

**ADSORPSI ION LOGAM Cu(II) PADA AIR LINDI
MENGUNAKAN ARANG AKTIF DARI UMBI
PORANG (*Amorphophallus muelleri* B.)
TERAKTIVASI KOH**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelara Sarjana Sains dalam Ilmu Kimia



Oleh: **NEYSHA HERMAYA ROSSAVIANTY**

NIM : 2008036005

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2024**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Neysha Hermaya Rossavianty

NIM : 2008036005

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi yang berjudul:

**ADSORPSI ION LOGAM Cu(II) PADA AIR LINDI
MENGUNAKAN ARANG AKTIF DARI UMBI PORANG
(*Amorphophallus muelleri B.*) TERAKTIVASI KOH**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 26 September 2024

Yang membuat Pernyataan



Neysha Hermaya Rossavianty

NIM: 2008036005



**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Prof. Dr. Hamka Ngaliyan, Semarang Telp. 024-7601295

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini :

Judul : Adsorpsi Ion Logam Cu(II) Pada Air Lindi
Menggunakan Arang Aktif dari Umbi Porang
(*Amorphophallus muelleri B.*) Teraktivasi KOH
Penulis : Neysha Hermaya Rossavianty
NIM : 2008036005
Jurusan : Kimia

Telah diujikan dalam sidang munaqosah oleh Dewan Penguji
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat
diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana
dalam ilmu Kimia.

Semarang, 15 November 2024

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang

Deni Ebit Nugroho, S.Si, M.Pd
NIP: 1985072020190310007

Sekretaris Sidang

Dr. Eng. Anissa Adiweni Putri, M.Si
NIP: 198504052011012015

Penguji I

Dr. Ervin Tri Suryandari, S.Si, M.Si
NIP: 197407162009122001

Penguji II

Wirda Udaibah, M.Si
NIP: 198501042009122003

Pembimbing I

Dyan Fitasari, M.Si
NIP: 198501042009122003

Pembimbing II

Deni Ebit Nugroho, S.Si, M.Pd
NIP: 1985072020190310007



NOTA DINAS

Semarang, 26 September 2024

Yth. Ketua Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Adsorpsi Logam Cu(II) Pada Air Lindi Menggunakan Arang Aktif dari Umbi Porang (*Amorphophallus muelleri* B.) Teraktivasi KOH**

Nama : Neysha Hermaya Rossavianty

NIM : 2008036005

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam sidang Munaqasyah.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Dosen Pembimbing I



Dyah Fitasari, M.Si.

NIP. 198501022019032017

NOTA DINAS

Semarang, 26 September 2024

Yth. Ketua Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Adsorpsi Logam Cu(II) Pada Air Lindi Menggunakan Arang Aktif dari Umbi Porang (*Amorphophallus muelleri* B.) Teraktivasi KOH**

Nama : Neysha Hermaya Rossavianty

NIM : 2008036005

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Dosen Pembimbing II



Deni Ebit Nugroho, S.Si., M.Pd.

NIP. 198507202019031007

ABSTRAK

Air lindi atau air genangan dalam sampah hasil rembesan dapat membawa campuran logam Cu(II) yang melebihi ambang batas yang dapat diserap tanah dan menimbulkan masalah pencemaran baru yang mempengaruhi keseimbangan ekosistem setempat. Oleh karena itu, diperlukan alternatif untuk permasalahan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kapasitas dan efisiensi adsorpsi logam Cu(II) oleh adsorben dari umbi porang yang memiliki kandungan yang baik untuk adsorben dengan KOH sebagai aktivatornya yang diharapkan dapat mengurangi kadar logam pada air lindi. Hasil pengujian arang yaitu kadar air 1,27 %, kadar air 1,15%, *volatile matter* 2,68%, dan karbon terikat 94,9%. Berdasarkan hasil uji FTIR diketahui adanya gugus O-H dan C=O yang berperan penting pada proses adsorpsi. Efisiensi adsorpsi terbaik terjadi pada waktu 60 menit, massa adsorben 1 gram, pH 5, dan konsentrasi awal 9,24 mg/L dengan kapasitas adsorpsi terbesar yaitu 9,209 mg/L dan efisiensi terbesar adalah 99,66%. Kinetika kimia pada penelitian ini mengikuti persamaan kinetika pseudo orde dua dengan $R^2 = 0,9995$.

Kata Kunci : *Logam Cu, Air Lindi, Adsorben, Umbi Porang.*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Penulis ingin menyampaikan rasa syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat kelulusan mata kuliah Kimia di Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang dengan judul “Adsorpsi Ion Logam Cu(II) Pada Air Lindi Menggunakan Arang Aktif dari Limbah Umbi Porang (*Amorphophallus Muelleri B.*) Teraktivasi KOH” tanpa suatu halangan apapun. Shalawat dan salam tak lupa penulis curahkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW beriringan dengan keluarga, sahabat, dan para pengikutnya.

Tidak terlepas dari arahan, bantuan, dukungan, dan dorongan dari berbagai pihak dalam penyusunan karya akhir ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Nizar, M. Ag. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
2. Bapak Dr. Musahadi, M. Ag. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
3. Ibu Mulyatun, S. Pd., M. Si. selaku Ketua Program Studi Kimia Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
4. Ibu Dyah Fitasari, M. Si. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Deni Ebit Nugroho, S.Si., M.Pd. selaku Dosen

Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, kritik, saran serta motivasi kepada penulis dengan penuh pengertian dalam penyusunan skripsi.

5. Ibu Ika Nur Fitriani, S. Pd., M. Sc. Dan Ibu Ana Mardiyah, M. Si. selaku Dosen Wali yang senantiasa memberikan bimbingan dan motivasi kepada penulis selama masa studi.
6. Segenap Bapak/Ibu Dosen Kimia dan Civitas akademik Fakultas Sains dan Teknologi yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, serta motivasi kepada penulis.
7. Cinta pertama dan panutan penulis, Ayah Jamal dan pintu surga sekaligus separuh hidup penulis yaitu Ibu Hestanti C. Wulan yang telah melahirkan penulis, serta menjadikan penulis sebagai anak pertama yang diajarkan rasa kuat dan tangguh dalam menghadapi segala rintangan kehidupan lebih awal berkat doa, cinta, dan motivasi mereka tanpa tuntutan apapun. Semoga mereka mendapatkan kebahagiaan dunia dan akhirat dan dipermudah segala urusannya.
8. Nenek dan kakek penulis, Ibu Sri Sulastri dan Bapak Soetasmono yang juga pernah merawat penulis ketika kecil dan memberikan sebagian kebahagiaan, cinta, doa, dan dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga mereka senantiasa sehat dan bahagia.

9. Adik-adik penulis tercinta, Naura Azzarya dan Almira Chiara yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan mengingatkan hal-hal kecil kepada penulis. Semoga langkah mereka selalu diberikan kemudahan baik dalam pendidikan maupun hal lain.
10. Seseorang dengan NIM 21106011192 yang selalu ada di hari-hari penulis yang juga telah menjadi bagian paling menyenangkan selama ini terutama dalam proses penyusunan tugas akhir ini. Waktu dan tenaga bahkan segalanya yang telah dikorbankan demi membantu penulis dan memberikan hal-hal yang tidak bisa dihitungkan banyaknya. Semoga hidupnya selalu dipenuhi dengan hal-hal baik sesuai dengan kebaikan yang telah diperbuat.
11. Fitri, Nirmala, dan Fitria selaku rekan yang menemani penulis sejak mahasiswa baru sampai akhir masa perkuliahan. Semoga tetap bisa menjalin komunikasi dan interaksi sampai kapanpun.
12. Permas Rabiah Indah dan Elise Annisatun Hidayah selaku tempat sekaligus saksi dalam berbagi cerita baik, buruk, senang, bahkan sedih selama masa perkuliahan dan selama hidup di Semarang. Semoga tugas akhir mereka dapat dipermudah dan dilancarkan serta diberikan kebahagiaan dalam kehidupan kedepan.

13. Teman-teman seperjuangan Kimia 2020 yang selalu memberikan motivasi dan dukungan.
14. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis mengakui bahwa terdapat beberapa kekurangan dalam tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran untuk memperbaiki karya ini serta kritik yang membangun. Selain itu, penulis yakin bahwa baik pembaca maupun penulis akan memperoleh manfaat dari tugas akhir ini.

Aamiin Yaa Rabbal'alamiin.

Semarang, 30 September 2024

Penulis

Neysha Hermaya Rossavianty

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Air Lindi (<i>Leachate</i>).....	18
Tabel 2.2 Baku Mutu air menurut PP No. 82 Tahun 2001	20
Tabel 4.1 Rangkuman Gugus Fungsi Pada Arang Aktif Umbi Porang.....	58
Table 4.1 Kapasitas adsorpsi Orde Satu.....	72
Tabel 4.2 Kapasitas Adsorpsi Orde Dua.....	73
Tabel 4.3 Kinetika Adsorpsi Cu(II) dengan Arang Aktif Umbi Porang.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Air Lindi Tumpukan Sampah.....	16
Gambar 2.2 Logam Tembaga (Cu)	17
Gambar 2.3 Mekanisme Adsorpsi.....	19
Gambar 2.4 Umbi Porang.....	26
Gambar 2.5 Penampang Instrumentasi AAS (Studi Interferensi Pada AAS.....	28
Gambar 2.6 Prinsip Spektroskopi FTIR.....	30
Gambar 2.7 Spektra FTIR Adsorben Umbi Suweg Termodifikasi Sebagai Biosorben.....	31
Gambar 4.1 Spektra FTIR Adsorben Sebelum Aktivasi.....	46
Gambar 4.2 Spektra FTIR Adsorben Setelah Aktivasi.....	58
Gambar 4.3 Perbandingan spektra FTIR Adsorben Sebelum dan Sesudah Aktivasi.....	60
Gambar 4.4 Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Efisiensi Adsorpsi.....	65
Gambar 4.5 Pengaruh Waktu Kontak terhadap efisiensi Adsorpsi.....	67
Gambar 4.6 Pengaruh pH Terhadap Efisiensi Adsorpsi.....	69
Gambar 4.7 Model Kinetika Pseudo Orde Satu.....	72
Gambar 4.8 Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua.....	74

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A.Latar Belakang	1
B.Rumusan Masalah	10
C.Tujuan Penelitian	10
D. Manfaat Penelitian	10
BAB II KAJIAN TEORI	11
A. Air Lindi (<i>Leachate</i>)	11
B. Logam Cu	16
C. Adsorpsi	18
D. Kinetika Adsorpsi	22
E. Adsorben.....	21
F. Aktivasi.....	24
G. Porang	25
H. Instrumen AAS.....	27
I. Instrumen spektroskopi inframerah transformasi fourier (FTIR).....	29
J. Kajian Pustaka.....	31
K. Hipotesis.....	33

BAB III METODE PENELITIAN.....	35
A. Alat dan Bahan	35
1. Alat	35
2. Bahan.....	35
B. Prosedur Penelitian.....	35
1. Pengambilan Sampel air lindi.....	35
2. Preparasi sampel umbi porang	37
3. Tahap Karbonasi.....	38
4. Tahap aktivasi	38
5. Parameter pengujian arang aktif.....	38
7. Penentuan waktu kontak optimum	41
8. Penentuan pH optimum.....	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
A. Pembuatan Arang sebagai Adsorben.....	42
B. Aktivasi Arang Aktif.....	44
C. Analisis Gugus Fungsi FTIR Adsorben	45
D. Pengujian Arang Aktif.....	51
E. Optimasi Kondisi Adsorpsi.....	54
F. Penentuan Kinetika Adsorpsi.....	62
BAB V SIMPULAN.....	68
A. Simpulan	68
B. Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN	75

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sampah adalah material sisa yang sudah tidak dipakai lagi baik dalam bentuk padatan, cairan, maupun gas yang berasal dari aktivitas alam atau manusia. Sampah tercipta dan akan terus muncul selama manusia tetap ada. Intensitas sampah akan semakin meningkat seiring bertambahnya aktivitas manusia. Dua faktor utama yang menyebabkan pencemaran lingkungan adalah pembuangan sampah sembarangan dan mengabaikan kemurnian lingkungan (Khoiriyah, 2021).

Pencemaran menjadi masalah besar di Indonesia. Keberadaannya dapat mengakibatkan perubahan ekosistem bahkan kerusakan lingkungan yang signifikan seperti mencemari sumber air bersih atau air minum didekat pencemaran tersebut sebagaimana firman Allah dalam Surah Ar-Rum ayat 41 :

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي
عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya : “Telah tampak kerusakan di darat dan di laut karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada

mereka sebagian dari dampak perbuatan mereka. Semoga mereka kembali ke jalan yang benar” (Ariyadi & Shi, 2018).

Al Misbah menerangkan, ayat di atas merupakan firman Allah yang menyatakan bahwa ulah manusia merupakan biang keladi atas banyaknya kerusakan yang terjadi di darat maupun di air. Hal ini sudah seharusnya diwaspadai oleh umat manusia. Oleh karena itu, aktivitas manusia yang merusak daratan dan lautan harus segera diakhiri, dan aktivitas manusia yang mengutamakan kelestarian alam harus segera mengambil tempatnya.

Berdasarkan penjelasan ayat di atas Allah telah menegaskan bahwa permasalahan lingkungan karena rusaknya lingkungan juga dapat disebabkan perbuatan manusia. Jika kita tidak menjaga lingkungan, pemahaman yang mendalam tentang situasi ini akan berakibat buruk. Merupakan tugas seluruh masyarakat untuk mengelola sampah guna mencegah pencemaran lingkungan dan bahaya kesehatan yang diakibatkan oleh aktivitas manusia seperti perdagangan, pertanian, dan pekerjaan rumah tangga. Selain itu, tata ruang yang buruk dan teknik pengelolaan sampah yang tidak efisien menjadi faktor pendukung adanya pencemaran lingkungan (Khoiriyah, 2021).

Pengelolaan sampah berakhir ketika telah melalui proses pengumpulan, pemindahan/pengangkutan,

pengolahan dan pembuangan. Tahap terakhir dari pengelolaan tersebut berada di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Pembuangan sampah terbuka merupakan teknik pengelolaan sampah standar, di mana sampah dibuang begitu saja dan dibiarkan terbuka di lokasi pembuangan akhir. Produksi *leachate* (air lindi) akan meningkat seiring dengan jumlah tumpukan sampah di tempat pembuangan akhir. *Leachate* terbentuk ketika komponen organik dalam sampah yang terkumpul terurai akibat adanya presipitasi. *Leachate* adalah cairan yang diurai oleh mikroorganisme untuk melepaskan material terlarut dan tersuspensi yang sangat halus (Faisal, 2022).

Air lindi merupakan air genangan dari penguraian limbah atau limbah cair dari pembuangan sampah. Setelah limbah menumpuk, ia membentuk tumpukan yang mengandung berbagai zat berbahaya, kuman penyebab penyakit, bahan organik, dan unsur lain yang terlarut dan tersuspensi di dalam tanah. Air lindi yang dimaksud dapat ditemukan dalam TPA (Tempat Pembuangan Akhir). Air lindi yang telah disimpan dalam empat jenis kolam yang berbeda (aerasi, fakultatif, pematangan, dan anaerobik) sebagai bagian dari upaya pengelolaan TPA. Dengan asumsi air lindi tidak memenuhi kriteria kualitas lingkungan, bahkan setelah melalui banyak fase penyimpanan, air lindi tetap gelap dan

keruh di selokan. Hal ini juga dapat mengganggu kehidupan organisme di sekitar limbah. Air lindi berpotensi mencemari sawah. Air lindi tersebut memberikan efek parasitis terhadap tumbuhan yang ada di tanah sawah. Air lindi juga menyebabkan gatal-gatal pada kulit karena mengandung amoniak, tembaga, timbal, dan mikroba parasit seperti kutu air (Mumtahanah & Novi Primiani, 2017).

Air lindi yang mengandung logam berat termasuk dalam kontaminan yang membahayakan lingkungan. Jenis logam berat tersebut mencakup banyak logam kimia berbahaya, termasuk tembaga (Cu), timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg). Bila kandungan logam berat melebihi batas tertentu, logam-logam tersebut dapat berbahaya dan bersifat karsinogenik yaitu dapat menyebabkan kanker (Yulyani Wardi, 2016). Sedimen dan material lain yang ditemukan di perairan merupakan contoh pencemaran logam berat, yang khususnya terjadi di TPA Madiun yang menghasilkan air lindi. Sampah rumah tangga dan aktivitas manusia lainnya merupakan sumber utama pembuangan logam berat, yang erat kaitannya dengan pencemaran logam berat di lingkungan perairan. Air hujan yang bercampur dengan sampah dan diangkut ke kolam lindi akan mempengaruhi logam berat yang terdapat dalam air lindi (Faisal, 2022).

Tembaga (Cu) merupakan logam berat yang kadarnya dalam lindi cukup mengkhawatirkan. Logam berat yang memiliki nama kimia *cupprum* ini berwarna kemerahan dan mengkristal. Konsentrasi logam Cu dalam air sungai ditetapkan sebesar 0,2 mg/L berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Kualitas Air. Hasil penyelidikan sebelumnya di TPA menunjukkan kadar tembaga dalam tanah sangat tinggi, berkisar 1-3 mg/L. Tingginya kadar logam berat dalam tanah tersebut dimungkinkan oleh sifat logam tembaga yang mudah larut dalam air dan mengendap dalam sedimen tanah. Akibat longsor tersebut, konsentrasi Cu di TPA cukup tinggi. Material yang terangkat dari TPA menumpuk di atas tanah. Lokasi pengambilan contoh tanah dibuat di tempat yang tinggi. Pergerakan air hujan dari tanah yang tinggi tersebut membawa partikel Cu ke daerah hilir yang berdekatan dan laut yang letaknya sangat dekat dengan TPA (Yuliastrin, 2019).

Lebih jauh, Cu merupakan logam berat yang dapat ditemukan dalam asap knalpot mobil, sehingga tanah di dekat jalan raya sering kali mengandung konsentrasi logam berat yang signifikan. Diperkirakan bahwa penumpukan Cu dalam skala besar telah berlangsung selama beberapa waktu. Limbah Cu dalam jumlah yang signifikan telah terkumpul dari kendaraan bermotor, atau dari komponen rem dan ban

kendaraan yang berasal dari ban bekas yang dibuang di tempat pembuangan sampah ini (Yuliastrin, 2019). Karena mekanisme penyerapan yang memungkinkan zat organik dan anorganik menempel pada logam berat, logam berat dapat terakumulasi sebagai endapan (Palar, 2004).

Adsorpsi adalah proses penyerapan molekul, atom, atau ion dalam larutan dari permukaan bahan penyerap. Proses ini terjadi antara fase cair-padat atau fase gas-padat, pada permukaan dua fase. Bahan yang menyerap disebut adsorben, dan bahan yang diserap disebut adsorbat. Adsorben yang sering digunakan antara lain zeolit, karbon aktif, dan berbagai media sintetis (Haura *et al.*, 2017).

Karbon aktif adalah padatan berpori yang terbuat dari bahan-bahan yang mengandung karbon yang telah dipanaskan pada suhu tinggi dan mengandung 85–95% karbon. Arang aktif dapat diproduksi dari bahan-bahan mentah yang berasal dari tumbuhan, hewan, sampah, atau mineral yang mengandung karbon. Bahan-bahan mentah ini meliputi serbuk gergaji, kayu keras, bubur gilingan tebu, bubur kertas, dan bahan-bahan lain yang mengandung selulosa (Murti, 2014). Beberapa penelitian tentang adsorben karbon aktif diantaranya adalah umbi suweg, umbi singkong, umbi ganyong dan lain-lain. Umbi-umbian di atas digunakan sebagai bahan

dasar pembuatan adsorben karena umumnya mengandung daya serap yang tinggi (Pratana *et al.*, 2017).

