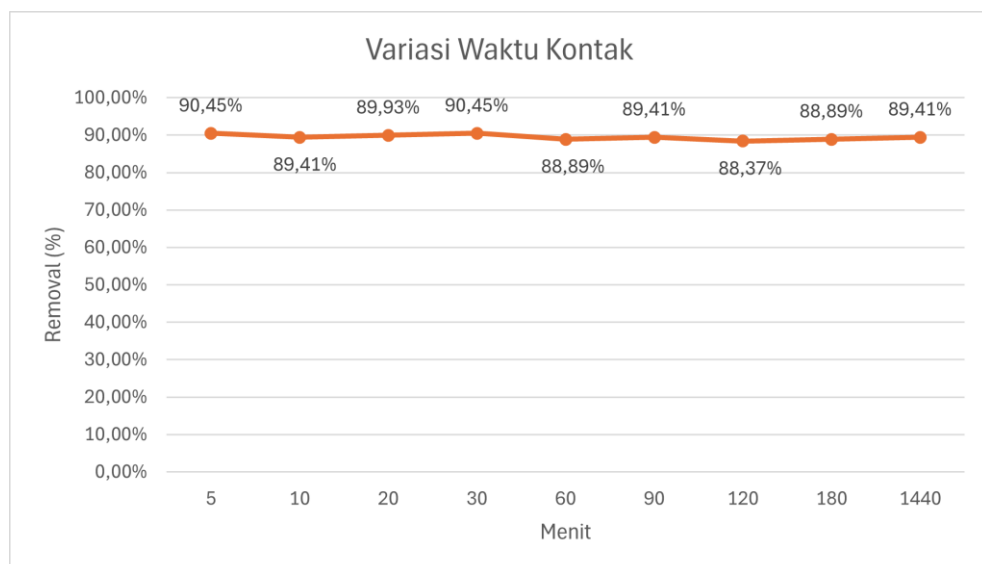
Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa hasil adsorpsi dengan pH yang berbeda mempengaruhi efisiensi penyisihan Cr(VI), namun cenderung stabil. Pada pH larutan 3 terjadi penyerapan yang signifikan. Saat pH dinaikkan menjadi 6 terjadi penurunan penyerapan. Kemudian pH dinaikkan penyerapan mengalami kenaikan dan stabil hingga pH 9. Hal ini disebabkan karena adanya ion OH⁻ pada pH basa (Rizkamala, 2011). Penentuan pH berdasarkan konsep protonasi dan deprotonasi. Larutan dalam keadaan asam cenderung terjadi protonasi, ion H⁺ yang terdapat pada adsorben akan menyebabkan protonasi dan mempunyai muatan positif yang reaktif dalam bentuk anion dan adanya ion OH⁻ pada adsorben akan mengalami deprotonasi dan mempunyai muatan negatif yang reaktif terhadap logam dalam bentuk kation (Tangio, 2013).

4.2.3 Waktu Kontak Optimum

Pengujian waktu kontak dilakukan untuk mengetahui waktu yang diperlukan dalam penyerapan Cr(VI) hingga mencapai titik jenuh (*equilibrium*). Variasi waktu kontak yang digunakan selama 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180, dan 1.440 menit untuk setiap sampel uji. Massa adsorben yang digunakan untuk variasi waktu kontak sebesar 20 mg dengan kondisi pH 8. Berikut data hasil percobaan variasi waktu kontak ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.7.

Tabel 4. 4 Hasil Percobaan Variasi Waktu Kontak

Waktu Kontak (Menit)	Ca (mg/l)	Removal (%)
5	0,366	90,45%
10	0,406	89,41%
20	0,386	89,93%
30	0,366	90,45%
60	0,426	88,89%
90	0,406	89,41%
120	0,446	88,37%
180	0,426	88,89%
1440	0,406	89,41%



Gambar 4. 7 Grafik Hasil Percobaan Variasi Waktu Kontak

Berdasarkan Tabel 4.4 dan Gambar 4.7 untuk variasi waktu kontak dapat dilihat bahwa penyerapan Cr(VI) dipengaruhi oleh waktu kontak. Efisien penyerapan Cr(VI) terbesar pada waktu 5 dan 30 menit dengan persentase 90,45%. Pada waktu 5 menit hasil adsorpsi Cr(VI) memiliki persentase yang tinggi. Setelahnya mengalami penurunan pada waktu 10 dan 20 menit, selanjutnya meningkat kembali pada 30 menit dan mengalami penurunan pada waktu 60 menit hingga 1.440 menit.

