

**POTENSI LIMBAH KERTAS *HOUTVRIJ SCHRIJFPAPIER* (HVS)
SEBAGAI ADSORBEN LOGAM Fe PADA AIR LIMBAH DI
LABORATORIUM LINGKUNGAN**

SKRIPSI

MUHAMMAD RIZKI ARIQ

062122716



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PAKUAN
BOGOR
2024**

MUHAMMAD RIZKI ARIQ
062122716

**POTENSI LIMBAH KERTAS HOUTVRIJ SCHRIFPAPIER (HVS) SEBAGAI
ADSORBEN LOGAM Fe PADA AIR LIMBAH DI LABORATORIUM**



2024

**POTENSI LIMBAH KERTAS *HOUTVRIJ SCHRIJFPAPIER* (HVS)
SEBAGAI ADSORBEN LOGAM Fe PADA AIR LIMBAH DI
LABORATORIUM LINGKUNGAN**

SKRIPSI

MUHAMMAD RIZKI ARIQ

062122716



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PAKUAN
BOGOR
2024**

**POTENSI LIMBAH KERTAS *HOUTVRIJ SCHRIJFPAPIER* (HVS)
SEBAGAI ADSORBEN LOGAM Fe PADA AIR LIMBAH DI
LABORATORIUM LINGKUNGAN**

SKRIPSI

MUHAMMAD RIZKI ARIQ

062122716



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PAKUAN
BOGOR
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Penelitian : Potensi Limbah Kertas *Houtvrij Schrijfpapier*
(HVS) Sebagai Adsorben Logam Fe Pada Air
Limbah Di Laboratorium Lingkungan

Nama : Muhammad Rizki Ariq

NPM : 062122716

Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui

Bogor, Juli 2024

Pembimbing II

Pembimbing I

(Yulian Syahputri, M. Si.)

(Denar Zuliandanu, M. Si.)

Mengetahui,

Ketua Program Studi Kimia

Dekan FMIPA

(Dr. Ade Heri Mulyati, M. Si.)

(Asep Denih, S.Kom, M.Sc, Ph.D.)

RIWAYAT HIDUP



Muhammad Rizki Ariq, lahir di Balikpapan, Kalimantan Timur pada tanggal 12 Mei 2000, putra bungsu dari dua bersaudara atas pasangan Ir. Asep Saptari dan drg. Rahmi Windrastia. Memasuki pendidikan formal pada tahun 2006 di SD Negeri Lawanggintung 1 Bogor dan lulus pada tahun 2012, meneruskan pendidikan di SMPN 9 Kota Bogor pada tahun 2012 kemudian selesai pada tahun 2015, kemudian meneruskan pendidikan di SMAN 4 Kota Bogor pada tahun 2015 dan lulus tahun 2018. Pada tahun 2018, melanjutkan Diploma III jurusan Analisis Kimia di Politeknik AKA Bogor, kemudian lulus pada tahun 2021. Pada tahun 2022 melanjutkan Sarjana di Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pakuan Bogor dan lulus pada tahun 2024. Tahun 2021-2024 bekerja sebagai Analis Laboratorium Kimia di PT ITEC Solution Indonesia.

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Rizki Ariq

NPM : 062122716

Judul Skripsi : **Potensi Limbah Kertas *Houtvrij Schrijfpapier* (HVS) Sebagai Adsorben Logam Fe Pada Air Limbah Di Laboratorium Lingkungan**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan – bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Pakuan atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Pakuan.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Bogor, Juli 2024

Muhammad Rizki Ariq

**PERNYATAAN MENGENAI TUGAS AKHIR DAN SUMBER
INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA DAN PATEN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Rizki Ariq

NPM : 062122716

Judul Skripsi : **Potensi Limbah Kertas *Houtvrij Schrijfpapier* (HVS)
Sebagai Adsorben Logam Fe Pada Air Limbah Di
Laboratorium Lingkungan**

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir di atas adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun.

Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tugas akhir ini. Dengan ini saya melimpahkan hak cipta karya tulis saya kepada Universitas Pakuan.