Bahan lain yang dapat dijadikan sebagai adsorpsi adalah umbi porang. Umbi porang adalah jenis umbi tertentu yang mengandung 65% atau lebih glukomanan. Umbi porang kering memiliki kandungan glukomanan antara 15 dan 64 persen, yang membuatnya cocok sebagai bahan baku makanan dan obat-obatan. Glukomanan mengandung selulosa dan galaktomanan masing-masing sebesar 60% dan 4%. Kandungan selulosa yang dimiliki umbi porang lebih tinggi dibandingkan dengan umbi-umbian lainnya. Selulosa merupakan salah satu penyusun dasar bahan lignoselulosa yang banyak digunakan sebagai adsorben, baik dalam bentuk alami, modifikasi maupun sebagai prekursor karbon aktif (Suhas, 2016).

Dibandingkan dengan adsorben lain, karbon aktif memiliki luas permukaan dan daya serap yang lebih besar, sehingga menjadikannya adsorben yang unggul dalam sistem penyerapan. Struktur pori karbon aktif terkait dengan luas permukaannya, yang biasanya berkisar antara 300 dan 3000 m²/g. Proses aktivasi dapat digunakan untuk mengembangkan struktur pori karbon aktif (Murti, 2014).

Aktivasi dapat dilakukan secara fisik maupun kimia. Melalui penggunaan uap air dan CO₂ pada suhu tinggi, ikatan

karbon molekul organik akan terputus selama proses aktivasi fisik. Aktivasi kimia adalah proses pemanfaatan bahan kimia untuk memutus rantai karbon molekul organik. Aktivasi kimia sering dilakukan dengan merendam dalam zat penyerap air seperti natrium klorida, senyawa karbonat, sulfida, ZnCl_2 , asam sulfat, dan asam fosfat (Sahraeni, 2019). Karbon aktif lebih baik diproduksi secara kimia, yaitu menggunakan aktivator basa seperti KOH. Hal ini dikarenakan aktivator basa berinteraksi dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen ketika material lignoselulosa memiliki konsentrasi oksigen yang tinggi (Faisal, 2021).

Beberapa penelitian tentang adsorben diantaranya adalah umbi suweg, umbi singkong, umbi ganyong dan lain-lain. Umbi-umbian di atas digunakan sebagai bahan dasar pembuatan adsorben karena umumnya mengandung daya serap yang tinggi (Pratana *et al.*, 2017). Penelitian lain juga banyak yang telah membahas tentang pembuatan arang aktif dengan KOH. Erlina (2015) telah melakukan penelitian tentang penggunaan KOH sebagai aktivator dengan bahan dasar tempurung kelapa menghasilkan efisiensi adsorpsi sebesar 83,87% dengan konsentrasi KOH sebesar 50%. Sedangkan pada penelitian Arif (2014) pembuatan arang aktif dengan bahan baku tempurung kluwak menggunakan Kalium hidroksida (KOH), Natrium karbonat (Na_2CO_3), Asam fosfat

(H_3PO_4) didapatkan hasil terbaik yaitu menggunakan aktivator KOH dengan konsentrasi 5% dapat menurunkan fenol sebesar 91,97%. Untuk mengetahui dampak peningkatan konsentrasi aktivator KOH terhadap kualitas karbon aktif, telah dilakukan penelitian lebih lanjut (Faisal, 2021).

Modifikasi bahan-bahan dan aktivator diperlukan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi. Karbon aktif yang dikembangkan dari selulosa memiliki luas permukaan dan volume pori yang cukup besar sehingga biasanya menghasilkan kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan selulosa alami meskipun sebelum adanya aktivasi selulosa sudah dapat digunakan sebagai adsorben (Anugrahwati, 2020).

Dalam penelitian ini, arang aktif dari umbi porang yang telah diaktivasi dengan KOH akan digunakan untuk melakukan adsorpsi logam Cu(II) , sesuai dengan dasar pemikiran yang telah dipaparkan. Arang aktif pada penelitian ini dibuat terlebih dahulu dari umbi porang, kemudian diaktivasi menggunakan KOH. Selain itu, akan diperhitungkan lama kontak adsorpsi yang ideal dan parameter pH saat adsorben bersentuhan dengan larutan Cu(II) sebagai adsorbat. Diharapkan arang aktif yang terbuat dari umbi porang mampu menyerap limbah larutan logam Cu(II) melalui proses aktivasi yang akan dilakukan.

B. Rumusan Masalah

- a. Bagaimana karakteristik arang aktif umbi porang?
- b. Bagaimana kapasitas dan efisiensi adsorpsi logam Cu(II) oleh arang aktif dari umbi porang teraktivasi KOH?
- c. Bagaimana kinetika adsorpsi arang aktif dari umbi porang teraktivasi KOH?

C. Tujuan Penelitian

- a. Untuk mengetahui karakter arang aktif yang berasal dari umbi porang yang digunakan sebagai adsorben logam Cu(II).
- b. Untuk mengetahui kapasitas dan efisiensi arang aktif dalam mengadsorpsi logam Cu(II) dari umbi porang yang telah diaktivasi dengan KOH.
- c. Untuk mengetahui model kinetika adsorpsi.

D. Manfaat Penelitian

- a. Mampu meningkatkan potensi umbi porang dalam mengelola pencemaran logam Cu(II) di lingkungan.
- b. Mampu memberikan informasi lebih lanjut tentang pemanfaatan umbi porang sebagai adsorben.

BAB II KAJIAN TEORI

A. Air Lindi (*Leachate*)

1. Pengertian Umum Air Lindi

Hampir di setiap kota di Indonesia terdapat masalah sampah. Setelah itu, kegiatan pengolahan sampah seperti pengomposan dan daur ulang akan dilakukan di tempat pembuangan sementara (TPS), hingga dipindahkan ke tempat pembuangan akhir (TPA). Sampah yang tidak layak untuk diolah selanjutnya akan dikumpulkan di sel sampah. Proses penguraian sampah yang terkumpul di sel sampah akan mengalami perubahan fisik, kimia, dan biologi. Air lindi merupakan salah satu hasil samping dari proses penguraian (Larasati *et al.*, 2016).



Gambar 2.1 Air lindi yang mengalir di permukaan tanah dari tumpukan sampah (Yayasan Inovasi Pembangunan Hijau)

Air lindi adalah air yang berasal himpunan sampah yang menumpuk dan mengandung berbagai zat terlarut dan tersuspensi. Jika air lindi ini tidak ditangani dengan baik, maka dapat merembes ke dalam tanah dan mencemarinya. Lebih jauh, diketahui bahwa air lindi ini mengandung logam berat cukup tinggi serta bakteri organik dan anorganik (Ali, 2011).

Limbah cair yang mengandung bahan tersuspensi dan terlarut disebut air lindi. Air lindi adalah cairan yang dibuang dari tempat pembuangan akhir dan mungkin merupakan produk sampingan dari tempat pembuangan akhir, menurut Damanhuri & Padmi (2010). Hujan menciptakan air yang mengandung banyak bahan organik dan mineral. Lingkungan, termasuk manusia, akan terkena dampak negatif jika filtrat tersebut dapat mencapai permukaan bumi. Tempat pembuangan akhir limbah organik dikenal karena dekomposisi yang cepat dan produksi air lindi yang menyengat, yang, jika tidak ditangani dengan benar, dapat mencemari sungai, air tanah, dan tanah di sekitarnya. Tingkat polusi yang tinggi di permukaan dan air tanah memiliki efek berikut:

- a. Jumlah air lindi yang tinggi di air permukaan dapat menyebabkan proses kerusakan biologis yang menurunkan kandungan oksigen dalam air dan akhirnya

mengakibatkan kematian biota, yang bergantung pada oksigen untuk bertahan hidup.

- b. Air tanah menjadi tercemar oleh konsentrasi air lindi yang tinggi, yang mengurangi kadar oksigen terlarut dalam air dan membuatnya bertahan lebih lama di dalam air. Akibatnya, polutan tersebut tidak dapat lagi digunakan sebagai air murni (Widiarti & Muryani, 2020).

2. Perembesan Air Lindi

Kondisi normal akan menyebabkan air lindi terkumpul di dasar TPA dan meresap ke lapisan tanah yang lebih rendah. Meskipun hal ini juga memungkinkan, migrasi lateral bergantung pada sifat material di sekitarnya. Karena pentingnya penyaringan vertikal dalam mengurangi pencemaran air tanah, banyak penelitian yang dilakukan di bidang ini. Migrasi lindi melibatkan dua faktor: air tanah dari sabuk batuan bergerak kembali dari permukaan akuifer ke air tanah, dan lindi bergerak cepat dari dasar lahan reklamasi ke air tanah melalui permukaan akuifer (Lestari *et al.*, 2017).

3. Sifat dan Karakteristik Air Lindi

Komposisi air lindi berubah secara substansial berdasarkan aktivitas fisik, kimia, dan biologis yang terjadi di tempat pembuangan akhir. Baik di tempat pembuangan akhir aerobik maupun anaerobik, lokasi,

hidrogeologi, dan sistem operasional berbagai jenis TPA merupakan elemen yang memengaruhi proses yang terjadi di dalamnya; namun, faktor-faktor ini berbeda di setiap negara. Hal ini juga berdampak pada produk sampingan dari proses penguraian, termasuk jumlah atau kualitas gas atau lindi. Misalnya, tempat pembuangan akhir yang menerima sejumlah besar sampah organik akan menghasilkan lindi yang mengandung banyak bahan organik dan berbau menyengat (Larasati dkk, 2016).

Tabel 2.1 Karakteristik Air Lindi (*Leachate*) Sumber : Balai Laboratorium Lingkungan HIdup Surabaya (2005)

No	Parameter	Satuan	Range
1.	Cu	µg/liter	4-1400
2.	Cr	µg/liter	300-1600
3.	Hg	µg/liter	0,2-50
4.	Pb	µg/liter	8-1020
5.	Cd	µg/liter	0,5-140
6.	As	µg/liter	5-1600
7.	Co	µg/liter	4-950

Meskipun logam berat ada di lingkungan secara alami, logam tersebut merupakan bahan kimia berbahaya jika ditemukan dalam air lindi. Senyawa merkuri dapat

ditemukan di air, tanah, dan udara yang dekat dengan area yang tidak bersih dan berbahaya. Senyawa dari logam berat dapat berkumpul dan menyatu menjadi kompleks.

Pada makhluk hidup, seperti tumbuhan, hewan, dan manusia, logam juga mengalami proses yang disebut biotransformasi dan bioakumulasi. Jumlah logam yang terkumpul dalam biota perairan akan terus meningkat (biomagnifikasi), dengan biota yang lebih tinggi dalam rantai makanan mengalami lebih banyak akumulasi logam. Kapasitas biota laut untuk mengumpulkan logam yang mencemari dan keberadaan senyawa berbahaya yang sangat beracun merupakan dua karakteristik logam berat. Secara fisik dan kimia, logam segera berkumpul dan akhirnya tenggelam ke dasar air lindi (Fadhilah & Fitria, 2020).

4. Baku Mutu

Air Lindi merupakan air limbah yang memerlukan pengelolaan khusus agar keberadaannya tidak melebihi baku mutu yang ada. Sesuai dengan PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, diberlakukan kriteria mutu air lindi sebagai berikut:

Tabel 2.2 Baku Mutu Air Lindi (PP No. 82 Tahun 2001)

Parameter	Satuan (ppm)
Cu	0,02
Cd	0,01
Pb	0,03
Cr	0,05

Pembuangan sampah yang beraneka ragam jenis dan bentuk memungkinkan adanya logam berat dan bahan kimia berbahaya dalam air lindi. Semakin tinggi konsentrasi air lindi yang mengandung logam berat jika melebihi baku mutu air dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan (Mahardika & Salami, 2012).

B. Ion Logam Cu²⁺

Sebagai unsur mikro, logam Cu merupakan salah satu logam berat yang dibutuhkan oleh makhluk hidup untuk bertahan hidup. Logam Cu berbahaya jika konsentrasi logam tersebut dalam tubuh melebihi batas atas (Panjaitan, 2009). Air hujan, erosi batuan, dan erosi merupakan cara alami masuknya logam Cu ke lingkungan. Logam Cu juga dapat berasal dari pergerakan dan pembakaran bahan bakar, serta dari kegiatan rumah tangga dan industri (Faisal, 2022)



Gambar 2.2 Logam Tembaga (Cu) (Kurnia, 2017)

Ion logam Cu^{2+} adalah tembaga yang berbentuk ion tembaga yang mempunyai muatan positif ganda. logam Cu^{2+} memiliki sifat anorganik toksik dan *non-degradable*. Ketika ion logam Cu^{2+} terhimpun dalam rantai makanan akan mengakibatkan kerusakan pada otak, sirosis hati, dan penurunan fungsi ginjal hingga kematian. Tembaga (Cu^{2+}) merupakan elemen penting bagi semua makhluk hidup. Kehadiran Cu^{2+} dalam konsentrasi tinggi sebenarnya bersifat racun karena terakumulasi dalam rantai makanan atau mengalami biokonsentrasi, sehingga menghambat pertumbuhan organisme. Secara umum terdapat beberapa upaya untuk mengatasi logam berat khususnya logam berat tembaga dalam bentuk ion Cu^{2+} yang meliputi tindakan fisika, kimia, dan biologi. Namun diperlukan biaya yang tinggi untuk mengatasi pencemaran lingkungan secara fisik dan kimia seperti pengendapan kimia, filtrasi, pertukaran ion, dan proses

elektrokimia, dan dapat menyebabkan pencemaran sekunder. Oleh karena itu, diperlukan proses reaksi yang ramah lingkungan, hemat biaya, dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan secara permanen (Sembiring Elsa Try Julita dkk., 2018).

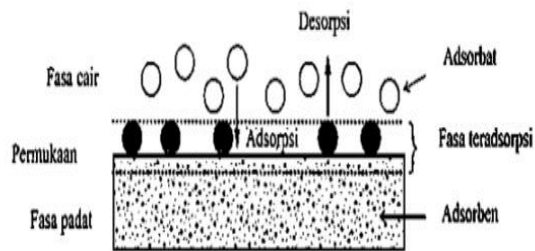
C. Adsorpsi

Salah satu teknik untuk mengelola limbah cair dan air yang tercemar dengan berbagai bahan pencemar adalah metode adsorpsi. Selama proses adsorpsi, adsorben digunakan untuk menyerap polutan. Adsorben dapat dibuat dari mineral anorganik, bahan organik sintetik, atau bahan organik alami. Adsorben yang berasal dari bahan anorganik mempunyai daya serap minyak dan logam yang relatif rendah, sedangkan penggunaan adsorben yang berasal dari bahan sintetik cenderung menimbulkan pencemaran (Martini *et al.*, 2020).

Adsorpsi dimanfaatkan dalam pengolahan limbah cair dari industri dan merupakan teknik yang berguna untuk menyerap komponen berbahaya dalam bahan limbah. Menurut (Haura *et al.*, 2017), limbah di lingkungan dapat dikurangi dengan penggunaan bahan adsorpsi yang dibuat dari bahan baku limbah. Ada beberapa jenis adsorbat dan adsorben yang dikenal dalam adsorpsi. Adsorben merupakan media untuk menyerap dan

melepaskan cairan dalam bentuk senyawa karbon, sedangkan adsorbat merupakan zat kimia yang akan diekstraksi dari pelarutnya (Syauqiah *et al.*, 2011).

Adsorpsi atau penyerapan adalah koagulasi senyawa terlarut dalam larutan pada permukaan zat atau benda penyerap dapat disebabkan oleh hubungan fisika-kimia antara bahan dan penyerap (Purwitasari, 2022).



Gambar 2.3 Mekanisme Adsorpsi (Worch, 2012)

Berikut ini adalah beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi:

a. pH larutan

Basa organik lebih berhasil diserap pada tingkat pH tinggi, sedangkan asam organik lebih mudah diserap pada tingkat pH rendah. Hal ini karena muatan negatif pada permukaan karbon aktif dapat dinetralkan oleh ion positif yang dihasilkan oleh molekul organik pada tingkat pH rendah, yang menurunkan hambatan difusi dan meningkatkan efisiensi penyerapan. Senyawa

organik akan menghasilkan ion negatif pada tingkat pH tinggi (Cecen *et al.*, 2012).

b. Waktu Kontak

Ketika adsorbat dan arang bersentuhan, proses adsorpsi dapat berubah, sehingga memungkinkan proses adsorpsi yang lebih efisien. Jumlah bahan kimia yang diadsorpsi meningkat seiring dengan lamanya waktu proses adsorpsi (Raditya, 2016).

c. Luas Permukaan Adsorben

Adsorpsi dapat terjadi lebih efisien apabila luas permukaan adsorben lebih besar, karena peluang adsorbat untuk terserap lebih besar (Syauqiah, 2011).

d. Kelarutan Adsorbat

Senyawa yang mudah larut lebih sulit diserap karena afinitasnya yang kuat terhadap larutannya (Syauqiah, 2011).

e. Ukuran Model Adsorbat

Ketika ukuran molekul mendekati ukuran pori karbon, maka akan terjadi tarik menarik yang lebih besar antara molekul dan karbon. Ukuran molekul yang diserap dapat memengaruhi proses penyerapan karena molekul tersebut harus dapat masuk ke dalam pori-pori adsorben. Penyerapan dapat terjadi di dalam pori-pori adsorben karena ukuran pori dan adsorben;

semakin besar diameter pori dan semakin kecil diameter adsorbat, semakin tinggi jumlah penyerapan (Kurniawan, 2016).

f. Suhu

Laju adsorpsi rentan terhadap perubahan suhu. Tingkat adsorpsi meningkat seiring dengan suhu dan menurun seiring dengan suhu. Kenaikan suhu memengaruhi kenaikan tingkat adsorpsi (Kurniawan, 2016).

Adsorpsi adalah salah satu metode yang tepat karena metode ini dikenal lebih terjangkau dan efisien daripada beberapa teknik yang umum digunakan, termasuk koagulasi, elektrodialisis, reverse osmosis, ultrafiltrasi, dll. Teknik ini juga memiliki manfaat memungkinkan regenerasi adsorben, karena tidak ada lumpur yang dihasilkan selama pemrosesan (Purwiandono, 2022).

D. Adsorben

Adsorben biasanya berasal dari bahan dengan pori tinggi. Dinding pori merupakan lokasi utama proses adsorpsi. Karena adsorben memiliki pori yang sangat kecil, luas permukaannya meningkat berkali-kali lipat dari permukaan luarnya (Alfarisi, 2017). Penyerapan adsorben dipengaruhi oleh volume dan luas permukaan spesifik. Berikut ini adalah ciri adsorben yang berkualitas:

- Jumlah kapasitas penyerapan meningkat seiring dengan luas permukaan adsorben.
- Selama proses adsorpsi dan desorpsi, volume tetap konstan.
- Adsorben dengan kemurnian lebih tinggi memiliki kemampuan adsorpsi lebih besar.
- Jenis atau pengelompokan fungsional atom yang ada pada permukaan adsorben (Ginting, 2008).

E. Kinetika Adsorpsi

- a. Kinetika adsorpsi pseudo orde satu (Kinetika Langergen)

Persamaan umum pseudo orde satu menjelaskan bagaimana zat terlarut diserap dari larutan. Berikut ini adalah persamaannya:

$$\frac{dx}{dt} = k (X-x) \quad (2.1)$$

Keterangan : X dan x adalah kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan dan pada waktu t (mg.g^{-1}), k adalah konstanta laju adsorpsi orde satu.