Dari hasil yang didapatkan bahwa proses adsorpsi dimenit awal mengalami penyerapan yang signifikan dikarenakan adsorben berinteraksi dengan Cr(VI) disebabkan oleh permukaan adsorben ampas kopi robusta menyerap ion Cr pada air lindi. Waktu kontak antara adsorben dengan Cr(VI) mempengaruhi efisiensi penyerapan. Semakin lama waktu kontak, maka semakin besar adsorbat yang dapat diserap.

Efisiensi penyerapan mengalami penurunan setelah waktu 30 menit, diasumsikan seluruh permukaan aktif adsorben sudah berinteraksi dengan Cr(VI). Dengan penambahan waktu kontak, penyerapan Cr(VI) tidak dapat meningkatkan efisiensi penyerapan. Hal ini disebabkan terjadinya adsorpsi fisika, karena proses adsorpsi bersifat reversibel (Sukardjo, 1990).

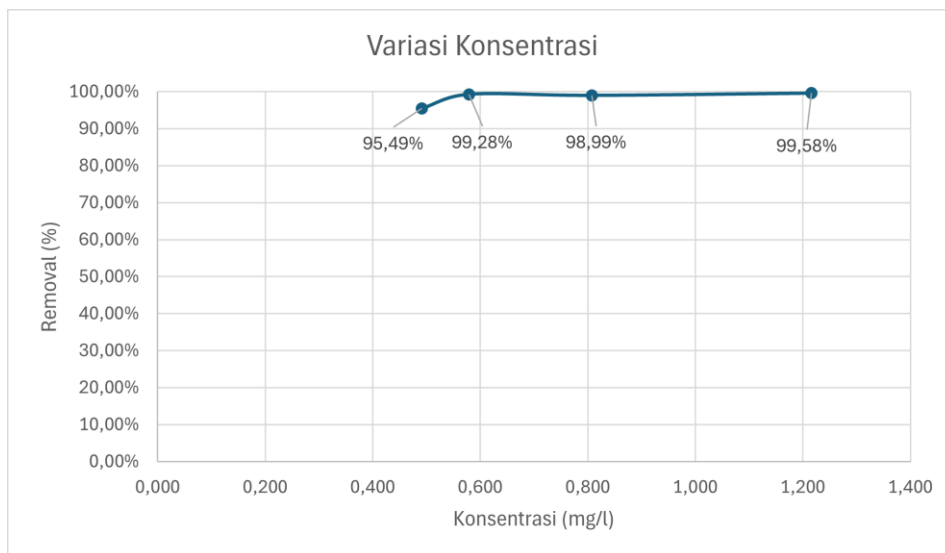
4.2.4 Konsentrasi Lindi Optimum

Variasi konsentrasi dilakukan untuk menggambarkan besar penyerapan Cr(VI) dari pengaruh konsentrasi awal. Pengujian variasi konsentrasi menggunakan massa adsorben sebanyak 20 mg, pH yang digunakan 8, dan waktu kontak 30 menit. Data hasil percobaan konsentrasi lindi ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.8.

Tabel 4. 5 Hasil Percobaan Variasi Konsentrasi Lindi

Co (mg/l)	Ca (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)
0,492	0,022	95,49%
0,579	0,004	99,28%
0,808	0,008	98,99%
1,216	0,005	99,58%

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa hasil adsorpsi variasi konsentrasi cenderung mengalami peningkatan dan stabil.