Bogor, Juli 2024

Muhammad Rizki Ariq

062122716

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena dengan segala rahmat dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Potensi Limbah Kertas *Houtvrij Schrijfpapier* (HVS) Sebagai Adsorben Logam Fe Pada Air Limbah di Laboratorium Lingkungan”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat menjadi sarjana kimia, Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pakuan Bogor.

Penyusunan skripsi ini juga terwujud berkat adanya bimbingan, dorongan, serta bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Asep Denih, S.Kom., M.Sc.,Ph.D sebagai dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pakuan.
2. Ibu Dr. Ade Heri Mulyati, M.Si., selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas MIPA Universitas Pakuan dan sekaligus dosen wali yang telah membantu penulis selama menjalani perkuliahan di Prodi Kimia Fakultas MIPA Universitas Pakuan.
3. Ibu Yulian Syahputri, M.Si., selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya, memberikan saran, kritik, serta arahan selama proses penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Denar Zuliandanu, M.Si., selaku Dosen Pembimbing dan Manajer Teknis di PT ITEC Solution Indonesia, yang telah banyak meluangkan waktunya, memberikan saran, kritik, serta arahan selama proses penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen dan staf FMIPA Universitas Pakuan Bogor, atas ilmu, kemudahan, bantuan dan pelayanan yang telah diberikan.
6. Bapak Dr. Ahmad Syukri, M.Si selaku Kepala Laboratorium PT ITEC Solution Indonesia, serta seluruh staf PT ITEC Solution Indonesia dan PT Ditek Jaya telah mengizinkan penggunaan laboratorium guna membantu penyelesaian tugas akhir ini.

7. Kepada kedua orangtua saya yang sudah memberikan do'a, dukungan, serta semangat sehingga saya dapat merampungkan penyusunan makalah Seminar Hasil Tugas Akhir.
8. Teman-teman seangkatan Pindahan 2022 yang telah banyak berjasa sehingga saya dapat menyelesaikan penyusunan skripsi.

Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran konstruktif karena penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan para pembaca. Akhir kata, penulis berharap makalah ini dapat berkontribusi pada kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan untuk kebaikan kita semua.

Bogor, Juli 2024

Penulis

Muhammad Rizki Ariq. 062122716. “Potensi Limbah Kertas *Houtvrij Schrijfpapier* (HVS) Sebagai Adsorben Logam Fe Pada Air Limbah Di Laboratorium Lingkungan” dibawah bimbingan Yulian Syahputri, M.Si dan Denar Zuliandanu, M.Si

RINGKASAN

Laboratorium pengujian lingkungan merupakan industri yang menghasilkan limbah. Air limbah yang dihasilkan dari kegiatan pengujian di laboratorium PT ITEC Solution Indonesia berkisar 40 hingga 70 liter per hari. Air limbah yang dihasilkan PT ITEC Solution Indonesia acapkali mengandung bahan kimia berbahaya yang sangat bervariasi seperti logam berat besi (Fe) yang kadarnya berkisar 1-5 mg/L. PT ITEC Solution Indonesia juga menghasilkan lebih kurang 2 hingga 3 kg limbah perkantoran berupa kertas HVS setiap bulannya. Limbah kertas HVS merupakan bahan yang pada dasarnya mengandung selulosa yang berpontesi dijadikan adsorben untuk menyerap logam Fe pada air limbah baik dalam bentuk biosorben maupun karbon aktif.

Metode yang dilakukan pada penelitian ini meliputi persiapan limbah kertas, karakterisasi biosorben dan karbon aktif, optimasi kondisi optimum biosorben dan karbon aktif, penentuan isoterm adsorpsi dan aplikasi adsorben pada sampel air limbah laboratorium.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, kondisi optimum pengaplikasian adsorben untuk menyerap logam Fe sampel air limbah digunakan bobot 1,5 gram untuk biosorben dan 0,25 gram untuk karbon aktif selama 30 menit pada pH 2. Hasil dari aplikasi biosorben dan karbon aktif didapatkan penurunan kadar Fe dari konsentrasi awal 7,625mg/L menjadi 4,868 mg/L menggunakan biosorben dan 4,299 mg/L menggunakan karbon aktif dengan efisiensi adsorpsi berturut-turut sebesar 36,16 % dan 43,63 % pada air limbah laboratorium PT ITEC Solution Indonesia. Konsentrasi akhir logam Fe pada air limbah di PT ITEC Solution Indonesia yang diperoleh dari hasil pengolahan baik dengan biosorben maupun karbon aktif dari limbah kertas HVS telah memenuhi nilai ambang batas baku mutu air limbah yang ditetapkan PermenLH No.5 tahun 2014 sebesar 5 mg/L. Dapat disimpulkan bahwa limbah kertas HVS dapat dijadikan alternatif adsorben untuk menyerap logam Fe, baik dalam bentuk biosorben maupun karbon aktif.