Kemudian persamaan (2.1) diintegrasikan dengan kondisi batas $t = 0$ sampai $t = t$ dan $x = 0$ sampai $x = x$ menjadi :

$$\ln\left(\frac{X}{X-x}\right) = kt \quad (2.2)$$

Persamaan (2.2) dapat disusun ulang ke bentuk linier berikut ini :

$$\text{Log}(X-x) = \log(X) - \frac{k}{2,303} t \quad (2.3)$$

Bentuk yang paling sering digunakan adalah persamaan :

$$\log(qe - qt) = \log(qe) - \frac{k_1}{2,303} (t) \quad (2.4)$$

Keterangan : q_e dan q_t adalah kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan dan pada waktu t (mg.g^{-1}), k adalah konstanta laju adsorpsi (min^{-1}) (Sun Ho, 2004)

- b. Kinetika adsorpsi pseudo orde dua (Kinetika Mc Kay & Ho)

Pada permukaan adsorben padat, sistem adsorpsi larutan sering kali diperlakukan menggunakan model kinetik pseudo orde dua. Persamaan kinetika tersebut pada awalnya adalah sebagai berikut :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(Qe - Qt)^2 \quad (2.5)$$

Keterangan : K_2 adalah konstanta laju adsorpsi orde kedua (g/mg^{-1}), Q_t melambangkan kuantitas ion logam pada permukaan adsorben pada setiap momen tertentu (mg/g), Q_e melambangkan jumlah ion logam yang teradsorpsi pada kesetimbangan (mg/g).

Kemudian variable diatas dipisahkan dan menghasilkan persamaan :

$$\frac{dq_t}{(Qe - Qt)^2} = k_2 dt \quad (2.6)$$

Persamaan ini mengintegrasikan untuk batas $t = 0$ sampai $t = t$ dan $Q_t = Q_t$ dan menghasilkan persamaan umum yaitu

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{K_2 Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} \quad (2.7)$$

Keterangan : Q_e dan Q_t adalah jumlah yang terserap pada waktu t dan waktu kesetimbangan, k_1 adalah konstanta laju kesetimbangan pada orde kedua (g/mg menit) dengan diperlukan kemiringan plot t/Q_t terhadap t (Sun Ho, 2004).

F. Aktivasi

Adsorben dapat diaktifkan dengan cara memutus ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul pada permukaannya untuk menambah jumlah pori pada permukaannya, ini merupakan arti aktivitas (Winoto *et al.*, 2020).

Berikut ini adalah faktor yang mempengaruhi proses aktivasi:

- Waktu perendaman
Tujuan dari prosedur perendaman adalah untuk mencegah terbentuknya lignin, karena hal ini dapat menyebabkan terbentuknya senyawa tar (Putri, 2017).
- Konsentrasi aktivator

Kapasitas adsorpsi meningkat seiring dengan konsentrasi aktivator (Putri, 2017).

- Ukuran bahan

Daya penyerapan adsorben meningkat seiring dengan berkurangnya ukuran karena memiliki lebih banyak lubang. Ada dua metode untuk melakukan proses aktivasi: secara kimia dan fisika. Menggunakan uap, panas, atau gas N_2 untuk memutus rantai karbon molekul organik adalah cara aktivasi fisik dilakukan (Putri, 2017).

Untuk aplikasi skala kecil, metode aktivasi fisik sangat ramah ekonomi karena biasanya memerlukan suhu antara 600 dan 900 °C. Aktivasi kimia melibatkan penggunaan bahan kimia untuk memutus rantai karbon molekul organik. Tanpa pemrosesan lebih lanjut, karbon aktif dengan distribusi pori yang berasal dari aktivasi kimia dapat digunakan sebagai adsorben (Suprianofa, 2016).

G. Porang

Amorphophallus muelleri Blume, atau umbi porang, merupakan salah satu tanaman pangan umbi-umbian yang sedang berkembang (Rahayuningsih, 2020). Tanaman umbi-umbian porang tumbuh di daerah tropis dan subtropis. Banyak masyarakat Indonesia yang belum melakukan budidaya porang secara intensif (Widyasari,

2021). Minimnya norma produksi yang komprehensif, terbatasnya lahan tanam, dan ketergantungan pada potensi alam masih menjadi permasalahan yang dihadapi masyarakat (Rofik, 2017).



Gambar 2.4 Ubi Porang

Menurut (Johnson, 2007), ubi porang mengandung sejumlah besar glukomanan (antara 49 dan 60%), 10 hingga 30% pati, 2 hingga 5% serat kasar, 5 hingga 14% protein, 3 hingga 5% gula pereduksi, 3,4 hingga 5,3 abu, lemak, dan vitamin. Sektor kuliner, kimia, dan farmasi dapat menggunakan glukomanan ini untuk berbagai keperluan, seperti bahan makanan, pengikat dan pengisi tablet, bahan pelapis, perekat, pelapis penyerap air, penguat tenun, media pertumbuhan mikroba, dan bahan pembuatan kertas (Saleh *et al.*, 2015). Glukomanan mengandung selulosa dan galaktomanan masing-masing sekitar 60 - 65% dan 4 - 7%. Kandungan selulosa yang

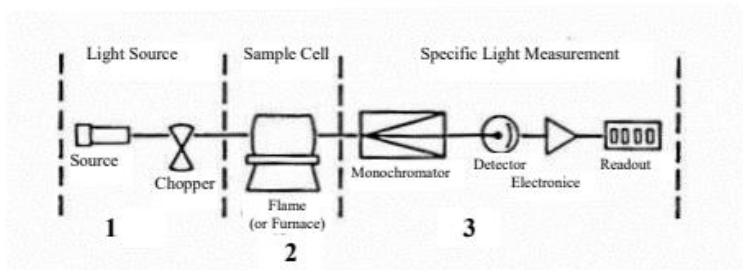
dimiliki umbi porang lebih tinggi dibandingkan dengan umbi-umbian lainnya. Selulosa merupakan salah satu penyusun dasar bahan lignoselulosa yang banyak digunakan sebagai adsorben, baik dalam bentuk alami, modifikasi maupun sebagai prekursor karbon aktif (Suhas, 2016).

Glukomanan juga tersedia dalam bentuk serat larut dan gula kompleks, yang sumbernya paling banyak terdapat di Indonesia. Dalam industri makanan, glukomanan digunakan untuk mengikat, mengentalkan, mengganti lemak dalam resep, dan memberikan efek gel. Glukomanan juga merupakan salah satu serat gizi dengan daya serap air bak. Hal itu membuat tanaman porang potensial digunakan sebagai adsorben (Verawati, 2021).

H. Instrumen AAS

Metode analitis yang disebut spektrofotometri serapan atom mengukur jumlah cahaya yang diserap oleh atom-atom bebas dari logam yang diteliti. Batu, tanaman, minuman, makanan, dan benda-benda lain semuanya dapat diukur unsur logamnya menggunakan spektrometri serapan atom (Kasih, 2019). *Atomic Absorbption Spektrofotometri* (AAS) memanfaatkan cahaya dari logam bebas dan penyerapan panjang gelombang tertentu, merupakan teknik kuantitatif untuk analisis unsur. AAS

menggunakan rentang panjang gelombang 200–300 nm. Karena tidak bergantung pada sumber emisi, pendekatan AAS ini memiliki kelebihan karena lebih spesifik untuk logam yang diserap (Noriyanti, 2012).



Gambar 2.5 Penampang Instrumentasi AAS (Studi Interferensi Pada AAS Universitas Diponegoro)

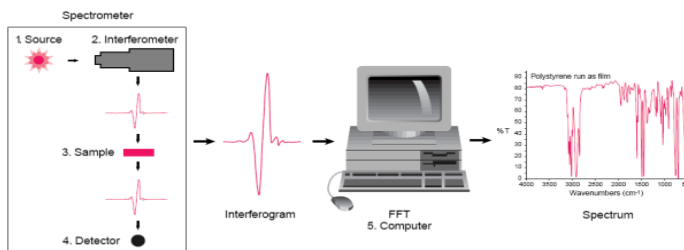
Pokok bagian penampang AAS adalah Sumber radiasi untuk menghasilkan sinar yang diperlukan, sistem pengatoman untuk menghasilkan atom-atom bebas, dan sistem monokromator, deteksi dan pembacaan. Interaksi antara sampel dan radiasi elektromagnetik merupakan dasar dari AAS. Ketika atom melakukan transisi elektronik dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi, mereka menyerap energi, yang dikenal sebagai AAS. Teknik AAS bekerja dengan baik untuk menguji senyawa pada konsentrasi rendah. Larutan sampel harus diuapkan terlebih dahulu agar logam di dalamnya menjadi atom bebas, yang merupakan cara kerja AAS. Radiasi sumber

cahaya diserap oleh atom. Lampu katode (*hollow cathode lamp*) yang merupakan sumber cahaya ini dilengkapi dengan elemen yang harus diukur di dalamnya. Bergantung pada jenis logam, panjang gelombang tertentu digunakan untuk menilai penyerapan radiasi (Siringo-ringo, 2019).

I. Instrumen spektroskopi inframerah transformasi fourier (FTIR)

Spektroskopi Fourier Transformed Infrared (FTIR) adalah peralatan yang digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi, mengidentifikasi bahan kimia, dan menganalisis campuran sampel tanpa menyebabkan kerusakan pada bahan. Bagian inframerah dari spektrum elektromagnetik berkisar dari panjang gelombang 14.000 cm^{-1} hingga 10^{-1} . Menurut panjang gelombang ini, spektrum inframerah dikategorikan menjadi tiga segmen: IR dekat ($14000 - 4000\text{ cm}^{-1}$), yang responsif terhadap getaran nada atas; IR sedang ($4000 - 400\text{ cm}^{-1}$), terkait dengan transisi energi getaran molekul yang menghasilkan wawasan tentang gugus fungsi mereka; dan IR jauh ($400 - 10\text{ cm}^{-1}$), digunakan untuk analisis molekul dengan massa atom substansial, seperti senyawa anorganik, yang memerlukan teknik khusus. Biasanya, analisis kimia

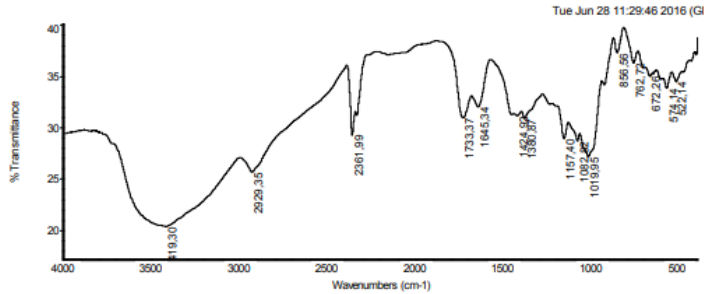
dilakukan dalam rentang inframerah tengah (Tanaka dkk, 2008).



Gambar 2.6 Spektroskopi FTIR (Spada UNS)

Radiasi infra merah dipancarkan dari sumber cahaya searah dengan interferometer. Pengkodean spektral dilakukan dengan interferometer. Berkas cahaya kemudian melewati sebagian sampel yang diteruskan atau dipantulkan oleh permukaan sampel. Sinar akhirnya mencapai detektor tempat pengukuran akhir (sinyal interferogram) dilakukan. Sinyal yang diukur diukur dan dikirim ke computer dan spektrum inframerah akhir disajikan kepada pengguna untuk interpretasi (Suseno, 2008).

Analisis FTIR sebelumnya digunakan pada penelitian umbi suweg termodifikasi sebagai biosorben. Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya beberapa gugus fungsi yang berperan penting dalam proses adsorpsi.



Gambar 2.7 Spektra FTIR Umbi Suweg Termodifikasi Sebagai Biosorben

Karakterisasi FTIR dari adsorben umbi suweg yang digunakan di atas menunjukkan adanya gugus selulosa yaitu gugus fungsi -OH, alkana C-H, lignin C=C, eter C-O-C, dan C-O. (Lestari, 2016).

J. Kajian Pustaka

Penelitian Leni Sarastini Putri (2021) menghasilkan karakteristik adsorben yang mengandung gugus fungsi utama dari selulosa yaitu -OH, C-H, C=C lignin, -CH₂- , C-O-C eter, C-O. Efisiensi adsorpsi tertinggi terjadi pada selulosa yang berasal dari kertas koran bekas terkalsinasi teraktivasi KOH (KKB-TT) sebesar 100% (adsorbat dianggap habis terserap oleh adsorben karena konsentrasi akhir hasil uji AAS menunjukkan angka negatif).

Preparasi Karbon aktif kulit ubi kayu pada penelitian Sembiring (2023) menghasilkan karbon aktif dengan kualitas tertinggi pada konsentrasi NaOH 3%, dengan

6,93% air, 21,89% zat volatil, 9,39% total abu, dan 68,71% karbon terikat. Luas permukaan terbaik sebesar 34,66 m²/g dipengaruhi oleh variasi konsentrasi NaOH, yang digunakan sebagai aktivator dalam produksi karbon aktif dari kulit singkong. Temuan uji gugus fungsi menunjukkan bahwa gugus fungsi OH hidroksil, C=C aromatik, asam karboksilat C=O, alkana C-H, C-H aromatik, amina N-H, dan alkohol OH terdapat dalam berbagai komposisi karbon aktif (aktivator NaOH) yang berasal dari kulit singkong.

Penelitian Aturroifah (2022) menghasilkan pengaruh pada mikrostruktur dan performa elektrokimia superkapasitor. Dalam proses pembuatan karbon aktif, konsentrasi KOH 4M diaduk selama 24 jam dengan kecepatan 500 rpm menggunakan pengaduk untuk menghasilkan karbon aktif berkinerja tinggi.

Penelitian Yulianti Dwi Lestari (2016) menyimpulkan bahwa pati suweg berpotensi menjadi adsorben yang dapat menyerap ion Pb di tinjau dari ikatan kimianya. Dibandingkan dengan pati biasa dan pati berpori, pati berpori yang dimodifikasi merupakan adsorben dengan ikatan kimia O-H, C-N, dan C=O yang lebih kuat serta bentuk dan diameter pori yang lebih unggul.

Kulit singkong yang dijadikan karbon aktif dan diaktivasi dengan KOH menunjukkan hasil paling baik

pada konsentrasi KOH adalah 0,2 M dan 0,6 M, kadar air 3,79%, kadar abu 8,09%, laju adsorpsi iodine dan metilen biru masing-masing 863 mg/g dan 3,116 mg/g, dan persentase adsorpsi ion logam Pb^{2+} sebesar 98%. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas penyerapan karbon aktif meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi aktivator (Suprabawati *et al.*, 2018).

Erlina (2015) melakukan penelitian, dalam penelitian ini, produksi karbon aktif dari arang tempurung kelapa dicapai pada perlakuan konsentrasi KOH 50%, menghasilkan nilai rendemen sebesar 83,87% dan efisiensi adsorpsi logam Cu sebesar 83,57%. Kadar logam Cu telah mampu diturunkan hingga di bawah nilai baku mutu berkat karbon aktif dari penelitian ini. Rata-rata sampel karbon aktif terbukti mampu menurunkan kadar logam Cu hingga di bawah 0,6 ppm (mg/L), menurut Kep 51/MenLH/10/1995.

K. Hipotesis

Arang adalah material karbon berpori yang biasanya mengandung gugus selulosa. Umbi porang memiliki banyak kandungan selulosa di dalamnya. KOH merupakan aktivator basa yang dapat mengaktifkan permukaan adsorben untuk adsorpsi. KOH dapat meningkatkan kandungan selulosa yang ada di material adsorben. Selulosa dalam adsorben

dapat memaksimalkan kemampuan adsorpsi sehingga dapat meningkatkan kapasitas dan efisiensi adsorpsi. Dengan demikian diharapkan arang aktif umbi porang teraktivasi KOH dapat meningkatkan kapasitas dan efisiensi dalam adsorpsi logam Cu(II).

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

1. Alat

Peralatan meliputi gelas kimia, gelas ukur 50 ml, pipet ukur 1 ml, blender, Erlenmeyer, pipet tetes, cawan porselen, desikator, pengaduk magnetik, kertas saring, ayakan 100 mesh, timbangan analitik, oven, *furnace*, FTIR merk *Bruker Alpha II-T+P*, dan AAS merk *ICE 3000 Series Thermo Fischer Scientific*.

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah umbi porang dari salah satu kebun porang Kabupaten Madiun, sampel air lindi TPA, KOH 45% dan 1 M, HCl 1M (Merck), HNO₃ 1M (Merck) dan akuades (Merck).

B. Prosedur Penelitian

1. Pengambilan Sampel air lindi

a. Analisis karakterisasi logam Cu(II) air lindi TPA

Analisis ini dilakukan dengan cara mengambil sampel air lindi TPA Madiun, Jawa Timur menggunakan jerigen sebanyak 3L (Alam, 2017).

b. Analisis kadar Cu(II) sebelum pengujian adsorben

Kadar dan karakteristik logam Cu(II) diuji dengan standar baku mutu kualitas air sesuai dengan

Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012. Pengujian dilakukan di Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang menggunakan acuan SNI 6989.6:2009 dan ditentukan konsentrasinya (Alam, 2017).

- **Pengawetan Sampel**
Sampel air lindi yang tidak langsung di analisis berdasarkan SNI 6989.6:2009 diawetkan selama maksimal enam bulan dengan menambahkan HNO_3 hingga pH kurang dari dua.
- **Persiapan sampel**
Sampel Air lindi sebanyak 100 mL dituang ke dalam gelas kimia, aduk hingga rata. Pemanas listrik digunakan untuk memanaskan sampel hingga cairan hampir kering. Labu ukur 100 mL diisi dengan kertas saring, ditambahkan 50 mL akuades, lalu ditambahkan akuades berlebih hingga menjadi 100 mL.
- **Pembuatan larutan baku Cu^{2+} 100 mg/L**
Larutan induk Cu^{2+} 1000 mg/L dipipet ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan lebih banyak larutan pengencer
- **Pembuatan larutan baku Cu^{2+} 10 mg/L**

Larutan tembaga standar Cu^{2+} 100 mg/L dipipet sebanyak 50 mL ke dalam labu ukur 500 mL, diikuti dengan penambahan larutan pengencer untuk mencapai tingkat yang tera.

- Pembuatan larutan kerja Cu^{2+}

Larutan baku Cu^{2+} 10 mg/L dipipet 0 mL, 2 mL, 5 mL, 10 mL, 20 mL, 30 mL, dan 40 ditaruh ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian dilanjutkan dengan penambahan larutan pengencer sampai konsentrasi logam tepat tercapai pada tera. 2,0 mg/L, 3,0 mg/L, 4,0 mg/L, 0,0 mg/L, 0,2 mg/L, 0,5 mg/L, 1,0 mg/L, dan seterusnya.

- Prosedur dan pembuatan kurva kalibrasi

Setiap larutan kerja diukur pada panjang gelombang 324,75 nm setelah alat AAS disetel sesuai dengan petunjuk pengoperasian instrumen. Kurva kalibrasi kemudian dibuat untuk memperoleh persamaan garis regresi.

2. Preparasi sampel umbi porang

5 kg umbi porang dikupas kulitnya kemudian dibersihkan menggunakan air, lalu dipotong tipis-tipis dan di keringkan dibawah sinar matahari dan diblender hingga halus (Faza, 2021).