Gambar 4. 8 Grafik Hasil Percobaan Variasi Konsentrasi Lindi

Pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa proses adsorpsi terjadi signifikan pada konsentrasi 1,216 mg/l dengan persentase penyerapan 99,58%. Dengan meningkatnya konsentrasi awal Cr(VI) menyebabkan penyerapan semakin besar meskipun persentase penyisihan semakin turun. Pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa seiring peningkatan konsentrasi awal dapat mempengaruhi penyerapan Cr(VI). Dengan adanya peningkatan terhadap konsentrasi dapat mempengaruhi penambahan jumlah partikel dalam larutan yang berpengaruh pada interaksi antar partikel (Francisco, 2014).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian serta analisis daya yang dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan antara lain sebagai berikut:

1. Kondisi optimum adsorben ampas kopi robusta pada proses adsorpsi Cr(VI) terjadi pada lindi dengan massa 20 mg, pH larutan 8, waktu kontak 30 menit, dan konsentrasi larutan awal sebesar 1,216 mg/l.
2. Efisiensi adsorpsi ampas kopi robusta pada proses adsorpsi Cr(VI) pada lindi pada massa 20 mg persentase penyisihan sebesar 94,59%, kondisi pH larutan 8 persentase penyisihan sebesar 91,98%, waktu kontak 30 menit persentase penyisihan sebesar 90,45%, dan konsentrasi awal sebesar 1,216 mg/l persentase penyisihan 99,58%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian serta analisis data yang dilakukan, didapatkan beberapa saran antara lain:

1. Pada saat melakukan pengenceran dalam penelitian dibutuhkan ketelitian tinggi agar larutan uji menghasilkan data yang logis.
2. Pada variasi pH dan waktu kontak perlu dilakukan pengujian sebelum dilakukan penambahan adsorben pada sampel uji agar dapat di analisis perbandingannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Othman, Z. A., R. Ali, and M. Naushad. 2012. Hexavalent Chromium Efisiensi Penyisihan from Aqueous Medium by Activated Carbon Prepared from Peanut Shell: Adsorption Kinetics, Equilibrium and Thermodynamic Studies. *Chemical Engineering Journal*, Elsevier. 238-247.
- Babu, B. V. (2008). Biomass Pyrolysis: A State-of-the-art Review. *Biofpr*, 393-414.
- Ballesteros, L. F., Teixeira, J. A., & Musatto, S. I. (2014). Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin. *Food Bioprocess Technol*, 3493-3503.
- Caetano, N. S., Mata, T. M., & Silva, V. (2012). Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel Production. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, 267-272.
- Cecen, F., & Aktas, O. (2012). Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment Integration of Adsorption and Biological Treatment. Weinheim: Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA.
- Cecen, F., & Aktas, O. (2012). Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment Integration of Adsorption and Biological Treatment. Weinheim: Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA.
- Connell, D.W and G.J. Miller. 2006. Kimia Dan Ekotoksikologi Pencemaran. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Connell, W.D dan Miller, J.G. 1983. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran. Terjemahan, Yanti Koestoer, UI Press. Jakarta.
- Crittenden, B., & Thomas, W. J. (1998). Adsorption Technology and Design. Oxford: Butterworth-Heinemann.