Kata kunci : Laboratorium Pengujian Lingkungan, Logam Fe, Air Limbah, Limbah Kertas HVS, Adsorben

Muhammad Rizki Ariq. 062122716. " The Potential of Houtvrij Schrijfpapier (HVS) Paper Waste as an Adsorbent for Fe Metal in Wastewater in Environmental Laboratories" under the guidance of Yulian Syahputri, M.Si and Denar Zuliandanu, M.Si

SUMMARY

Environmental testing laboratories are one of the industries that produce waste in liquid, solid, and gas forms. The wastewater generated from testing activities in the PT ITEC Solution Indonesia laboratory ranges from 40 to 70 liters per day. The wastewater often contains hazardous chemicals, such as heavy metal iron (Fe) with concentrations ranging from 1-5 mg/L. PT ITEC Solution Indonesia also produces approximately 2 to 3 kg of office waste in the form of HVS paper each month. Paper (used newspaper, used magazines, and used HVS paper) fundamentally contains cellulose, which has the potential to be used as an adsorbent to absorb Fe metal in wastewater either in the form of biosorbent or activated carbon.

The methods used in this study include the preparation of paper waste, characterization of biosorbent and activated carbon, optimization of the optimum conditions for biosorbent and activated carbon, determination of adsorption isotherms, and application of the adsorbent to laboratory wastewater samples.

Based on the research conducted, the optimum conditions for the application of Fe metal absorptions in waste water were 1.5 grams for biosorbent and 0.25 grams for activated carbon for 30 minutes at pH 2. The application results on biosorbent and activated carbon showed a reduction in Fe concentration from an initial concentration of 7.625 mg/L to 4.868 mg/L using biosorbent and 4.299 mg/L using activated carbon, with absorption efficiencies of 36.16% and 43.63%, respectively, in PT ITEC Solution Indonesia laboratory wastewater. The final concentration of Fe metal in the wastewater at PT ITEC Solution Indonesia obtained from the treatment with both biosorbent and activated carbon from HVS paper waste met the wastewater quality standards set by PermenLH No5 tahun 2014, which is 5 mg/L. It can be concluded that HVS paper waste can be used as an alternative adsorbent to absorb Fe metal, both in the form of biosorbent and activated carbon.

Keywords: *Environmental Testing Laboratory, Fe Metal, Wastewater, HVS Paper Waste, Adsorbent*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR	ix
RINGKASAN	xi
<i>SUMMARY</i>	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Hipotesis.....	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Logam Berat.....	4
2.2 Logam Besi (Fe).....	4
2.3 Air Limbah	5
2.4 Pencemaran Logam Berat	5
2.5 Adsorpsi	6
2.6 Kertas	7
2.7 Biosorpsi	8
2.8 Karbon Aktif	8
BAB III BAHAN DAN METODE.....	10
3.1 Waktu dan Tempat	10
3.2 Alat dan Bahan.....	10
3.3 Metode Penelitian.....	10
3.4 Cara Kerja	10
3.4.1 Persiapan Limbah Kertas	10
3.4.2 Karakterisasi Biosorben dan Karbon Aktif.....	11
3.4.3 Optimasi Biosorben dan Karbon Aktif Terhadap Logam Fe.....	13