3. Tahap Karbonasi

Umbi porang sebanyak 750 gram ditumbuk menggunakan mortar, lalu diayak melalui ayakan 100 mesh kemudian dimasukkan kedalam furnis dengan suhu 400°C selama 15 menit (Faza, 2021). Setelah di karbonasi dihitung jumlah rendemen yang ada di dalam arang dengan cara membandingkan antara berat bahan baku yang dikarbonkan dengan berat karbon setelah karbonisasi (Natalia, 2024).

$$\text{Rendemen(\%)} = \frac{b}{a} \times 100\% \quad (3.1)$$

Dengan a adalah berat bahan sebelum karbonasi (gram) dan b adalah berat karbon yang dihasilkan (gram)(Natalia,2024).

4. Tahap aktivasi

Arang ditimbang pada wadah sebanyak 400 gram. Kemudian arang ditambahkan KOH 45%, selanjutnya, direndam selama sekitar 4 jam, dibilas dengan akuades, disaring, dan dibersihkan lagi dengan akuades hingga pH mencapai tingkat netral. Kemudian dikeringkan dalam oven yang diatur pada suhu 100°C selama 24 jam, dan didinginkan. diukur menggunakan FTIR (Faza, 2021).

5. Parameter pengujian arang aktif

a) Kadar air

Sebanyak 3 gr arang aktif dipanaskan pada suhu 100 °C hingga benar-benar kering, kemudian didinginkan. Adsorben arang aktif tersebut ditempatkan dalam desikator. Setelah itu, kadar air ditimbang dan ditentukan kadar airnya (Faza, 2021).

Rumus kadar air =

$$\frac{a-b}{c} \times 100\% \quad (3.2)$$

dengan a adalah massa sampel dan cawan petri sebelum dikeringkan (dalam gram), b Massa sampel dan cawan petri setelah dikeringkan (dalam gram), dan c Massa sampel sebelum dikeringkan (dalam gram) (Tasanif *et al.*, 2020).

b) Kadar Abu

Sebanyak 3 g arang aktif ditimbang dan ditempatkan dalam cawan porselen. Cawan tersebut kemudian dipanaskan hingga 600°C selama tiga jam, dan sebagian besar didinginkan menggunakan desikator hingga tetap konstan. Rumus untuk menghitung kadar abu digunakan untuk menentukan kadar abu (Faza, 2021).

Rumus kadar abu =

$$\frac{a-b}{c} \times 100\% \quad (3.1)$$

dengan a adalah massa sampel dan cawan petri sebelum dikeringkan (gram), b adalah adalah massa

sampel dan cawan petri sesudah dikeringkan (gram), dan c adalah sampel sebelum dikeringkan (gram) (Tasanif *et al.*, 2020.).

c) Kadar *Volatile Matter*

3 g arang aktif ditempatkan dalam cawan porselen, dipanaskan pada suhu 800°C selama tujuh menit dalam furnace, lalu didinginkan dalam tungku tanpa bersentuhan dengan udara luar. Setelah proses pendinginan, karbon ditempatkan dalam desikator selama lima belas menit dan ditimbang (Faza, 2021).

Rumus Kadar *Volatile matter* =

$$\frac{a-b}{b} \times 100\% \quad (3.3)$$

dengan a adalah karbon aktif mula-mula(gram) dan b adalah massa karbon aktif setelah dikeringkan (gram) (Tasanif *et al.*, 2020).

d) Kadar karbon terikat

Kadar karbon terikat pada arang aktif didapatkan dari hasil pengurangan terhadap kadar abu, air dan *volatile matter* (Faza, 2021).

$$\text{Kadar karbon terikat} = 100\% - (a+b+c) \quad (3.4)$$

dengan a adalah kadar abu (%), b adalah kadar air (%) dan c adalah kadar *volatile matter* (%) (Tasanif *et al.*, 2020).

6. Penentuan Massa Optimum

Sebanyak 20 mL air lindi diinteraksikan dengan variasi massa adsorben 0,1; 0,5; 1,0; 2,5 dan 3,0 g. Setelah 60 menit pengadukan kuat pada 800 rpm, campuran disaring, dan massa optimum filtrat ditentukan menggunakan uji AAS pada 324,75 nm (Ayu, 2018).

7. Penentuan waktu kontak optimum

Arang aktif ditimbang sebanyak 1 g pada 5 erlenmeyer kemudian ditambahkan larutan sampel masing-masing 20 mL, larutan sampel diaduk dengan magnetic stirrer 800 rpm selama waktu 15, 30, 60, 90, 120 menit, kemudian didiamkan selama 15 menit disaring kemudian diukur absorbansinya menggunakan AAS (Faza, 2021).

8. Penentuan pH optimum

Arang aktif ditimbang 1 g dan dimasukkan dalam erlenmeyer, kemudian ditambahkan larutan sampel sebanyak 20 mL dengan berbagai variasi pH 3, 5, 7, dan 9, 11 kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* 800 rpm selama 60 menit, kemudian didiamkan selama 15 menit, lalu disaring menggunakan kertas saring, selanjutnya diukur absorbansinya dengan AAS (Faza, 2021).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Preparasi Sampel Air Lindi

Sampel air lindi di dalam penelitian ini tidak langsung di analisis dalam adsorpsi sehingga perlu dilakukan proses penanganan awal atau preparasi sebelum dilakukan pengujian (*pretreatment*). Sesuai SNI 6989.6:2009 bahwa air limbah logam Cu(II) yang tidak langsung di analisis dapat diawetkan dengan menggunakan HNO_3 dan diletakkan dalam suhu rendah. Masa pengawetan sampel dapat berlangsung selama 6 bulan sejak penambahan HNO_3 dan di letakkan di suhu rendah (lemari pendingin). HNO_3 berfungsi untuk menonaktifkan mikroba dan meminimalkan pengendapan logam yang akan mengganggu atomisasi pada saat pengujian menggunakan AAS (Kumar, 2015).

B. Pembuatan Arang sebagai Adsorben

Penelitian tentang pembuatan arang aktif ini menggunakan bahan dasar umbi porang. Ada dua langkah yang terlibat dalam produksi karbon aktif: karbonisasi, atau pembakaran, dan aktivasi. Karbonisasi dilakukan untuk meningkatkan kandungan yang dimiliki umbi porang sedangkan aktivasi dilakukan untuk mengoptimalkan proses adsorpsi oleh umbi porang yang berfungsi sebagai adsorben.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni sampai dengan Agustus 2024 di Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang. Arang aktif yang dihasilkan pada penelitian ini berasal dari bahan dasar umbi porang sebagai media yang akan digunakan untuk adsorpsi. Umbi porang yang digunakan berasal dari perkebunan milik warga desa setempat di wilayah Madiun, Jawa Timur. Dengan gugus fungsi -OH-nya, umbi ini berpotensi untuk digunakan sebagai adsorben. Gugus -OH pada umbi porang akan berinteraksi dengan molekul-molekul adsorbat untuk mengadsorpsi logam berat dalam penelitian ini adalah logam Cu(II). Ion logam Cu(II) yang bermuatan positif akan diikat oleh gugus -OH; proses ini dikenal sebagai mekanisme pertukaran ion. Gugus fungsi karboksil dan hidroksil bertanggung jawab untuk mengikat ion logam dalam jumlah besar (Fatmawati, *et al.*, 2015).

Umbi porang dikarbonasi dengan tujuan untuk mengurangi zat-zat yang menguap dan melepaskan senyawa organik di umbi porang. Umbi porang yang telah melalui pengeringan di bawah sinar matahari hingga benar-benar kering. Umbi porang yang kering ditimbang sebanyak 750 gram selanjutnya di *furnace* untuk dipanaskan pada suhu 400°C selama 15 menit agar dapat menjadi karbon. Karbon yang didapat ditimbang dan didinginkan dalam suhu ruang kemudian dihaluskan dengan menggunakan mortar dan untuk

memperoleh ukuran arang yang seragam diayak menggunakan ayakan 100 mesh.

Penentuan rendemen arang dilakukan setelah didapatkan massa arang setelah karbonasi. Tujuan penentuan rendemen untuk mengetahui banyak arang yang terbentuk dari umni porang yang digunakan pada proses karbonisasi. Persen rendemen yang dihasilkan cukup tinggi yaitu 79,68%, hal ini disebabkan struktur umbi yang cukup tebal dan tidak mudah rapuh sehingga pada saat proses karbonisasi massa umbi porang tidak berkurang signifikan. Semakin tinggi presentase rendemen yang dihasilkan, maka semakin baik arang tersebut.

C. Aktivasi Arang Aktif

Setelah dilakukan pengayakan direndam dengan KOH 45% yang berfungsi untuk memaksimalkan kapasitas adsorpsi logam Cu(II) pada bagian permukaan adsorben. Arang yang telah diaktivasi disaring dan dibilas menggunakan akuades hingga pH netral kemudian di oven kembali pada suhu 100 °C selama 24 jam lalu didinginkan dan setelah itu ditimbang kembali dan didapatkan persentase hasil rendemen sebesar 81,86%.

Ion logam Cu(II) adalah golongan asam menengah. Molekul asam menengah dan basa keras menurut teori *Hard and Soft Acids and Bases* (HSAB) sangat mudah berikatan. Karena ikatan

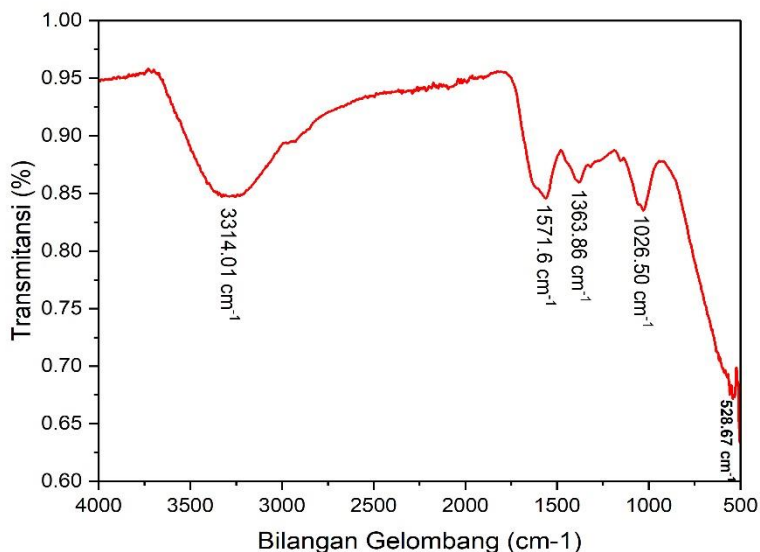
yang berkembang, molekul mengambil bentuk gugus aktif yang akhirnya menciptakan senyawa kompleks (Putri,2021). Ion logam Cu(II) akan berikatan dengan gugus -OH yang merupakan basa keras yang terkandung dalam adsorben arang aktif umbi porang. Jumlah ion Cu(II) yang terdapat dalam larutan menjadi berkurang dan sebagian ion tersebut hilang karena terikat pada gugus -OH membentuk endapan $\text{Cu}(\text{OH})_2$, sehingga analisis AAS memberikan konsentrasi ion yang lebih kecil daripada yang sebenarnya dalam larutan (Bijang, 2018).

KOH merupakan basa kuat yang higroskopis sehingga sangat mudah mengikat air ketika proses aktivasi berlangsung. Reaksi pada aktivasi arang aktif dengan KOH bersifat *hydrating* atau menghidrasi karena dipengaruhi oleh konsentrasi aktivator. Semakin tinggi konsentrasi aktivator dalam hal ini adalah KOH maka semakin besar pengaruhnya terhadap pengikatan senyawa tar keluar melewati pori-pori arang aktif (Pato, 2021).

D. Analisis Gugus Fungsi FTIR Adsorben

Adsorben arang sebelum teraktivasi dan arang teraktivasi diuji menggunakan instrument FTIR. Analisis FTIR berguna untuk mengetahui keberadaan gugus fungsi pada adsorben umbi porang sebelum dan sesudah aktivasi. Hasil analisis FTIR dari adsorben umbi porang sebelum aktivasi

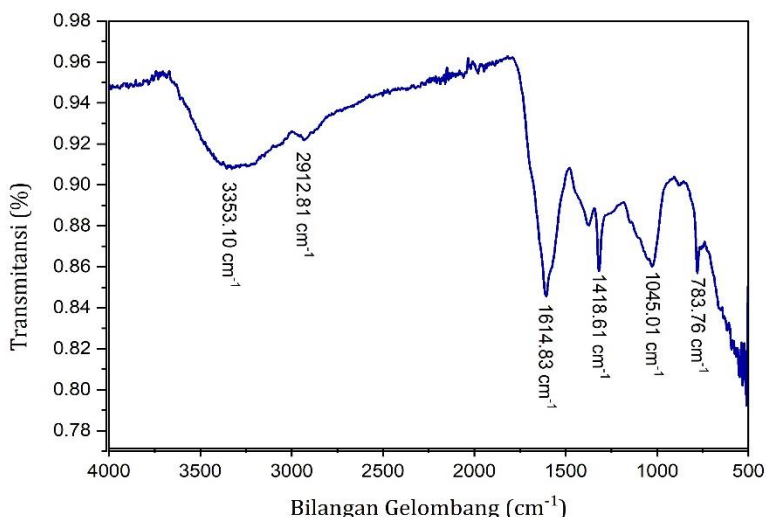
dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1 Spektra FTIR Adsorben Sebelum Aktivasi

Penyerapan kuat dan meluas pada bilangan gelombang 3314,01 cm^{-1} ditunjukkan pada **Gambar 4.1**, yang menunjukkan adanya peregangan gugus -OH. Gugus N-O hadir ketika bilangan gelombang 1571,6 cm^{-1} diserap. Gugus C-H dengan vibrasi tekuk dan intensitas sedang ditunjukkan oleh bilangan gelombang 1363,86 cm^{-1} . Peregangan ikatan C-O ditunjukkan oleh bilangan serapan 1026,50 cm^{-1} , dan keberadaan gugus C-H dengan intensitas rendah ditunjukkan oleh bilangan gelombang 528,67 cm^{-1} .

Hasil analisis FTIR dari adsorben umbi porang yang telah diaktivasi dengan KOH 45% yang dimana **Gambar 4.2** menyajikannya.



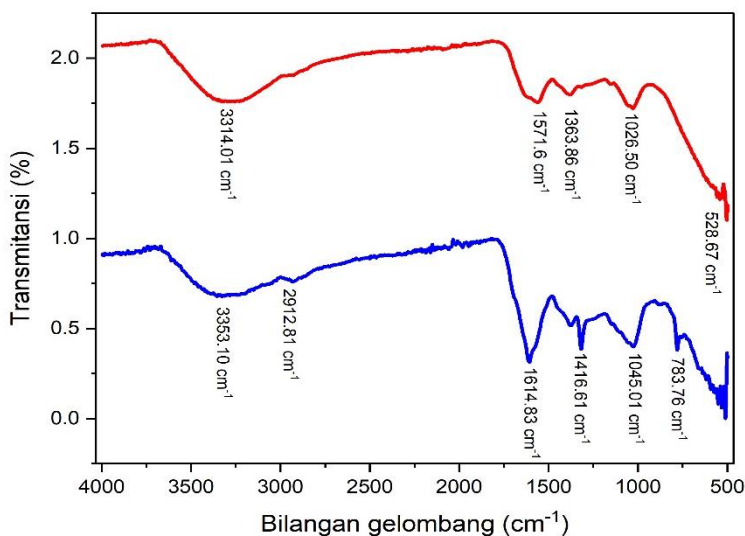
Gambar 4.2 Spektra FTIR Adsorben Setelah Aktivasi

Adanya gugus O-H ditunjukkan oleh spektrum pita tajam yang cukup lebar pada bilangan gelombang serapan 3353,10 cm⁻¹ pada **Gambar 4.2**. Ikatan O-H membuat arang memiliki sifat polar (Mentari *et al*, 2018). Penunjukkan gugus C-H adalah bilangan gelombang serapan 2912,81 cm⁻¹. Kandungan selulosa yang tinggi sering dikaitkan dengan gugus C-H (Faza, 2021). Adanya pita medium yang dikombinasikan dengan bilangan gelombang 1614,83 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus lignin C=C. Ikatan OH-C dengan

tanda pita serapan regangan dan vibrasi regangan C-O direpresentasikan oleh bilangan gelombang serapan 1045,01 cm^{-1} . Gugus C-H juga ditemukan kembali pada serapan bilangan gelombang 783,76 cm^{-1} dari golongan alkana yang mengandung banyak selulosa yang baik untuk proses adsorpsi yang ditunjukkan dengan pita tajam. Terdapat gugus dibawahnya yang menunjukkan penyerapan dari β -glikosidik dengan ditandai adanya getaran C-H. Gugus fungsi -OH, C-H, C=C dan C-O merupakan gugus utama dari selulosa yang baik bagi adsorben (Putri, 2021). Komposisi gugus fungsi adsorben arang aktif dari umbi porang yang telah diaktivasi tidak berbeda secara signifikan dengan adsorben sebelum aktivasi, berdasarkan hasil kajian FTIR, meskipun setelah aktivasi menunjukkan pita spektrum yang tajam yang artinya terjadi peningkatan intensitas nilai frekuensi dan energi yang lebih tinggi dan terdapat penambahan gugus fungsi C=C. Spektra yang tajam menunjukkan konsentrasi yang lebih tinggi, puncak yang tajam cenderung muncul lebih jelas dalam spektrum, karena lebih banyak molekul yang menyerap radiasi IR pada panjang gelombang tertentu. (Suhartati, 2017). Perbandingan spektra dan gugus- gugus yang diperoleh dari sebelum dan setelah aktivasi dapat dilihat dalam **Tabel 4.1.** dan **Gambar 4.3.**

Tabel 4.1 Rangkuman Gugus Fungsi Adsorben Umbi Porang

Gugus Fungsi	Spektra Arang Aktif Umbi Porang (cm ⁻¹)	
	Sebelum Aktivasi	Setelah Aktivasi
-OH	3314,01	3353,10
N-O	1571,60	-
C-H	1363,86 dan 528,67	2912,81 dan 783,76
C-O	1026,50	1045,01
C=C	-	1614,83

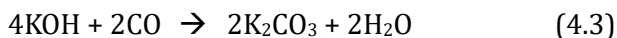


Gambar 4.3 Perbandingan Spektra FTIR Adsorben Sebelum (merah) dan Sesudah Aktivasi (biru)

Perbandingan spektra FTIR sebelum (spektra merah) dan sesudah aktivasi (spektra biru) dapat dilihat dari kemunculan gugus-gugus fungsi antara keduanya. Spektra FTIR setelah aktivasi (spektra biru) muncul gugus baru yaitu

C=C atau alkuna yang merupakan gugus karbon dengan kemurnian yang tinggi. Ikatan rangkap karbon yang ada pada gugus ini menunjukkan bahwa unsur karbon yang dihasilkan arang aktif setelah aktivasi menjadi semakin tinggi. Semakin murni kandungan karbon pada arang aktif maka kualitas arang aktif semakin bagus. Gugus C=C dalam adsorben muncul akibat perubahan kimia yang terjadi pada material adsorben selama proses aktivasi. Gugus C=C ini penting karena ikatan ganda tersebut dapat meningkatkan sifat adsorptif material, terutama dalam mengikat molekul atau ion tertentu, seperti ion logam Cu^{2+} (Hijrah, 2020).

Proses aktivasi menggunakan basa KOH menyebabkan reaksi dengan gugus C (karbon) yang ada pada gugus-gugus fungsi yang telah disebutkan di atas. Reaksinya dapat diilustrasikan sebagai berikut :



Kalium Hidroksida bereaksi dengan karbon sesuai dengan reaksi di atas mengeluarkan air karena KOH merupakan *dehydrating agent*/ bersifat mendehidrasi yang kemudian akan membentuk pori-pori baru serta karbondioksida yang berdifusi kepermukaan karbon. Pori-pori yang terbentuk akan menghasilkan karbon aktif. Kalium Hidroksida juga

mencegah dalam pembentukan tar, asam asetat, methanol, dan lain sebagainya. Efektivitas adsorpsi dapat ditingkatkan dengan memperluas luas permukaan karbon aktif. Aktivasi adsorben menggunakan KOH juga menyebabkan zat pengotor yang masih menempel pada arang dapat larut sehingga dapat memperbesar pori dengan memecahkan ikatan hidrokarbon (Sailah, 2020).