- Crittenden, B., & Thomas, W. J. (1998). Adsorption Technology and Design. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Damanhuri, E., dan Tri, P., 2010, Diktat Kuliah Pengolahan Sampah, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Dodds EG, Lawson W. Molecular structure in relation to oestrogenic activity: Compounds without a phenantrene nucleus. Biol Sci. 1938; 125: 222-32.
- Esterlita, M. O., & Herlina, N. (2015). Pengaruh Penambahan Aktivator $ZnCl_2$, KOH, dan H_3PO_4 dalam Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepah Aren (*Arenga pinnata*). Jurnal Teknik Kimia USU, 4, 47-52.
- Fessenden, R.J. dan Fessenden, J.S.,1995. Kimia Organik, edisi 3, jilid 2. Jakarta: Erlangga.
- Gonti Putra E. A. (2016). Studi Sebaran Lindi Di Sekitar Tempat Pembuangan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan Kabupaten Bantul Dengan Penentuan Isotop Stabil ($2H, 18O$) dan Kimia Air. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Sarjana S-1 Program Studi Teknik Nuklir.
- Irmanto, & Suyata. (2009). Penurunan Kadar Amonia, Nitrit, dan Nitrat Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Arang Aktif dari Ampas Kopi. Molekul, Vol. 4. No. 2, 105-114.
- Kyzas, G.Z. Commercial Coffee Waste as Materials for Adsorption of Heavy Metals from Aqueous Solutions, 2012; 5: 1.826-18.40.
- La Hasan, N., Zakir, M., & Budi, P. (2015). Desilikasi karbon aktif sekam padi sebagai adsorben hg pada limbah pengolahan emas di kabupaten buru propinsi maluku. Indonesia Chimica Acta, 7(2), 1–11.
- Marsh, H., & Reinoso, F. R. (2006). Activated Carbon. Oxford: Isevier Science & Technology Books.

- Mohamed, M.A., Jaafar, J., Ismail, A.F., Othman, M.H.D. & Rahman, M.A. (2017). Chapter 1 - Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. Membrane Characterization, 3-29.
- Nasution Z A & Rambe S M 2013. Karakterisasi dan Identifikasi Gugus Fungsi dari Karbon Cangkang Kelapa Sawit dengan Metode Methano Pyrolysis. Jurnal Dinamika Penelitian Industri, Vol. 24, No. 2.
- Palar, H. 2004. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Penerbit Rineka Cipta.
- Park, S.-J., & Jang, Y.-S. (2002). Pore Structure and Surface Properties of Chemically Modified Activated Carbons for Adsorption Mechanism and Rate of Cr(VI). Journal of Colloid and Interface Science, 458-463.
- Prasatia, R., Meriatna, Masrullita, Jalaluddin, & Ginting, zainuddin. (2024). *Pemanfaatan Ampas Kopi Saring Sebagai Arang*. 1(April), 21–35.
- Rizkamala. (2011). Adsorpsi Ion Logam Cr (Total) Dalam Limbah Cair Industri Pelapisan Logam Menggunakan Bulu Ayam. Skripsi Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.
- Rizky, I. P. (2015). Aktivasi Arang Tongkol Jagung Menggunakan HCl sebagai Adsorben Ion Cd (III) (Skripsi). Semarang: UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
- Rouquerol, J., Rouquerol, F., Llewellyn, P., Maurin, G., & Sing, K. S. (2014). Adsorption by Powders and Porous Solids: Principles, Methodology and Applications Second Edition. Oxford: Elsevier.
- Sembiring dan Sinaga. Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya). Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, 2003.

- Siswoyo, E., Qoniah, I., Lestari, P., Fajri, J.A., Sani, R.A., Sari, D.G., and Boving, T., (2019) Pengembangan adsorben terapung untuk kadmium yang berasal dari lumpur pabrik pengolahan air minum yang dimodifikasi, *Teknologi dan Inovasi lingkungan*, 14, 1-9.
- Skoog, D.A, Holler, J.F, Crouch, R.S, (2007), *Principles of Instrumental Analysis* 6th. United States of America, Cengage Learning.
- Skoog, D.A, Holler, J.F, Crouch, R.S, (2016), *Principles of Instrumental Analysis* 7th. United States of America, Cengage Learning.
- Susanto, P. J., Ganefati P. S., Muryani, S., dan Istiqomah, H. S., 2004, Pengolahan Lindi (Leachate) dari TPA dengan Menggunakan Sistem Koagulasi – Biofilter Anaerobic. *Jurnal Tek.Ling – P3TL – BPPT Vol. 5*, Hal 167 – 173.
- Tangio, Julhim S. (2013). Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dengan Menggunakan Biomassa Enceng Gondok (*Eichhorniacrassipes*). *Jurnal Pendidikan Kimia. FMIPA Universitas Negeri Gorontalo*.
- Verayana, Paputungan, M., & Iyabu, H. (2018). Pengaruh aktivator HCl dan H₃PO₄ terhadap karakteristik (morfologi pori) arang aktif tempurung kelapa serta uji adsorpsi pada logam timbal (Pb). *Jurnal Entropi*, 13(1), 67–75.
- Viswanathan, B., Neel, P. I., & Varadarajan, T. K. (2009). *Methods of Activation and Specific Applications*. India: National Centre for Catalysis Research.
- Widowati, W., Astiana S. Dan Raymond J.R., (2008), *Efek Toksik Logam, Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Yuan, Z. (2017). *Bioenergy Volume 2 of GREEN-Alternative Energy Resources*. China: China Science Publishing & Media Ltd.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Sampling Lindi TPA Piyungan