3.4.4 Penentuan Isoterm Adsorpsi	13
3.4.5 Aplikasi Biosorben dan Karbon Aktif Pada Sampel Air Limbah Laboratorium.....	14
3.5 Rumus dan Perhitungan	15
3.5.1 Rumus dan Perhitungan Kadar Logam.....	15
3.5.2 Rumus dan Perhitungan Efisiensi Adsorpsi dan Kapasitas Adsorpsi...	15
3.5.3 Rumus dan Perhitungan Isoterm Adsorpsi	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1 Hasil Pembuatan Biosorben dan Karbon Aktif.....	17
4.2 Hasil Karakterisasi Biosorben dan Karbon Aktif.....	19
4.2.1 Hasil Karakterisasi Biosorben	19
4.2.2 Hasil Karakterisasi Karbon Aktif	20
4.3 Hasil Optimasi Kondisi Optimum Biosorben dan Karbon Aktif.....	23
4.3.1 Hasil Optimasi Kondisi Optimum Biosorben	23
4.3.2 Hasil Optimasi Kondisi Optimum Karbon Aktif.....	25
4.4 Penentuan Isoterm Adsorpsi	27
4.5 Hasil Aplikasi Biosorben dan Karbon Aktif Pada Air Limbah Laboratorium Pengujian.....	28
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	30
5.1 Kesimpulan	30
5.2 Saran.....	30
DAFTAR PUSTAKA	31
LAMPIRAN.....	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bijih Besi.....	5
Gambar 2. Struktur Selulosa	7
Gambar 3. Biosorben Hasil Sintesis.....	17
Gambar 4. Karbon Aktif Hasil Sintesis.....	18
Gambar 5. Spektrum FT-IR Biosorben.....	19
Gambar 6. (A) Spektrum FT-IR Sampel Biosorben Hasil Sintesis (B) Spektrum FT-IR Microcrystalline Cellulose	20
Gambar 7. Grafik Penentuan Waktu Kontak Optimum Biosorben.....	24
Gambar 8. Grafik Penentuan Rasio Optimum Biosorben	25
Gambar 9. Grafik Penentuan Waktu Kontak Optimum Karbon Aktif	26
Gambar 10. Grafik Penentuan Rasio Optimum Karbon Aktif.....	27

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Syarat Mutu Arang Aktif Teknis	9
Tabel 2. Kondisi Optimum SSA Untuk Pengujian Logam Fe	14
Tabel 3. Data Rendemen Biosorben.....	18
Tabel 4. Data Rendemen Karbon aktif.....	18
Tabel 5. Hasil Penentuan Kadar Air Pada Karbon Aktif	21
Tabel 6. Hasil Penentuan Kadar Abu Pada Karbon Aktif.....	21
Tabel 7. Hasil Penentuan Daya Serap Iodin.....	22
Tabel 8. Data Optimasi pH Optimum Adsorpsi Biosorben	23
Tabel 9. Perbandingan Isoterm Langmuir dan Freundlich Pada Biosorben	27
Tabel 10. Perbandingan Isoterm Langmuir dan Freundlich Pada Karbon Aktif	28
Tabel 11. Hasil Adsorpsi Logam Fe pada Biosorben dan Karbon Aktif	29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Umum Penelitian	35
Lampiran 2. Penentuan pH Optimum Adsorpsi Logam Fe Pada Variasi pH 2,7 dan 10	36
Lampiran 3. Penentuan pH Optimum Adsorpsi Logam Fe Pada Variasi Waktu Kontak 5,10,15,30 dan 60 menit.....	37
Lampiran 4. Penentuan pH Optimum Adsorpsi Logam Fe Pada Variasi Bobot Optimum 0,05; 0,1; 0,2; 0,25; 0,5; 1,0 dan 1,5 gram.....	38
Lampiran 5. Penentuan isoterm adsorpsi	39
Lampiran 6. Aplikasi iosorben dan Karbon Aktif Pada Limbah aboratorium.....	40
Lampiran 7. Perhitungan Kadar Air.....	41
Lampiran 8. Perhitungan Kadar Abu	42
Lampiran 9. Penetapan Daya Serap Iodin.....	43
Lampiran 10. Penentuan Isoterm Adsorpsi Biosorben	44
Lampiran 11. Penentuan Isoterm Adsorpsi Karbon Aktif	45
Lampiran 12. Perhitungan Aplikasi Biosorben dan Karbon Aktif Pada Sampel Air Limbah.....	46
Lampiran 13. Perhitungan Rendemen Karbon Aktif Teoritis Dan Nilai Hasil Kali Kelarutan	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laboratorium pengujian lingkungan merupakan sektor industri yang menghasilkan limbah. Air limbah yang dihasilkan dari kegiatan pengujian di laboratorium PT ITEC Solution Indonesia berkisar 40 hingga 70 liter per hari, air limbah yang diolah dan dibuang ke lingkungan oleh pihak laboratorium berasal dari sisa cucian alat gelas dan sampel air yang bukan matriks air limbah yang mana air limbah ini acapkali mengandung bahan kimia berbahaya yang sangat bervariasi seperti logam berat besi (Fe) terlarut yang kadarnya berkisar 1-5 mg/L, Meskipun jumlah air limbah yang dibuang sedikit, namun memiliki sifat berbahaya bagi lingkungan karena adanya sejumlah besar polutan organik dan logam berat (Rimantho, 2019). Limbah padat di laboratorium uji lingkungan jumlahnya kecil, hanya berupa buangan kertas saring dan sisa sampel padatan yang dikirim oleh pelanggan sehingga dapat dengan mudah diatasi.