Material yang mempunyai kandungan karbon yang tinggi dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi daripada material yang kandungan karbonnya lebih sedikit. Gugus-gugus fungsi mengandung atom karbon yang mengikat atom-atom dan gugus atom lainnya yang terdapat dalam senyawa karbon (Firmansyah, 2020).

E. Pengujian Arang Aktif

1. Uji kadar air

Pengujian kadar air bertujuan untuk menentukan sifat higroskopis arang aktif, yang menunjukkan bahwa arang aktif biasanya lebih afinitas terhadap air. Kadar air yang diperoleh dalam penelitian ini adalah 1,15% yang artinya jauh lebih rendah dari batas atas SNI No. 06-3730-1995 sebesar 15%. Kadar air yang diperoleh menunjukkan bahwa, sebelum dilakukan proses adsorpsi, kadar air yang berkaitan dengan umbi porang yang telah dikarbonisasi muncul terlebih dahulu. Kadar air yang semakin sedikit

akan lebih baik karena dapat memaksimalkan daya serap arang aktif terhadap cairan. Molekul air pada arang aktif yang semakin sedikit karena lepas. Kadar air dalam rongga arang aktif yang lepas diakibatkan karena perendaman dengan KOH pada saat aktivasi sehingga dapat memperkecil kadar tar pada karbon dan menyebabkan permukaan arang semakin luas (Saputri, 2016).

2. Uji kadar abu

Untuk mendeteksi mineral-mineral yang tertinggal dalam rongga-rongga arang yang tersumbat setelah arang aktif dari umbi porang dikarbonisasi dan diaktifkan, maka dilakukan pengukuran kadar abu pada adsorben. Kadar abu juga digunakan untuk mengidentifikasi kandungan oksida logam atau kandungan bahan anorganik yang ada pada arang aktif. Hasil yang didapat dalam penelitian ini adalah sebesar 1,27%. SNI No. 06-3730-1995 menyatakan syarat mutu dan pengujian arang aktif untuk kadar abu maksimumnya adalah sebesar 10% sehingga hasil yang diperoleh dalam pengujian berada di bawah batas maksimum SNI. Mineral yang terkandung di dalam arang tidak dapat menguap karena proses karbonisasi sehingga hal ini dapat mempengaruhi proses adsorpsi. Kadar abu yang tidak sesuai dengan standar dapat menyebabkan

penyumbatan rongga arang aktif sehingga luas permukaan dan kemampuan adsorpsi arang aktif menjadi berkurang.

3. Uji kadar *volatile matter*

Uji kadar *volatile matter* bertujuan untuk mengetahui adanya senyawa yang belum menguap ketika proses pengarangan. Hasil *volatile matter* pada penelitian ini diperoleh sebesar 2,68%. Nilai tersebut jauh berada dibawah batas maksimal SNI No. 06-3730-1995 yaitu 25%. Kadar *volatile matter* yang sedikit memiliki pengaruh baik terhadap daya serap arang aktif sedangkan *volatile matter* yang tinggi dapat mengurangi kualitas penyerapan arang aktif. Kadar yang rendah terjadi karena adanya senyawa-senyawa selain karbon seperti H_2O dan H_2 , yang menyumbat rongga arang aktif dan tidak lepas atau hilang pada saat pengarangan sehingga kemampuan adsorpsi kurang maksimal (Sa'diyah, 2022).

4. Uji kadar karbon terikat (*Fixed carbon*)

Kadar karbon terikat (*fixed carbon*) merupakan hasil pengurangan dari kadar air, abu, dan *volatile matter* yang didapat sebelumnya. SNI No. 06-3730-1995 menyatakan bahwa nilai kadar karbon terikat adalah minimal 65% sedangkan dari penelitian diperoleh sebesar 94,9% sehingga dapat dinyatakan bahwa karbon terikat adsorben umbi porang berada di atas batas minimal SNI. Hasil kadar

ini sangat tinggi karena nilai kadar abu, air dan *volatile matter* berada di bawah batas maksimum SNI. Kadar karbon terikat bertujuan untuk mengetahui jumlah karbon yang tersisa setelah proses karbonisasi. Karbonisasi yang sempurna menghasilkan kadar karbon yang lebih tinggi (Alam, 2022).

F. Optimasi Kondisi Adsorpsi

Umbi porang yang telah menjadi arang aktivasi kemudian diadsorpsi untuk mengidentifikasi efisiensi dan kapasitas penyerapannya terhadap logam Cu(II). Kondisi optimum diidentifikasi melalui beberapa parameter seperti massa adsorben, waktu kontak, dan pH larutan. Optimasi adsorben diperlukan untuk menentukan kondisi ideal bagi ion logam Cu(II) dalam larutan adsorbat agar dapat berinteraksi dengan gugus fungsi pada adsorben dan meningkatkan serta mengoptimalkan penyerapan.

Air lindi diuji terlebih dahulu diuji menggunakan instrumentasi *Atomic Absorbtion Spektrofotometri* (AAS) untuk mengetahui kandungan logam Cu(II). Kandungan logam Cu(II) pada air lindi diketahui adalah sebesar 9,24 mg/L. Hal ini membuktikan bahwa air lindi tersebut mengabaikan PP No. 82 Tahun 2001 yang membatasi jumlah logam tembaga (Cu) dalam air sebesar 0,2 mg/L. Logam Cu(II) di dalam air lindi

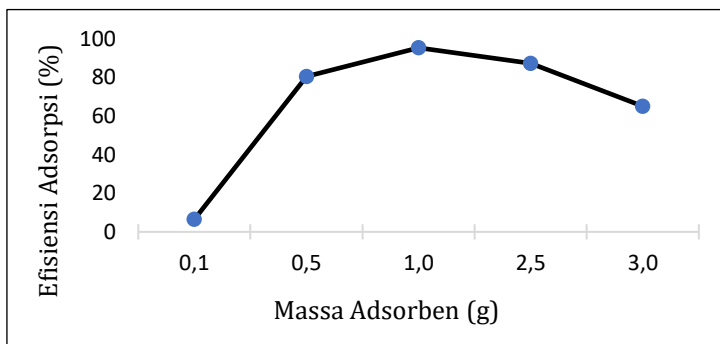
tersebut akan diadsorpsi dan kemudian diketahui efisiensi penyerapan arang aktif melalui beberapa parameter.

1. Parameter Massa Adsorben

Massa adsorben dioptimasi agar dapat melihat massa adsorben yang dapat menyerap logam Cu(II) secara optimal oleh arang aktif umbi porang. Massa adsorben dalam penelitian ini divariasikan yaitu 0,1 gram; 0,5 gram; 1,0 gram; 2,5 gram; dan 3,0 gram. Adsorpsi logam Cu(II) pada air lindi dilakukan dalam larutan air lindi 20 mL dengan konsentrasi 9,24 mg/L selama 60 menit. Lampiran **Tabel L.1** mencantumkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini tentang efisiensi adsorpsi arang aktif dari umbi porang.

Hasil penelitian variasi massa adsorben arang aktif umbi porang memiliki kondisi optimum penyerapan ion logam Cu(II) pada massa 1 gram dengan efisiensi adsorpsi mencapai nilai tertinggi yaitu 95,40% dengan kapasitas adsorpsinya sebesar 8,815 mg/g. Dengan massa adsorben 0,1 gram, efisiensi adsorpsi berada pada titik terendah, yaitu 6,49%. Karena massa adsorben lebih besar, arang aktif dapat meningkatkan jumlah partikel dan luas permukaan adsorben, sehingga meningkatkan komponen aktif pada permukaan dan meningkatkan efisiensi adsorben (Apriliani, 2010). Pengaruh variasi massa

adsorben arang aktif umbi porang terhadap efisiensi adsorpsi disajikan pada **Gambar 4.4**



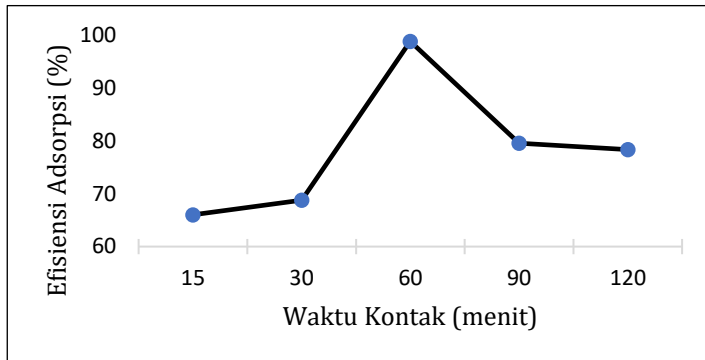
Gambar 4.4 Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Efisiensi Adsorpsi

Adsorpsi dapat dikatakan selesai atau berhenti ketika sudah melampaui kapasitas maksimum adsorben dan mempengaruhi nilai efisiensi adsorpsi. Nilai efisiensi adalah persentase keberhasilan proses adsorpsi. Nilai efisiensi mencapai kesetimbangan karena proses adsorpsi dipengaruhi oleh berkurangnya jumlah molekul yang terikat pada adsorben. Ketika permukaan adsorben tertutupi seluruhnya maka akan semakin cepat terjadinya titik jenuh. Terlihat pada massa adsorben 2,5 gram dan 3,0 gram mengalami penurunan efisiensi penyerapan karena bagian aktif adsorben belum semuanya berinteraksi dengan adsorbat sehingga ikatannya kurang maksimal. Penambahan massa adsorben berlebih melebihi titik jenuh

hanya akan berada dalam larutan tanpa berperan aktif dalam adsorpsi, yang menyebabkan pemborosan material dan biaya yang lebih tinggi dalam proses adsorpsi karena penambahan massa adsorben tidak selalu linear dengan peningkatan kapasitas adsorpsi (Anggriani, 2021).

2. Parameter Waktu kontak

Optimasi waktu kontak dalam penelitian ini berfungsi untuk mengidentifikasi penyerapan ion logam Cu(II) oleh arang aktif umbi porang. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas dan efisiensi adsorpsi dari arang aktif umbi porang dapat diketahui melalui pengujian ini. Beberapa variasi waktu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 15, 30, 60, 90, dan 120 menit. Adsorpsi pada masing-masing waktu kontak dilakukan dalam air lindi yang mengandung logam Cu(II) dengan konsentrasi 9,24 mg/L sebanyak 20 mL dengan massa adsorben 1,0 gram. Massa adsorben yang digunakan adalah 1,0 gram karena massa optimum dengan hasil adsorpsi terbaik pada parameter sebelumnya. Data dalam penelitian ini berupa hasil kapasitas dan efisiensi adsorpsi oleh arang aktif umbi porang seperti yang tercantum pada lampiran **Tabel L.2**. Efisiensi adsorpsi yang dipengaruhi oleh waktu kontak tersaji dalam **Gambar 4.5**



Gambar 4.5 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Adsorpsi

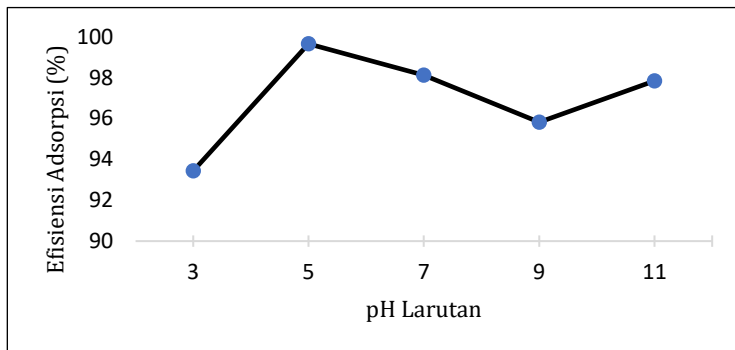
Waktu kontak 60 menit atau 1 jam adalah keadaan optimal suatu ion logam Cu(II) dalam air lindi dapat terserap oleh arang aktif umbi porang. Adsorpsi pada waktu kontak optimum 60 menit berkapasitas adsorpsi sebesar 9,13 mg/g dengan efisiensinya mencapai 98,80%. Efisiensi adsorpsi paling rendah yaitu pada waktu kontak 15 menit yakni hanya sebesar 66,01%. Hal tersebut disebabkan karena permukaan adsorben kemungkinan belum dapat menangkap dan menyerap logam Cu(II) secara sempurna dan maksimal. Waktu kontak yang melebihi waktu optimum atau melebihi keadaan setimbang menyebabkan adsorbat terlepas dari permukaan sehingga peristiwa ini disebut desorpsi. Adsorpsi pada waktu kontak setelah waktu setimbang yaitu 120 menit mengalami penurunan karena permukaan

adsorben tidak mampu lagi menyerap secara maksimal dan sisi aktif adsorben mulai mengalami titik jenuh sehingga menyebabkan adsorpsi menjadi lambat. Peristiwa ini juga dapat diakibatkan adanya sifat persaingan sisi adsorben yang aktif antar logam Cu yang telah memenuhi ruang adsorben (Anggraini, 2023).

3. Parameter pH larutan

Adsorpsi menggunakan parameter pH larutan dilakukan untuk mengidentifikasi pH optimum ketika menyerap ion logam Cu(II) oleh arang aktif umbi porang. Tujuan dari uji adsorpsi ini adalah untuk mengetahui pengaruh pH larutan terhadap kapasitas adsorben umbi porang teraktivasi dan efektivitas adsorpsinya. Pengujian ini menggunakan variasi pH 3, 5, 7, 9, dan 11. Dalam air lindi 20 mL yang mengandung 9,24 mg/L Cu(II), adsorpsi setiap pH dilakukan selama dua jam.

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel **Lampiran L.3**, parameter pH larutan ini memberikan informasi tentang kapasitas dan efektivitas proses adsorpsi arang aktif menggunakan umbi porang. **Gambar 4.6** mengilustrasikan efisiensi adsorpsi memengaruhi hasil.



Gambar 4.6 Pengaruh pH Terhadap Efisiensi Adsorpsi

Hasil adsorpsi ke-5 pH terjadi hampir sempurna. Kelima pH tersebut menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda. Parameter penelitian variasi pH menunjukkan bahwa pH 5 adalah keadaan optimum ion logam Cu(II) dapat terserap oleh arang aktif umbi porang. Penyerapan ion logam Cu(II) pada pH 5 menghasilkan efisiensi adsorpsi mencapai 99,66% dan kapasitas adsorpsinya sebanyak 9,209 mg/g. Penyerapan ion logam Cu(II) yang paling rendah adalah pada pH 3 karena efisiensi adsorpsi masing-masing 93,44% yang hasilnya tidak lebih tinggi dari pH 5.

Variasi pH memiliki peran penting karena dapat membentuk perubahan spesi Cu^{2+} menjadi Cu^+ dan $\text{Cu}(\text{OH})_2$ pada pembentukan kompleks dari logam Cu. pH rendah (asam), ion Cu^{2+} lebih mudah untuk teradsorpsi

karena ion Cu^{2+} lebih stabil dan mudah berinteraksi dengan gugus hidroksil ($-\text{OH}$) yang terprotonasi. Di sisi lain, pada pH yang lebih tinggi (basa), ion Cu^{2+} lebih cenderung terhidrolisis membentuk kompleks Cu^+ dan $\text{Cu}(\text{OH})_2$, yang mengurangi efisiensi adsorpsi. Rentang pH 1 hingga pH 5 spesi yang terbentuk berupa ion Cu^{2+} sedangkan pada pH 6 hingga pH 9 terjadi perubahan spesi Cu^{2+} menjadi Cu^+ , pada pH 9 terjadi peralihan spesi menjadi Cu_2O , dan pada pH 10 hingga pH 11 terjadi peralihan spesi menjadi $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Hal ini sesuai dengan penelitian Fauziah Nurhammidin 2013 “Distribusi Konsentrasi Logam Berat (Cu Dan Cd) Pada Sedimen Sungai” yang menghasilkan pembentukan spesi ion Cu^{2+} terdapat pada rentang pH 1-5.

Pengujian adsorpsi dalam kondisi pH yang tinggi dapat memungkinkan terjadinya pengendapan. Pengendapan dalam pH tinggi mengakibatkan efisiensi adsorpsi berkurang. Ion logam $\text{Cu}(\text{II})$ bermuatan positif dan memiliki intensitas kelarutan yang tinggi ketika pH 5 dioptimalkan. Hal ini memungkinkan ion logam bereaksi dengan adsorben bermuatan negatif (Putri, 2021). Reaksi yang seharusnya terjadi adalah seperti yang terdapat pada pH optimum (pH 5) yaitu logam Cu lebih banyak membentuk Cu^{2+} . pH yang efisisensi adsorpsinya lebih

sedikit karena tingginya konsentrasi H^+ yang menyebabkan kation logam bersaing dengan H^+ untuk berinteraksi dengan sisi aktif adsorben (Chindikia, 2014).

Nilai logam Cu(II) yang terdapat di dalam air lindi pada penelitian ini cenderung berubah fluktuatif dan tidak signifikan. Nilai pH dalam air lindi menentukan tingkat ionisasi larutan karena permukaan arang lebih cocok untuk adsorpsi akibat ion logam menetralkan muatan negatif karbon. Besar muatan pada permukaan adsorben, spesiasi adsorbat, dan derajat ionisasi dapat ditentukan oleh adanya pH larutan dalam adsorpsi. Bentuk fisika dan kimia logam ataupun senyawa logam yang ada di perairan utamanya air lindi dapat dipengaruhi oleh adanya pH. Kelarutan dan konsentrasi spesies logam yang ada di air lindi dapat dikontrol oleh pH (Miswardi, 2023).

G. Penentuan Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi dalam penelitian ini digunakan untuk mengidentifikasi laju adsorpsi suatu adsorben terhadap adsorbat pada waktu yang telah ditentukan dan dapat memperkirakan kecepatan adsorbat mengalami perpindahan dari air lindi ke dalam arang aktif umbi porang. Kinetika adsorpsi dapat ditentukan dengan terciptanya kurva kinetik pseudo orde satu dan kurva kinetik pseudo orde dua, yang menyebabkan peningkatan R^2 atau nilai yang mendekati 1.