Lindi diambil dari TPA Piyungan di Yogyakarta dengan koordinat 7°52'04"S 110°25'48"E. Pengambilan dan pengawetan sampel lindi berdasarkan pada SNI 6989.59:2008 tentang Air dan Air Limbah bagian 59: Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah. Lindi diambil menggunakan botol plastik dan kaca sesuai dengan pedoman SNI. Kemudian lindi ditambahkan HNO_3 hingga $\text{pH} < 2$ sambil dihomogenkan agar HNO_3 larut sempurna dalam lindi. Pengecekan pH menggunakan pH universal secara bertahap seiiing dengan penambahan HNO_3 pada lindi. Lindi kemudian diawetkan pada suhu ruang dan tahan hingga 6 bulan.

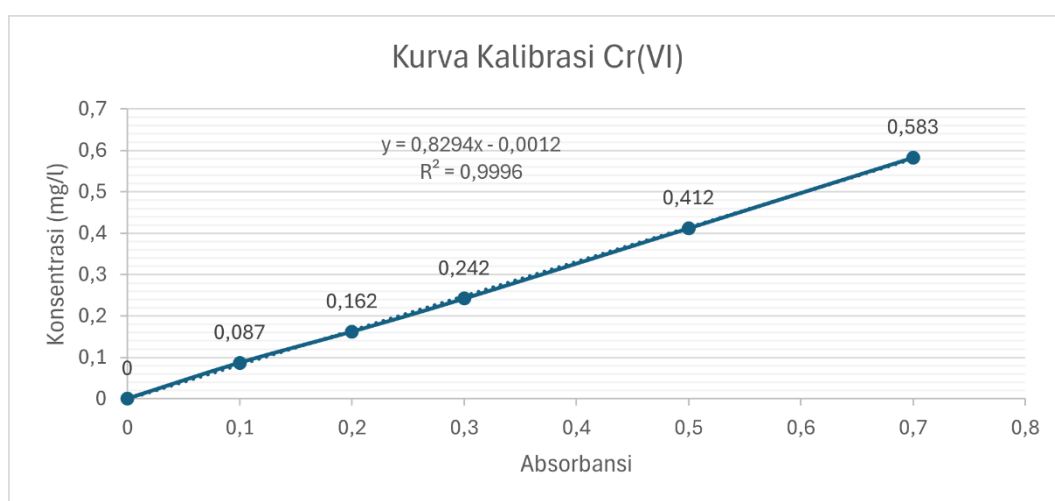




Lampiran 2. Kurva Kalibrasi Standar

Kurva kalibrasi untuk spektrofotometri UV-Vis digunakan untuk mengukur konsentrasi logam berat dalam larutan. Fungsi utama kurva kalibrasi adalah untuk menghubungkan nilai serapan larutan sampel dengan konsentrasi logam berat yang diketahui yang diukur. Prinsip dasar penggunaan kurva kalibrasi adalah hubungan linier antara serapan dan konsentrasi, yang digunakan untuk menentukan konsentrasi sampel yang tidak diketahui berdasarkan respon optiknya. Hasil pengukuran kurva kalibrasi ditunjukkan pada tabel dan grafik berikut.