Logam besi terlarut merupakan pencemar yang terkandung dalam air limbah laboratorium pengujian. Tubuh membutuhkan logam besi (Fe) dalam jumlah kecil, tetapi konsentrasi yang berlebihan dalam air dapat berbahaya bagi kesehatan karena logam ini berkumpul terutama di organ penyaringan, menyebabkan penyakit (Widyaningsih, 2022).

Dewasa ini telah berkembang berbagai macam teknologi pengolahan air limbah untuk meminimalisir cemaran logam berat dalam air limbah. Teknik pengolahan limbah yang umum digunakan adalah proses fisika-kimia seperti aerasi, filtrasi, koagulasi, penguapan, elektrolisis dan adsorpsi (Zustriani, 2019). Adsorpsi secara umum adalah proses penggumpalan bahan padat terlarut (*soluble solid*) pada bahan cair oleh permukaan zat atau bahan penjerap melalui ikatan fisika-kimia antara bahan tersuspensi dengan penjerapnya (Sutyasmi *et al.*, 2013). Bahan adsorpsi dapat berupa karbon aktif dan adsorben. Bahan baku pembuatan adsorben berasal dari berbagai macam sumber salah satunya limbah.

Karbon aktif merupakan karbon amorf yang telah diaktivasi untuk meningkatkan daya adsorpsinya. Luas permukaan karbon aktif berkisar antara 300-3500 m²/g dan ini berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan

karbon aktif mempunyai sifat sebagai adsorben (Idrus *et al.*, 2013).

Limbah yang dihasilkan dari kegiatan perkantoran lainnya adalah kertas jumlah yang cukup banyak. PT ITEC Solution Indonesia menghasilkan lebih kurang 2 hingga 3 kg limbah kertas HVS setiap bulannya. Kertas merupakan bahan yang pada dasarnya mengandung selulosa, Selulosa adalah biopolimer linear yang tersusun dari molekul anhidro D-glukosa yang berikatan dengan β -1,4 glukosidik dengan ikatan hydrogen, kandungan selulosa pada kertas HVS mencapai 90% berat (Fuadi *et al.*, 2015). Selulosa mengandung gugus senyawa polar seperti alkohol dan eter, gugus senyawa ini dapat mengikat senyawa lain pada pH rendah (Herlenasari & Sari, 2017). Kertas dengan kandungan selulosanya dapat menyerap ion logam seperti Fe, Cu, Cr (Zhang *et al.*, 2013). (Chakravarty *et al.*, 2007) telah melakukan penelitian menggunakan koran bekas sebagai adsorben pada logam Zn (II) dengan aktivasi menggunakan fosforilasi dengan hasil positif yaitu dapat mengadsorbsi logam Zn (II) hampir 93%, kemudian (Herlenasari & Sari, 2017) juga telah melakukan penelitian menggunakan koran bekas sebagai penjerap logam Cu (II) dan Fe (II) pada limbah buatan dengan persen removal dari terhadap logam Cu (II) adalah 99,60% dan Fe (II) adalah 97,18% dengan dosis adsorben sebesar 1 gram menggunakan NaOH 10 % sebagai penghilang tinta.