1. Kinetika Pseudo orde satu

Persamaan laju reaksi Langergen menurunkan model kinetika pseudo orde satu. Langergen memperkenalkan persamaan untuk adsorpsi cair-padat pertama kali pada 1898 berdasarkan kapasitas padatan. (Sun Ho, 2004). Persamaan pseudo orde satu dari Langergen dapat dilihat pada persamaan 4.2

Data dalam penelitian ini menghasilkan kinetika adsorpsi ion logam Cu(II) dengan arang aktif umbi porang yang dapat dilihat pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Data kinetika Pseudo Orde Satu

Waktu Kontak (menit)	Q_e ($Q_{t_{max}}$)	Q_t	$Q_e - Q_t$	Log $Q_e - Q_t$
15	0,182	0,122	0,06	-1,221
30	0,182	0,127	0,055	-1,239
60	0,182	0,182	0	0
90	0,182	0,147	0,035	-1,450
120	0,182	0,144	0,038	-1,420

Data pada **Tabel 4.2** menjelaskan bahwa Q_e diperoleh dari jumlah ion yang teradsorpsi pada waktu setimbang ($Q_{t_{max}}$), sedangkan Q_t diperoleh dari kapasitas adsorpsi pada waktu kontak (banyaknya ion yang teradsorpsi pada saat percobaan waktu kontak). Data kinetika di atas dapat dibentuk kurva persamaan linier antara t dengan $\log (Q_e -$

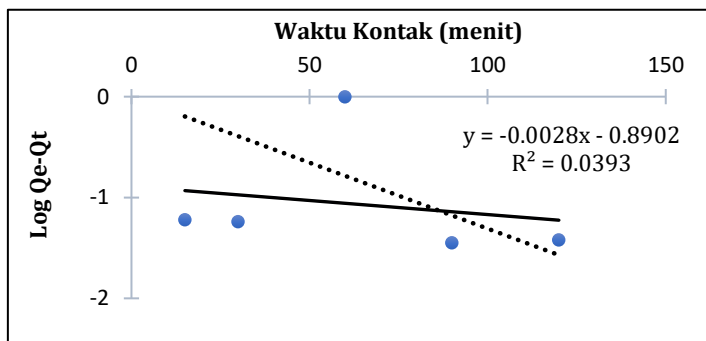
Qt) disesuaikan dengan persamaan umum kinetika pseudo orde satu. Persamaan tersebut berawal dari :

$$\frac{dx}{dt} = k_1 (Q_e - Q_t) \quad (4.2)$$

Kemudian disusun ulang ke bentuk yang linier dan diperoleh persamaan yang sering digunakan yaitu :

$$\log(qe - qt) = \log(qe) - \frac{k_1}{2,303} (t) \quad (4.3)$$

Log (Qe-Qt) = y, Log Qe = intersep, $-\frac{k_1}{2,303}$ = slope dan t = x. Kurva yang dibuat menggunakan perbandingan waktu kontak dengan Log (Qe-Qt) berdasarkan data kinetika di atas diinterpretasikan pada **Gambar 4.7**



Gambar 4.7 Model Kinetika Pseudo Orde Satu

Persamaan regresi linear yang diperoleh dalam kurva adalah $y = -0,0028x - 0,8902$ dengan nilai R^2 adalah 0,0393. Nilai K_1 yang diperoleh sebesar 0,0064 dan Q_e adalah 0,128 yang didapat dari hasil perhitungan dalam lampiran perhitungan kinetika pseudo orde satu. Karena

nilai R^2 yang sangat rendah (0,0393), yang dianggap tidak memuaskan, model kinetik pseudo orde satu tidak dapat dipenuhi.

2. Kinetika Pseudo orde dua

Sun Ho (1995) menetapkan, seperti diasumsikan dalam persamaan berikut, bahwa kapasitas adsorpsi sebanding dengan jumlah situs aktif pada adsorben.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(Qe - Qt)^2 \quad (4.4)$$

Dimana k_2 merupakan konstanta model pseudo orde dua yang kemudian diturunkan menjadi persamaan **4.5**.

Data yang digunakan untuk menginterpretasikan kinetika pseudo orde dua sebagai berikut.

Tabel 4.3 Data Kinetika Pseudo Orde Dua

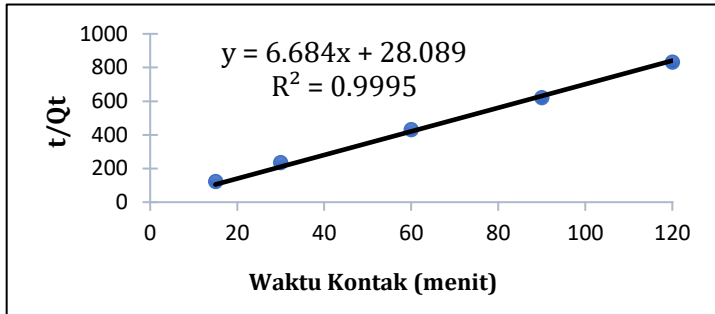
Waktu Kontak (menit)	Qt	t/Qt
15	0,122	122,9
30	0,127	236,2
60	0,182	430,8
90	0,147	622,6
120	0,144	833,4

Tabel 4.3 Data Qt berasal kapasitas adsorpsi pada waktu kontak (banyaknya ion yang teradsorpsi pada saat percobaan waktu kontak) kurva persamaan linier t dengan t/Qt. Korelasi tersebut di dapatkan dari persamaan di bawah ini :

$$\frac{t}{Qt} = \frac{1}{K_2 Q_e e^2} + \frac{1}{Q_e} (t) \quad (4.5)$$

Intersep dalam kurva adalah $1/K_2 Q_e e^2$ dan slopenya adalah $1/Q_e$ seperti yang diinterpretasikan ke dalam kurva pada

Gambar 4.8



Gambar 4.8 Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua

Persamaan yang muncul dari kurva ini adalah $y = 6,684x + 28,089$ dengan nilai K_2 adalah 1,5886, selain itu, perhitungan kinetika adsorpsi pseudo orde dua dalam lampiran menghasilkan nilai Q_e sebesar 0,1497. Adsorpsi pseudo orde dua memiliki fokus prinsip bahwa laju adsorpsi bergantung pada kapasitas adsorpsi bukan karena konsentrasi adsorbat. Hal ini dibuktikan pada pengujian sebelumnya ketika kemampuan gugus fungsi pada adsorben arang aktif umbi porang yang dapat menghasilkan tarikan kimiawi terhadap logam Cu(II) sebagai adsorbat.

Grafik dari pseudo orde dua lebih linier dari pseudo orde satu karena memiliki nilai R^2 sebesar 0,9995 sedangkan nilai R^2 pseudo orde satu adalah 0,0393. Nilai R^2 akan lebih baik jika mendekati 1 sehingga kinetika adsorpsi ini sesuai dengan kinetika pseudo orde dua. Pseudo orde dua membuktikan bahwa laju adsorpsi dari zat yang terlarut sebanding dengan sisi aktif adsorben dan kuadrat konsentrasi ion logam ($Q_e - Q_t$) (Fahim, 2021). Perbandingan pseudo orde satu dan pseudo orde dua dapat dilihat dalam **Tabel 4.3**.

Tabel 4.4 Kinetika Adsorpsi Cu(II) dengan Arang Aktif Umbi Porang

Pseudo orde satu			Pseudo orde dua		
Q_e (mg/g)	K_1 (min^{-1})	R^2	Q_e (mg/g)	K_2 (min^{-1})	R^2
0,128	0,0064	0,0393	0,1497	1,5886	0,9995

BAB V

SIMPULAN

A. Simpulan

Kesimpulan berikut dapat diambil berdasarkan hasil penelitian ini:

1. Hasil karakteristik adsorben umbi porang sebelum aktivasi terdapat beberapa gugus fungsi yaitu O-H, C-H, N-O, dan C-O yang masing-masingnya memiliki pita serapan yang regang dan tidak tajam. Sedangkan hasil karakteristik adsorben umbi porang setelah aktivasi memiliki gugus yang sama namun terdapat penyerapan dari β -glikosidik dengan ditandai adanya getaran C-H dan terdapat gugus tambahan yaitu C=C. Spektrum pita serapan yang dimiliki adsorben setelah aktivasi terlihat lebih tajam yang artinya memiliki gugus utama dari selulosa yang baik bagi adsorben. Pengujian karakteristik lanjutan menunjukkan hasil kadar abu pada penelitian ini sebesar 1,27%, kadar air sebesar 1,15%, kadar *volatile matter* sebesar 2,68% dan kadar karbon terikat sebesar 94,9%. Keempat pengujian memperoleh hasil yang bagus karena sesuai dengan standar SNI No. 06-3730-1995 yang masing-masingnya adalah 10% untuk maksimum kadar abu, 15%

untuk maksimum kadar air, 25% kadar maksimum *Volatile matter* dan kadar minimal karbon terikat adalah 65%.

2. Adsorpsi terbaik terletak pada adsorben dengan massa 1 gr, waktu 60 menit, dan pH 5 yaitu dengan kapasitas adsorpsi sebesar 9,209 mg/L dengan efisiensi adsorpsi sebesar 99,66%.
3. Kinetika adsorpsi pada arang aktif umbi porang yang diaktivasi KOH mengikuti pseudo orde dua dengan nilai $R^2 = 0,9995$.

B. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penelitian adsorben dengan bagian porang yang lain untuk membandingkan kapasitas adsorpsi.
2. Perlu dilakukan penelitian adsorben berbahan dasar umbi porang dengan aktivator berbeda dan dibandingkan beberapa ujinya dengan aktivator KOH.
3. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai variasi konsentrasi air lindi yang diadsorpsi oleh adsorben umbi porang.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, S. 2017. *Uji kemampuan adsorpsi pada efluen instalasi pengolahan air limbah (IPAL) industri pertambangan iodium di kab. Jombang menggunakan arang batok kelapa*. Skripsi. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November.
- Ambia, D. 2021. *Pemanfaatan fly ash batubara sebagai adsorben pada penyerapan polutan di pengolahan air lindi TPA Balng Bintang Aceh besar*. Tesis. Banda Aceh : Program Studi Teknik Lingkungan. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
- Anggriani, U., Hasan A., & Purnamasari, I. 2021. Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) Dan Timbal (Pb). *Jurnal Kinetika Kimia*. 12(2) : 29-39.
- Ariyadi, & Shi, M. H. 2018. Al-Qur'an Views Relating to Environmental Conservation. *Jurnal Daun*. 5(1): 1-9.
- Aturroifah. 2022. *Pengaruh konsentrasi aktivator KOH pada karbon aktif umbi singkong terhadap mikrostruktur dan performa elektrokimia lapisan elektroda*. Tesis. Malang : Universitas Negeri Malang
- Chindikia, I., Oktavia, B., & Putra, A. 2024. Pengaruh Variasi pH dan Waktu Kontak pada Adsorpsi Ion Fe^{3+} Menggunakan Adsorben Silika Gel Sulfonat. *Jurnal Kimia*. 13(1).
- Erlina., Umiatin., & Budi E. 2015. Pengaruh Konsentrasi Larutan KOH Pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa untuk Adsorpsi Logam Cu. *Jurnal Prosiding Seminar Nasional Fisika*, 4(55). Universitas Negeri Jakarta.
- Fahim, I., Badawi, K., & Emam, H. 2021. *Studi Kinetika Isoterm dan Termodinamika untuk Adsorpsi Efisien Pewarna Merah Kongo dari Larutan Air ke Adsorben Kitosan Baru yang Dimodifikasi Sianoguanidin*. Diunduh di <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8703421/> tanggal 5 Agustus 2024

- Faisal, & Pato, U. 2021. Studi Konsentrasi Kalium Hidroksida (KOH) Terhadap Kualitas Karbon Aktif Tempurung Kluwak. *Jurnal Pertanian*. 8(2): 1-13. Fakultas Pertanian Universitas Riau.
- Faza, N. 2021. *Adsorpsi Logam Cd (II) Menggunakan Adsorben Arang Aktif Dari Kulit Buah Matoa Teraktivasi Asam Nitrat*. Skripsi. Semarang: Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
- Firmansyah, D. 2020. Identifikasi Gugus Hidroksil dan Karbonil dalam Senyawa Organik pada Tanaman Daun Nanas. *Jurnal Inovasi Sains dan Teknologi*. 3(1): 49-53.
- Khoiriyah, H. 2021. Analisis Kesadaran Masyarakat Akan Kesehatan terhadap Upaya Pengelolaan Sampah di Desa Tegorejo Kecamatan Pegandon Kabupaten Kendal. *Indonesian Journal of Conservation*, 10(1): 13-20.
- Larasati, A., Susanawati, L., & Suharto. 2016. *Efisiensi Adsorpsi Logam Berat pada Air Lindi Menggunakan Media Karbon Aktif, Zeolit, dan Silika Gel di TPA Tlekung, Batu*. Tesis. Malang : Universitas Brawijaya.
- Lestari, PR., TAB, H., Gazali., & Bahri. 2017. Analisis Pesebaran Air Lindi dan Karakterisasi Bawah Permukaan Area Alih Fungsi Lahan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sukolilo- Surabaya Sebagai Pertimbangan Pembangunan. *Jurnal Risenologi KPM UNJ* 2(1). Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Mahardika, D. I., & Salami, I. R. S. S. 2012. Profil Distribusi Pencemaran Logam Berat Pada Air dan Sedimen Aliran Sungai dari Air Lindi TPA Sari Mukti. *Jurnal Tehnik Lingkungan*. 18(1): 30-42.
- Martini, S., Yuliwati, D., Martini, S., Yuliwati, E., & Kharismadewi, D. (2020). Pembuatan Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri. *Jurnal Distilasi*. 5(2): 26-33.
- Masniawati, A., Johannes, E., & Magfira. 2023. Analisis Glukomanan Umbi Porang (*Amorphophallus Muelleri* Blume) dari Beberapa Daerah di Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu Alam dan*

- Lingkungan*. 14(2): 1-10. Departemen Biologi FMIPA Universitas Hasanuddin Makassar.
- Miswardi. 2023. *Pemanfaatan Arang Bambu Aktif Sebagai Adsorben dalam Pengolahan Air Lindi*. Skripsi. Banda Aceh: Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
- Mumtahanah, M., & Novi Primiani, C. 2017. *Pengolahan Limbah Lindi Tpa Kota Madiun Melalui Kombinasi Metode Filtrasi dan Fitoremediasi Sistem Lahan Basah Buatan Menggunakan Tumbuhan Bambu Air*. Prosiding SNST ke-8 Tahun 2017 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Musriadi. 2014. *Akumulasi Logam Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) Pada Karang Acropora Formosa Dan Acropora Hyacinthus di Pulau Samalona, Barranglombo dan Bonebatang*. Diunduh di <http://repository.unhas.ac.id/handle/123456789/8957> tanggal 15 Agustus 2024
- Nuriadi, Napitulu, M., & Rahman, N., 2013. Analisis Logam Tembaga (Cu) pada Buangan Limbah Tromol (Tailing) Pertambangan Poboya. *Jurnal Akademika Kimia*. 2(2) : 90-96. Universitas Tadulako Palu.
- Nusa, I., & Hartaja, D. 2015. Pengolahan Air Lindi Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob Dan Denitrifikasi. *Jurnal Air Indonesia*. 8(1).
- Pratana, TR. 2022. . *Bahan, Metode, dan Kualitas Fisikokimia Crackers Berbahan Baku Umbi-umbian*. Diunduh di <https://repository.unika.ac.id/29947/5/17.I1.0069-TARCISIUS%20RISANG%20PRATANA BAB%20IV a.pdf> tanggal 31 Juli 2024.
- Putri, L. 2021. *Pemanfaatan Selulosa Dari Koran Bekas Teraktivasi KOH Sebagai Adsorben Ion Logam Cu(II)*. Skripsi. Semarang : Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
- Sa'diyah, K., & Lusiani, C. 2022. Kualitas Karbon Aktif Kulit Pisang Kepok Menggunakan Aktivator Kimia dengan Variasi

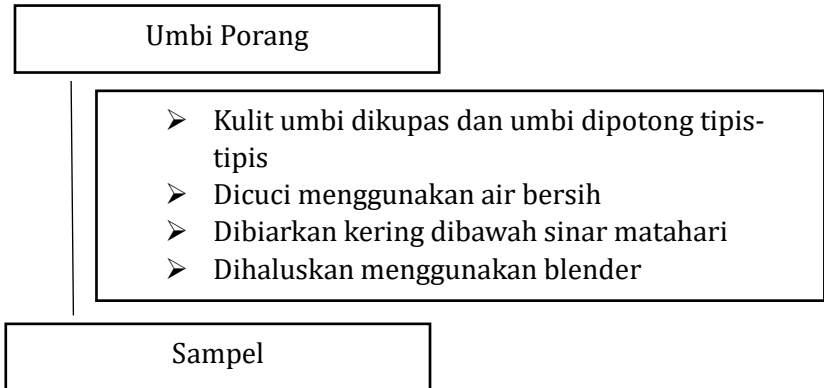
- Konsentrasi dan Waktu Aktivasi. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*. 6(1). Politeknik Negeri Malang.
- Sari dan Suhartati, R., Sari, R., Suhartati. 2015. Tumbuhan Porang: Prospek Dibudidayakan Sebagai Tumbuhan Porang: Prospek Budidaya Sebagai Salah Satu Sistem Agroforestry. *Jurnal Kehutanan*. 12(1): 97-110.
- Sahraeni, S., Syahrir, I., & Bagus. 2019. *Aktivasi Kimia Menggunakan NaCl pada Pembutan Karbon Aktif dari Tanah Gambut*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat. Hal 145-150.
- Saputri, A. 2020. Kapasitas Adsorpsi Serbuk Nata De Coco (Bacterial Sellulose) Terhadap Ion Pb^{2+} Menggunakan Metode Batch. *Jurnal Kimia*. 14(1): 71-76. Akademi Analisis Farmasi dan Makanan Sunan Giri Ponorogo
- Sembiring, C., Husnah, M., & Sirait, R. 2023. Preparasi Karbon Aktif Limbah Kulit Ubi Kayu Menggunakan Aktivasi NaOH Berbantuan Gelombang Mikro. *Jurnal Fisika*. 8(3): 33-38.
- Suhartati, T. 2017. Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-VIS dan Spektrometri Massa Untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik. Bandar Lampung : Anugrah Utama Raharja.
- Suhas., dkk. 2016. Selulosa: Tinjauan Sebagai Adsorben Karbon Alami, Termodifikasi dan Aktif. *Jurnal teknologi Sumber Daya Hayati*. 216(1).
- Sun Ho, Y., Ng, Y., dan Mc. Kay, G. 2004. Removal of Lead (II) From Effluents by Sorption on Peat using Second-Order Kinetics. *Separation Science Andtechnology. Chemistry Journal*. 36(2): 241-261.
- Suprabawati, A., Holiyah., & Jasmansyah. 2018. Kulit Singkong (Manihot esculenta Crantz) Sebagai Karbon Aktif dengan Berbagai Langkah Pembuatan untuk Adsorpsi Ion Logam Timbal (Pb^{2+}) dalam Air. *Jurnal Kartika Kimia*. (1)1: 21-28.
- Syauqiah, I., Amalia, M., & Kartini. 2011. Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengaduk pada Proses Adsorpsi Limbah Logam

- Berat dengan Arang Aktif. *Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik*. 12(1).
- Tasanif, R., Isa, I., & Rewini Kunusa, W. 2020. Potensi Ampas Tebu Sebagai Adsorben Logam Berat Cd, Cu dan Cr. *Jamb.J.Chem.* 2(1), 33-43.
- Verawati, B., Yanto, N., & Widawati. 2021. *Pembuatan dan Uji Mutu Tepung Porang*. Laporan Penelitian. Riau: Universitas Pahlawan Tuanku Tambusai.
- Yulianti Dwi Lestari, A., Fachmi Kurniawan, M., & Ferdini Siregar, M. 2016. Pati Umbi Suweg Termodifikasi Sebagai Biosorben Penyerap Ion Timbal. *Jurnal Teknoin*. 22 (7): 468-475. Jurusan Teknik Kimia. Universitas Islam Indonesia.
- Yulyani Wardi, R. 2016. Analisis Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) Pada Tanaman Kangkung Darat (*Ipomoea Reptans Poir*). *Jurnal Dinamika*. 7(2): 1-8.
- Zulfania, F., Fathoni, & Moh Nur, A. 2022. Kemampuan Adsorpsi Logam Berat Zn dengan Menggunakan Adsorben Kulit Jagung (*Zea Mays*) Adsorbability Of Zn Heavy Metals By Using Corn Skin Adsorbent (*Zea Mays*). *Jurnal Chemurgy*. (2): 65-69.