Sample Label	Conc.	Absorbansi
	mg/l	
Standar 0	0	0
Standar 1	0,1	0,087
Standar 2	0,2	0,162
Standar 3	0,3	0,242
Standar 4	0,5	0,412
Standar 5	0,7	0,583
Koefisien Relasi		0,99982
Slope		0,99982
Intersep		-0,00116
Sy/x		0,00456
IoD		0,01369
IoQ		0,04562



Lampiran 3. Perhitungan Efisiensi Penyisihan

Rumus:

$$Efisiensi Penyisihan (\%) = \frac{Co - Ca}{Co} \times 100\%$$

Keterangan:

Efisiensi Penyisihan (%) = Persentase Penyisihan Cr(VI)

Co = Konsentrasi Awal Cr(VI) (mg/l)

Ca = Konsentrasi Akhir Cr(VI) setelah proses adsorpsi (mg/l)

- Persentase Penyisihan pada variasi massa adsorben 20 mg

$$Efisiensi Penyisihan (\%) = \frac{Co - Ca}{Co} \times 100\%$$

$$Efisiensi Penyisihan (\%) = \frac{4,316 \frac{mg}{l} - 0,188 \frac{mg}{l}}{4,316 \frac{mg}{l}} \times 100\%$$

$$Efisiensi Penyisihan (\%) = 95,64\%$$

- Persentase Penyisihan pada variasi pH 8

$$Efisiensi Penyisihan (\%) = \frac{Co - Ca}{Co} \times 100\%$$

$$Efisiensi Penyisihan (\%) = \frac{4,316 \frac{mg}{l} - 0,167 \frac{mg}{l}}{4,316 \frac{mg}{l}} \times 100\%$$

$$Efisiensi Penyisihan (\%) = 96,13\%$$

- Persentase Penyisihan pada variasi waktu kontak 30 menit

$$Efisiensi Penyisihan (\%) = \frac{C_o - C_a}{C_o} \times 100\%$$

$$Efisiensi Penyisihan (\%) = \frac{4,316 \frac{mg}{l} - 0,429 \frac{mg}{l}}{4,316 \frac{mg}{l}} \times 100\%$$

$$Efisiensi Penyisihan (\%) = 90,06\%$$

- Persentase Penyisihan pada variasi konsentrasi lindi

$$Efisiensi Penyisihan (\%) = \frac{C_o - C_a}{C_o} \times 100\%$$

$$Efisiensi Penyisihan (\%) = \frac{0,627 \frac{mg}{l} - 0,054 \frac{mg}{l}}{0,627 \frac{mg}{l}} \times 100\%$$

$$Efisiensi Penyisihan (\%) = 91,35\%$$

RIWAYAT HIDUP

Perkenalkan nama saya Alvin Meidio Pratama, lahir di Pekanbaru, 24 Mei 2002, saya adalah anak tunggal dari pasangan Haldi Yunas dan Elvi Ningsih. Ketika berusia 6 tahun, saya memulai pendidikan di SDN 012 Pekanbaru, kemudian melanjutkan di SMPN 4 Pekanbaru. Setelah lulus dari SMP pada 2017, saya melanjutkan di SMA 9 Pekanbaru. Setelah lulus saya melanjutkan kuliah di jurusan Teknik Lingkungan di Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Pada saat SMA, saya aktif mengikuti organisasi, yaitu OSIS dan kegiatan ekstrakurikuler seperti, Rohis, Futsal, Basket. Saat masuk ke dunia perkuliahan, saya aktif mengikuti kegiatan mahasiswa seperti kepanitiaan dan organisasi mahasiswa. Beberapa kepanitiaan yang saya ikuti adalah Enviro Champions, Lintas Lingkungan. Kemudian organisasi mahasiswa yang saya ikuti adalah Lembaga Eksekutif Mahasiswa Fakultas. Dengan berbagai pengalaman ini, saya berharap dapat menjadi individu yang berkontribusi baik untuk diri sendiri maupun orang lain.