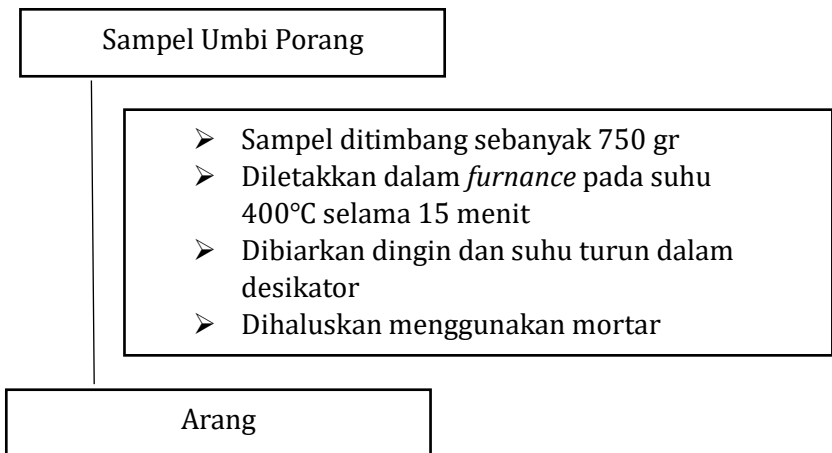
LAMPIRAN

Lampiran 1: Diagram Alir Penelitian

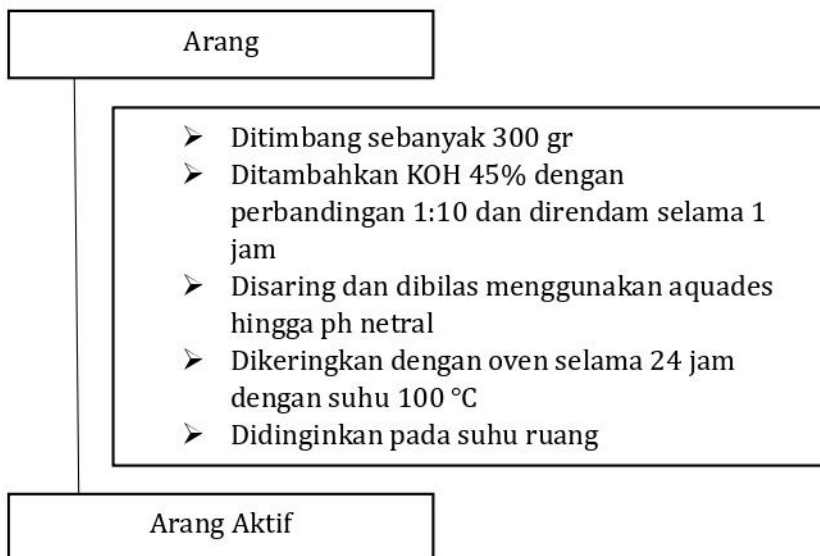
a. Preparasi sampel umbi porang



b. Tahap Karbonasi

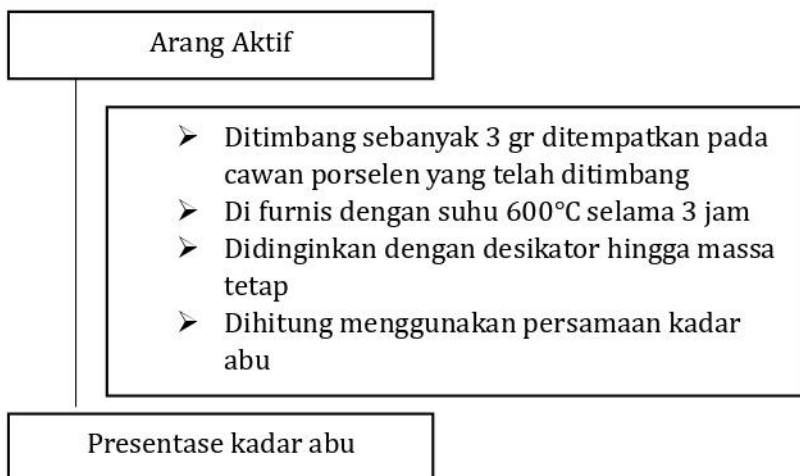


c. Tahap Aktivasi



d. Parameter pengujian arang aktif

• Kadar Abu



- **Kadar air**

Arang Aktif

- Ditimbang sebanyak 3 gr ditempatkan pada cawan porselen yang telah ditimbang
- Dikeringkan dalam oven dengan suhu 100°C selama 90 menit sampai kering lalu diletakkan di dalam desikator hingga massa tetap

Presentase kadar air

- **Kadar *Volatile Matter***

Arang Aktif

- Ditimbang sebanyak 3 gr ditempatkan pada cawan porselen yang telah ditimbang
- Dimasukkan kedalam *furnace* dengan suhu 800°C selama 7 menit
- Setelah suhu tercapai dibiarkan dingin dalam *furnnce*
- Dimasukkan kedalam desikator selama 15 menit
- Dihitung dengan persamaan *volatile matter*

Presentase kadar volatile matter

- **Karbon terikat**

Arang Aktif

- Hasil pengurangan zat *volatile matter*, kadar abu dan kadar air

Presentase kadar karbon murni

d. Preparasi pengambilan limbah

Air Lindi

- Diambil sebanyak 3 L pada lokasi air lindi terbuka
- Diletakkan di dalam jerigen plastik dan diberi label

Kadar Cu(II) dalam air lindi sebelum adsorpsi

e. Penentuan Waktu optimum

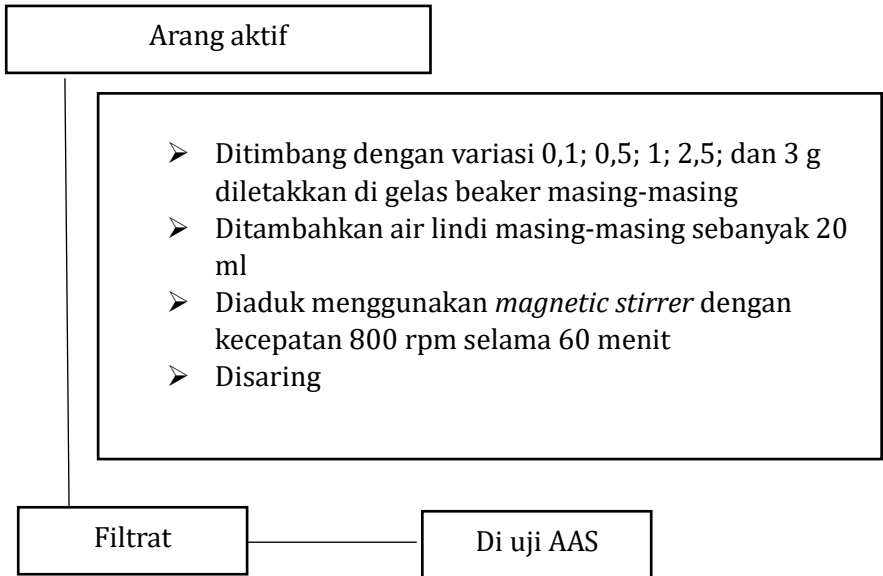
Arang aktif

- Ditimbang 1 gr diletakkan di gelas beaker masing-masing
- Ditambahkan air lindi masing-masing sebanyak 20 ml
- Diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 800 rpm dengan variasi waktu 15, 30, 60, 90, dan 120 menit.
- Disaring

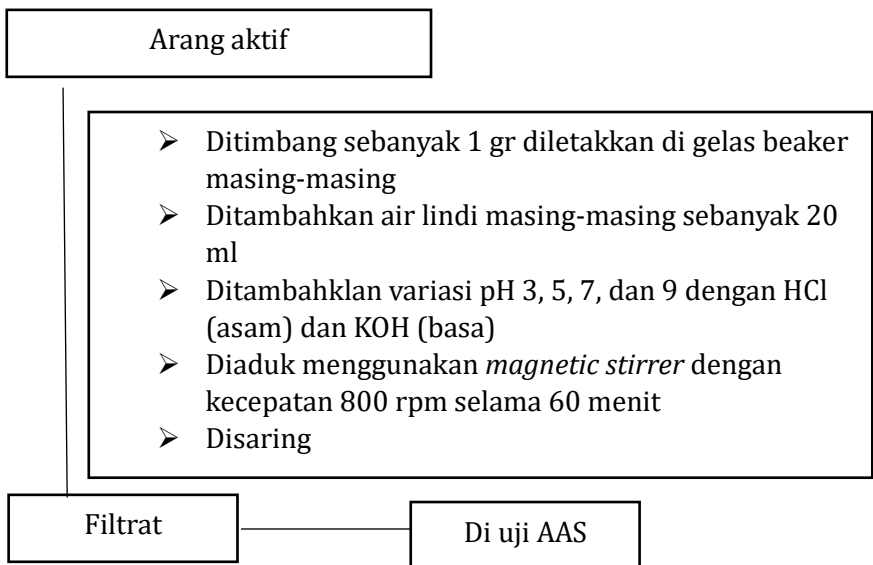
Filtrat

Di uji AAS

f. Penentuan Massa Optimum



g. Penentuan pH optimum



Lampiran 2 : Data Penelitian

a. Data Massa Optimum

Tabel L.1. Data Massa Optimum

Massa adsorben (g)	Waktu (menit)	Volume Larutan (ml)	C ₁ (mg/L)	C ₂ (mg/L)	Q _e	%R
0,1	60	20	9,24	8,64	0,60	6,49%
0,5	60	20	9,24	1,800	7,44	80,51%
1,0	60	20	9,24	0,425	8,815	95,40%
2,5	60	20	9,24	1,173	8,067	87,30%
3,0	60	20	9,24	3,225	6,015	65,09%

b. Data Waktu Kontak Optimum

Tabel L.2. Data Waktu Kontak Optimum

Massa adsorben (g)	Waktu Kontak (menit)	Volume Larutan (ml)	C ₁ (mg/L)	C ₂ (mg/L)	Q _e	%R
1	15	20	9,24	3,140	6,1	66,01%
1	30	20	9,24	2,886	6,354	68,76%
1	60	20	9,24	0,110	9,13	98,80%
1	90	20	9,24	1,889	7,351	79,55%
1	120	20	9,24	1,999	7,241	78,36%

c. Data pH Optimum Larutan

Tabel L.3. Data pH Optimum Larutan

pH	Massa adsorben (g)	Waktu (menit)	Volume Larutan (ml)	C ₁ (mg/L)	C ₂ (mg/L)	Q _e	%R
3	1	60	20	9,24	0,606	8,634	93,44%
5	1	60	20	9,24	0,031	9,209	99,66%
7	1	60	20	9,24	0,172	9,068	98,13%
9	1	60	20	9,24	0,386	8,854	95,82%
11	1	60	20	9,24	0,199	9,041	97,84%

d. Data Kinetika Adsorpsi

Tabel L.4. Data Kinetika Adsorpsi

Pseudo orde Satu			Pseudo orde dua		
Q _e (mg/g)	K ₁ (min ⁻¹)	R ²	Q _e (mg/g)	K ₂ (min ⁻¹)	R ²
0,127	0,0062	0,038	0,1497	1,5886	0,9995

Lampiran 3 : Analisis Data

A. Pembuatan larutan

1. Larutan induk Cu(II) 1000 ppm

Larutan Cu(II) dibuat dari padatan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Diketahui : Ar Cu = 63,5 gr/mol, Mr $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ = 249,5
gr/mol

➤ Larutan induk 1000 ppm = 1000 mg/L = 1 gr/L

➤ $\text{Mol Cu}^{2+} = \frac{gr}{Mr} = \frac{0,1 \text{ gr}}{63,5 \text{ gr/mol}} = 0,001575 \text{ mol}$

➤ Massa $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang digunakan dihitung dengan :

$$\begin{aligned}\text{Massa} &= \text{mol Cu}^{2+} \times \text{Mr CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \\ &= 0,001575 \text{ mol} \times 249,5 \text{ gr/mol} \\ &= 3,93 \text{ gr}\end{aligned}$$

2. Pengenceran larutan

Rumus :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

Keterangan :

M_1 = Konsentrasi larutan induk (1000 mg/L)

V_1 = Volume larutan yang akan dipakai (mL)

M_2 = Konsentrasi yang dikehendaki (mg/L)

V_2 = Volume setelah diencerkan (mL)

➤ Larutan Cu(II) 10 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 10 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 1 \text{ mL}$$

- Larutan Cu(II) 20 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 20 \text{ ppm} \times 150 \text{ mL}$$

$$V_1 = 2 \text{ mL}$$

- Larutan Cu(II) 30 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 30 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 3 \text{ mL}$$

- Larutan Cu(II) 40 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 40 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 4 \text{ mL}$$

- Larutan Cu(II) 50 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 50 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

3. Larutan untuk Aktivasi

- Larutan KOH 45% = gr/mL

$$= 45 \text{ gr}/100\text{mL}$$

4. Larutan untuk Penentuan pH Larutan

- Larutan KOH 1M

$$\text{Rumus : } M = \frac{\frac{\text{gr}}{Mr}}{\text{Volume}}$$

$$1 = \frac{gr/56,11}{1L}$$

$$gr = 56,11 \times 1 \times 1$$

$$gr = 56,11 \text{ gram}$$

➤ Larutan HCl 1 M

$$\text{Rumus } M = \frac{gr/Mr}{Volume}$$

$$1 = \frac{gr/36,5}{1L}$$

$$gr = 36,5 \times 1 \times 1$$

$$gr = 36,5 \text{ gram}$$

B. Penghitungan pengujian arang aktif umbi porang

1. Perhitungan rendemen arang (Sebelum aktivasi)

$$\text{Rumus rendemen} = \frac{b}{a} \times 100\%$$

Keterangan :

a = sampel sebelum dikarbonasi (gr)

b = sampel setelah dikarbonasi (gr)

$$\begin{aligned} \text{Rendemen} &= \frac{597,639}{750} \times 100\% \\ &= 79,68\% \end{aligned}$$

2. Perhitungan rendemen arang (Setelah aktivasi)

$$\text{Rumus rendemen} = \frac{b}{a} \times 100\%$$

Keterangan :

a = sampel sebelum diaktivasi (gr)

b = sampel setelah diaktivasi (gr)

$$\begin{aligned} \text{Rendemen} &= \frac{327,46}{400} \times 100\% \\ &= 81,86\% \end{aligned}$$

3. Perhitungan kadar abu

$$\text{Rumus kadar abu} = \frac{w1-w2}{w} \times 100\%$$

Keterangan :

W = Cawan kosong (gr)

W1 = Cawan + sampel setelah pembakaran (gr)

W2 = Cawan + sebelum pembakaran (gr)

$$\begin{aligned}\text{Kadar abu} &= \frac{58,94-58,27}{53,03} \times 100\% \\ &= 1,27 \%\end{aligned}$$

4. Perhitungan kadar air

$$\text{Rumus kadar air} = \frac{w2-w3}{w2-w1} \times 100\%$$

Keterangan :

W1 = Cawan kosong (gr)

W2 = Cawan + sampel setelah pemanasan (gr)

W3 = Cawan + sebelum pemanasan (gr)

$$\begin{aligned}\text{Kadar air} &= \frac{62,19-62,13}{62,19-56,99} \times 100\% \\ &= \frac{0,06}{5,2} \times 100\% \\ &= 1,15 \%\end{aligned}$$

5. Perhitungan *Volatile Matter*

$$\text{Rumus } Volatil\ Matter = \frac{w2-w3}{w2-w1} \times 100\%$$

Keterangan :

W1 = Cawan kosong (gr)

W2 = Cawan + sampel setelah pemanasan (gr)

W3 = Cawan + sebelum pemanasan (gr)

$$\begin{aligned}\text{Kadar VM} &= \frac{59,14-58,98}{59,14-53,17} \times 100\% \\ &= \frac{0,16}{5,97} \times 100\% \\ &= 2,68 \%\end{aligned}$$

6. Perhitungan karbon terikat

Rumus karbon terikat = $100\% - (\%air - \%abu - \%volatil\ matter)$

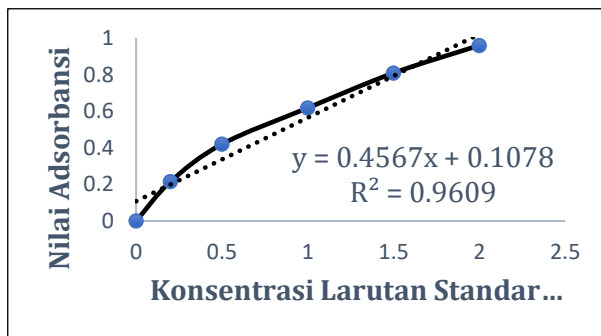
$$\begin{aligned} \text{Kadar karbon terikat} &= 100\% - (1,27\% + 1,15\% + 2,68\%) \\ &= 100\% - 5,1\% \\ &= 94,9\% \end{aligned}$$

C. Pembuatan Kurva Standar

Tabel L.5. Data Kurva Standar Cu(II)

Konsentrasi Larutan Standar Cu(II) (mg/L)	Nilai Adsorbansi
0	0
0,2	0.215
0,5	0.42
1,0	0.618
1,5	0.809
2,0	0.96

Data di atas dapat disajikan dalam bentuk kurva sebagai berikut :



Gambar L.1. Kurva Standar Cu(II)

C. Penghitungan Efisiensi Adsorpsi Cu(II)

$$\text{Rumus : \%R} = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

1. Massa Optimum

➤ Massa 0,1 gr

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\% \\ &= \frac{9,24 - 8,64}{9,24} \times 100\% \\ &= 6,49\%\end{aligned}$$

➤ Massa 0,5 gr

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\% \\ &= \frac{9,24 - 1,8}{9,24} \times 100\% \\ &= 80,51\%\end{aligned}$$

➤ Massa 1 gr

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\% \\ &= \frac{9,24 - 0,425}{9,24} \times 100\% \\ &= 95,40\%\end{aligned}$$

➤ Massa 2,5 gr

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\% \\ &= \frac{9,24 - 1,173}{9,24} \times 100\%\end{aligned}$$

$$= 87,30\%$$

➤ Massa 3 gr

$$\%R = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

$$= \frac{9,24 - 3,225}{9,24} \times 100\%$$

$$= 65,09\%$$

2. Waktu Kontak

➤ 15 menit

$$\%R = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

$$= \frac{9,24 - 3,140}{9,24} \times 100\%$$

$$= 66,01\%$$

➤ 30 menit

$$\%R = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

$$= \frac{9,24 - 2,886}{9,24} \times 100\%$$

$$= 68,76\%$$

➤ 60 menit

$$\%R = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

$$= \frac{9,24 - 0,110}{9,24} \times 100\%$$

$$= 98,80\%$$

➤ 90 menit

$$\%R = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

$$= \frac{9,24 - 1,889}{9,24} \times 100\%$$

$$= 79,55\%$$

➤ 120 menit

$$\%R = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

$$= \frac{9,24 - 1,999}{9,24} \times 100\%$$

$$= 78,36\%$$

3. pH larutan

➤ pH 3

$$\%R = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

$$= \frac{9,24 - 0,606}{9,24} \times 100\%$$

$$= 93,44\%$$

➤ pH 5

$$\%R = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

$$= \frac{9,24 - 0,031}{9,24} \times 100\%$$

$$= 99,66\%$$

➤ pH 7

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\% \\ &= \frac{9,24 - 0,172}{9,24} \times 100\% \\ &= 98,13\%\end{aligned}$$

➤ pH 9

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\% \\ &= \frac{9,24 - 0,386}{9,24} \times 100\% \\ &= 95,82\%\end{aligned}$$

➤ pH 11

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\% \\ &= \frac{9,24 - 0,199}{9,24} \times 100\% \\ &= 97,84\%\end{aligned}$$

D. Penghitungan kapasitas adsorpsi (Qe)

$$\text{Rumus : } Q_e = \frac{(C_1 - C_2)}{m} \times V$$

Keterangan :

C_1 = Konsentrasi mula-mula adsorbat (mg/L)

C_2 = Konsentrasi akhir adsorbat (mg/L)

m = Massa adsorben yang dibutuhkan (g)

V = Volume adsorbat (L)

1. Kapasitas adsorpsi massa optimum

- Massa 0,1 gr

$$Q_e = \frac{(9,24-8,64)ppm}{1\text{ gr}} \times 0,02\text{ L}$$

$$= 0,012\text{ mg/g}$$

- Massa 0,5 gr

$$Q_e = \frac{(9,24-1,800)ppm}{1\text{ gr}} \times 0,02\text{ L}$$

$$= 0,148\text{ mg/L}$$

- Massa 1 gr

$$Q_e = \frac{(9,24-0,425)ppm}{1\text{ gr}} \times 0,02\text{ L}$$

$$= 0,176\text{ mg/g}$$

- Massa 2,5 gr

$$Q_e = \frac{(9,24-1,173)ppm}{1\text{ gr}} \times 0,02\text{ L}$$

$$= 0,161\text{ mg/g}$$

- Massa 3 gr

$$Q_e = \frac{(9,24-3,225)}{1\text{ gr}} \times 0,02\text{ L}$$

$$= 0,120\text{ mg/g}$$

2. Kapasitas adsorpsi waktu kontak optimum

- 15 menit

$$Q_t = \frac{(9,24-3,140)ppm}{1\text{ gr}} \times 0,02\text{ L}$$

$$= 0,122 \text{ mg/g}$$

➤ 30 menit

$$Q_t = \frac{(9,24-2,886)ppm}{1 \text{ gr}} \times 0,02L$$

$$= 0,127 \text{ mg/g}$$

➤ 60 menit

$$Q_t = \frac{(9,24-0,110)ppm}{1 \text{ gr}} \times 0,02L$$

$$= 0,182 \text{ mg/g}$$

➤ 90 menit

$$Q_t = \frac{(9,24-1,889)ppm}{1 \text{ gr}} \times 0,02L$$

$$= 0,147 \text{ mg/g}$$

➤ 120 menit

$$Q_t = \frac{(9,24-1,999)}{1 \text{ gr}} \times 0,02L$$

$$= 1,44 \text{ mg/g}$$

3. Kapasitas adsorpsi pH larutan optimum

➤ pH 3

$$Q_e = \frac{(9,24-0,606)ppm}{1 \text{ gr}} \times 0,02 L$$

$$= 0,172 \text{ mg/g}$$

➤ pH 5

$$Q_e = \frac{(9,24-0,031)ppm}{1\text{ gr}} \times 0,02L$$

$$= 0,184 \text{ mg/g}$$

➤ pH 7

$$Q_e = \frac{(9,24-0,172)ppm}{1\text{ gr}} \times 0,02L$$

$$= 0,181 \text{ mg/g}$$

➤ pH 9

$$Q_e = \frac{(9,24-0,386)ppm}{1\text{ gr}} \times 0,02L$$

$$= 0,177 \text{ mg/g}$$

➤ pH 11

$$Q_e = \frac{(9,24-0,199)}{1\text{ gr}} \times 0,02L$$

$$= 1,80 \text{ mg/g}$$

E. Penghitungan Kinetika Adsorpsi

1. Pseudo Orde Satu

Data yang digunakan untuk menghitung kinetika pseudo orde satu dari Langergen atau kinetika tertera pada **Tabel L.6**.

Tabel L.6. Perhitungan kinetika adsorpsi pseudo orde satu

Waktu Kontak (menit)	Qe (Qt _{max})	Qt	Qe-Qt	Log Qe-Qt
15	0,182	0,122	0,06	-1,221
30	0,182	0,127	0,055	-1,239
60	0,182	0,182	0	0
90	0,182	0,147	0,035	-1,450
120	0,182	0,144	0,038	-1,420

Berdasarkan tabel di atas pseudo orde satu menghasilkan kurva persamaan linier kapasitas adsorpsi yaitu $y = -0.0028x - 0.8902$ dengan nilai R^2 adalah 0,0393. Nilai K_1 dan Q_e diperoleh dari hasil perhitungan berikut :

$$y = ax + b$$

$$y = -0,0028x - 0,8902$$

Persamaan :

$$\log (Q_e - Q_t) = -\frac{K}{2,303} (t) + \log Q_e$$

$$-\frac{K_1}{2,303} = -0,0028$$

$$K_1 = 0,0064$$

$$\log Q_e = b$$

$$Q_e = 10^b$$

$$= 10^{-0,8902}$$

$$= 0,128$$

2. Pseudo orde dua

Data untuk mengetahui model perhitungan kinetika pseudo orde dua pada penelitian ini tertera pada table berikut :

Tabel L.7. Data Perhitungan Kinetika Pseudo Orde Dua

Waktu Kontak (menit)	Qt	t/Qt
15	0,122	122,9
30	0,127	236,2
60	0,182	430,8
90	0,147	622,6
120	0,144	833,4

Kurva persamaan pseudo orde dua menghasilkan adalah $y = 6,684x + 28,089$ dengan nilai K_2 adalah 1,5886 dan nilai Q_e sebesar 0,1497 melalui penghitungan berikut :

$$y = ax + b$$

$$y = 6,684x + 28,089$$

Persamaan :

$$\frac{t}{Qt} = \frac{1}{K_2 Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} (t)$$

$$\frac{1}{Qe} = \alpha$$

$$\frac{1}{\alpha} = Qe$$

$$\frac{1}{6,684} = Qe$$

$$Qe = 0,1497$$

$$\frac{1}{K_2 Q e^2} = b$$

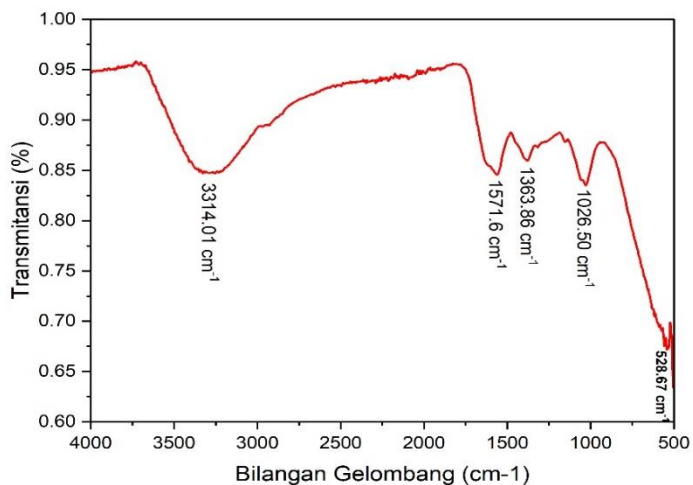
$$\frac{1}{K_2 (0,1497)^2} = 28,089$$

$$K_2 = 1,5886$$

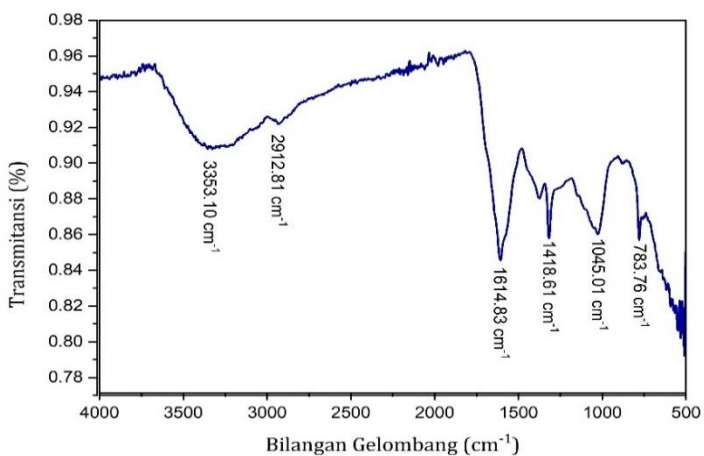
Lampiran 4 : Hasil Pengujian dan Karakterisasi

A. Hasil Karakterisasi FTIR

1. Arang sebelum aktivasi



2. Arang setelah aktivasi



B. Hasil Pengujian Logam Cu pada Air Lindi sebum Adsorpsi



LAPORAN HASIL PENGUJIAN

No. Contoh Uji : 20240702009
Jenis Contoh Uji : Air Limbah
Keterangan Contoh Uji : Contoh uji diambil oleh Nn Neysya Dalam kemasan Botol Plastik
Prosedur Pengambilan Contoh Uji : -
Titik Pengambilan Contoh Uji : Outlet IPAL
Titik Koordinat : South : - , East : -
Tgl/Jam Pengambilan Contoh Uji : 01 Juli 2024 18.00 WIB
Tanggal Pengujian Contoh Uji : 03 Juli 2024 - 09 Juli 2024
Baku Mutu : -

No.	Parameter Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian	Nilai Ambang Batas	Metode
KIMIA					
1.	Air Raksa (Hg) Total	mg / L	< 0.0002	-	CT-LKM/IK/TEK/02/35
2.	Tembaga (Cu) Total	mg / L	9.24	-	SNI 6989.84.2019

Keterangan : -

Suhu Udara : °C

Parameter cetak tebal diakreditasi oleh : LP - 748 - IDN
KAN Nomor

Semarang, 11 Juli 2024
Penanggung Jawab Teknis



Sudarwin, ST, M.Kes

*Hal 2 dari 2

C. Hasil karakterisasi AAS

1. Variasi Massa Optimum

SampleID	Analyte	Mean
Blanko	Cu 324.75	
Calib Std 1	Cu 324.75	[0.2] mg/L
Calib Std 2	Cu 324.75	[0.5] mg/L
Calib Std 3	Cu 324.75	[1] mg/L
Calib Std 4	Cu 324.75	[1.5] mg/L
Calib Std 5	Cu 324.75	[2] mg/L
Calib Std 6	Cu 324.75	[3] mg/L
Calib Std 7	Cu 324.75	[4] mg/L
Calib Std 8	Cu 324.75	[5] mg/L
0,1 gr	Cu 324.75	8.64 mg/L
0,5 gr	Cu 324.75	1.800 mg/L
1 gr	Cu 324.75	0.425 mg/L
2,5 gr	Cu 324.75	1.173 mg/L
3 gr	Cu 324.75	3.225 mg/L

2. Variasi Waktu Kontak Optimum

SampleID	Analyte	Mean
Blanko	Cu 324.75	
Calib Std 1	Cu 324.75	[0.2] mg/L
Calib Std 2	Cu 324.75	[0.5] mg/L
Calib Std 3	Cu 324.75	[1] mg/L
Calib Std 4	Cu 324.75	[1.5] mg/L
Calib Std 5	Cu 324.75	[2] mg/L
Calib Std 6	Cu 324.75	[3] mg/L
Calib Std 7	Cu 324.75	[4] mg/L
Calib Std 8	Cu 324.75	[5] mg/L
15 menit	Cu 324.75	0,122 mg/L
30 menit	Cu 324.75	2,886 mg/L
60 menit	Cu 324.75	0,110 mg/L
90 menit	Cu 324.75	1,889 mg/L
120 menit	Cu 324.75	1,999 mg/L

3. Variasi pH Optimum Larutan



Operator Name: MUCHIS

Results File: C:\Users\AAS SAINTEX UIN\Downloads\Uji Cu Neysha1972024 2.SLR

Report Date: 19/07/2024 14:29:09

General Parameters

Operator : MUCHIS

Instrument Mode: Flame

Method : Uji Cu 17052024

Autosampler : None

Dilution: None

Use SFI: No

Analysis Details

Analysis Name: Analysis 1 19/07/2024

Spectrometer: ICE 3000 AA65194702 v1.30

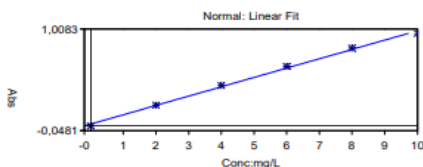
Operator Name: MUCHIS

Solution Results - Cu

Y = 0,09688x + 0,0192

R²: 0,9972

Characteristic Conc: 0,0454



Sample ID	Signal	Red %	Conc mg/L	Corrected Conc mg/L
Cu Blank	-0,000	>99	0,0000	
	0,000			19/07/2024 14:06:20
	-0,000			19/07/2024 14:06:24
Cu Standard 1	-0,001			19/07/2024 14:06:29
	0,215	0,9	2,0000	
	0,213			19/07/2024 14:24:04
Cu Standard 2	0,215			19/07/2024 14:24:08
	0,216			19/07/2024 14:24:12
Cu Standard 3	0,420	0,5	4,0000	
	0,418			19/07/2024 14:26:13
	0,420			19/07/2024 14:26:18
Cu Standard 4	0,422			19/07/2024 14:26:22
	0,618	0,3	6,0000	
	0,619			19/07/2024 14:28:13
Cu Standard 5	0,618			19/07/2024 14:28:17
	0,615			19/07/2024 14:28:21
Cu Standard 6	0,809	0,5	8,0000	
	0,805			19/07/2024 14:14:59
	0,812			19/07/2024 14:15:03
Cu Standard 7	0,810			19/07/2024 14:15:07
	0,960	0,2	10,0000	
	0,962			19/07/2024 14:15:39
Cu pH 3 A	0,958			19/07/2024 14:15:43
	0,960			19/07/2024 14:15:47
Cu pH 3 B	0,077	0,6	0,6013	0,6013
	0,078			19/07/2024 14:16:17
	0,077			19/07/2024 14:16:21
Cu pH 3 C	0,078			19/07/2024 14:16:25
	0,078	0,9	0,6124	0,6124
	0,078			19/07/2024 14:17:01
Cu pH 3 D	0,079			19/07/2024 14:17:06
	0,079			19/07/2024 14:17:10

SOLAAR AA Report

Operator Name: MUCHIS

Report Date: 19/07/2024 14:29:09

Results File: C:\Users\IAS SAINTK\UIN\Downloads\Uji Cu Neysha1972024 2.SLR

Solution Results - Cu

Sample ID	Signal Abs	Rsd %	Conc mg/L	Corrected Conc mg/L
Cu pH 5 A	0,016	1,9	0,0317	0,0317
1	0,016	Background: 0,003		19/07/2024 14:17:48
2	0,016	Background: 0,003		19/07/2024 14:17:52
3	0,016	Background: 0,003		19/07/2024 14:17:56
Cu pH 5 B	0,016	0,4	0,0308	0,0308
1	0,016	Background: 0,002		19/07/2024 14:18:28
2	0,016	Background: 0,003		19/07/2024 14:18:32
3	0,016	Background: 0,003		19/07/2024 14:18:36
Cu pH 7 A	0,035	0,3	0,1685	0,1685
1	0,036	Background: 0,003		19/07/2024 14:19:05
2	0,036	Background: 0,003		19/07/2024 14:19:09
3	0,035	Background: 0,003		19/07/2024 14:19:14
Cu pH 7 B	0,036	0,4	0,1759	0,1759
1	0,036	Background: 0,002		19/07/2024 14:19:47
2	0,036	Background: 0,003		19/07/2024 14:19:51
3	0,036	Background: 0,003		19/07/2024 14:19:55
Cu pH 9 A	0,057	0,3	0,3889	0,3889
1	0,057	Background: 0,003		19/07/2024 14:20:25
2	0,057	Background: 0,003		19/07/2024 14:20:29
3	0,057	Background: 0,003		19/07/2024 14:20:33
Cu pH 9 B	0,056	0,6	0,3844	0,3844
1	0,056	Background: 0,003		19/07/2024 14:21:05
2	0,056	Background: 0,003		19/07/2024 14:21:09
3	0,057	Background: 0,003		19/07/2024 14:21:14
Cu pH 11 A	0,039	0,5	0,2009	0,2009
1	0,039	Background: 0,003		19/07/2024 14:21:45
2	0,039	Background: 0,003		19/07/2024 14:21:49
3	0,038	Background: 0,003		19/07/2024 14:21:54
Cu pH 11 B	0,038	1,4	0,1979	0,1979
1	0,039	Background: 0,003		19/07/2024 14:22:29
2	0,038	Background: 0,003		19/07/2024 14:22:33
3	0,038	Background: 0,003		19/07/2024 14:22:37

Lampiran 5 : Dokumentasi Penelitian

A. Preparasi

 Umbo Porang yang sudah diiris tipis-tipis dan dicuci	 Umbo Porang yang telah dikeringkan
 Umbo porang dihaluskan dengan blender	 Umbo porang setelah dihaluskan

B. Karbonasi

 Umbo Porang di furnace dalam suhu 400 °C selama 10 menit	 Umbo Porang setelah menjadi arang
--	---



Arang dihaluskan untuk mempermudah pengayakan



Arang yang sudah diayak dengan ayakan 100 mesh

C. Aktivasi

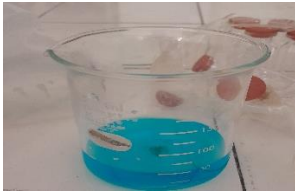


Penambahan KOH 45% dan direndam selama 1 jam



Arang disaring dan dibilas menggunakan akuades sampai pH netral kemudian dioven suhu 250°C selama 5 jam

D. Pembuatan Larutan induk dan standar



Larutan induk dari 3,93 gr $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang dilarutkan dengan akuades dan dimasukkan ke labu ukur 1000 mL



Pembuatan kurva standar 0,2; 0,4; 0,8; 1,0; dan 2,0 ppm

E. Adsorpsi

1. Massa Optimum



Diambil air lindi sebanyak 20 mL



Arang ditimbang dengan variasi 0,1; 0,5; 1; 2,5; dan 3 gr pada masing-masing gelas beaker



Masing-masing disaring dengan kertas saring



Masing-masing diuji AAS dengan Panjang gelombang 324,75 nm

2. Waktu Kontak Optimum



Air lindi yang dibutuhkan sebanyak 20 mL



Arang 1gr dimasukkan kedalam air lindi kemudian di stirrer 800 rpm dan divariasikan waktunya selama 15, 30, 60, 90, dan 120 menit masing-masing.



Setelah distrirer disaring
dengan kertas saring

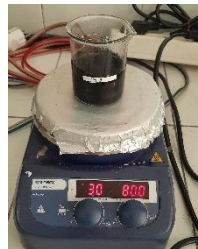


Diuji AAS dengan Panjang
gelombang 324,75 nm

3. pH Optimum Larutan



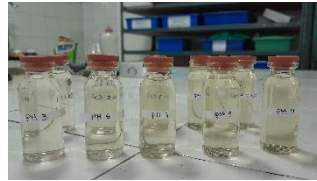
Air lindi yang dibutuhkan
sebanyak 20 mL



Arang 1gr dimasukkan
kedalam air lindi kemudian
di stirrer 800 rpm selama
60 menit



Penyaringan dilakukan dengan menggunakan kertas saring



Masing-masing diuji AAS dengan Panjang gelombang 324,75 nm

F. Sampling air lindi



RIWAYAT HIDUP



A. Identitas Diri

Nama Lengkap : Neysha Hermaya Rossavianty

Tempat, Tgl Lahir : Madiun, 20 Juli 2001

Alamat : Jl. Sri Utomo No. 23 Desa Sukosari, Kec.
Kartoharjo, Kota Madiun

No. Telepon : 081358818813

Email : neyshahermaya90@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

- | | |
|---------------------------|------------------|
| 1. SDN 04 Madiun Lor | Lulus tahun 2014 |
| 2. SMPN 200 Jakarta Utara | Lulus tahun 2017 |
| 3. SMAN 115 Jakarta | Lulus tahun 2020 |

Semarang, 30 September 2024

Neysha Hermaya Rossavianty

NIM. 2008036005