Penggunaan limbah kertas perkantoran sebagai adsorben logam Fe pada air limbah laboratorium pengujian lingkungan belum pernah dilaporkan sebelumnya. Upaya yang dilakukan untuk menghilangkan cemaran logam Fe tersebut adalah dengan proses adsorbsi menggunakan karbon aktif dan biosorben dari limbah kertas. Limbah kertas merupakan suatu masalah bagi lingkungan, namun bila diolah dan dimanfaatkan dengan baik maka dapat bernilai guna tinggi dan bermanfaat.

1.2 Tujuan Penelitian

- 1) Membuat biosorben dan karbon aktif dari limbah kertas dan karakterisasinya.
- 2) Menentukan kondisi optimum biosorben dan karbon aktif terhadap beberapa parameter seperti pH ion logam, waktu kontak adsorpsi, dan dosis optimum.
- 3) Menentukan isoterm adsorpsi biosorben dan karbon aktif.
- 4) Mengetahui kemampuan sorpsi biosorben dan karbon aktif limbah kertas dalam menyerap logam Fe pada air limbah laboratorium lingkungan.

1.3 Hipotesis

- 1) Biosorben dan karbon aktif dari limbah kertas berhasil dibuat dan di karakterisasi
- 2) Terdapat kondisi optimum baik pH, waktu kontak, dan bobot dosis
- 3) Biosorben dan arang karbonaktif memiliki isoterm langmuir
- 4) Biosorben dan karbon aktif dari limbah kertas memiliki kemampuan untuk menyerap logam Fe pada air limbah.

1.4. Manfaat Penelitian

Diharapkan penelitian ini dapat memberikan informasi bahwa biosorben dan karbon aktif dari limbah kertas dapat digunakan sebagai alternatif penyerap logam Fe dan dapat di aplikasikan penggunaannya untuk pengolahan limbah laboratorium dalam upaya menanggulangi pencemaran lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat

Logam berat ialah logam yang mempunyai berat 5 g atau lebih untuk setiap cm^3 (Agustina, 2014). Logam berat merupakan logam dengan nomor atom antara 21 (scandium) dan 92 (uranium) dari sistem periodik kimia. (Vouk, 1986). Dari segi toksikologi, logam berat dibedakan menjadi logam berat mayor dan logam berat minor. Logam berat esensial merupakan logam yang diperlukan oleh makhluk hidup dalam jumlah tertentu namun dapat menimbulkan efek toksik dalam jumlah berlebihan. Logam berat yang tidak esensial merupakan logam beracun yang masih belum diketahui manfaatnya bagi tubuh, logam berat ini dapat menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan manusia. Logam berat merupakan komponen alami yang terdapat di kulit bumi yang tidak dapat didegradasi ataupun dihancurkan dan merupakan zat yang berbahaya karena dapat terjadi bioakumulasi (Agustina, 2014).

Penumpukan zat di dalam tubuh organisme disebut bioakumulasi. Bioakumulasi adalah kombinasi dari biokonsentrasi dan biomagnifikasi. Biokonsentrasi adalah masuknya bahan pencemar secara langsung dari air oleh makhluk hidup melalui jaringan. Sedangkan biomagnifikasi adalah masuknya bahan pencemar dari lingkungan melalui mekanisme lintasan (Tris. *et al.*, 2020).

2.2 Logam Besi (Fe)

Logam Fe memiliki nomor atom 26 dan berada dalam golongan 8 dan periode 4 pada tabel periodik. Besi adalah logam yang berwarna putih perak dan memiliki kilauan logam yang khas. Titik lebur besi adalah sekitar $1.538\text{ }^\circ\text{C}$, sedangkan titik didihnya sekitar $2.861\text{ }^\circ\text{C}$. Umumnya besi dalam air dapat bersifat terlarut sebagai Fe^{2+} atau Fe^{3+} (Dahlia & Rosma Indah, 2017). Dalam air limbah besi seringkali tersuspensi dalam bentuk kolodial seperti kolodial $\text{Fe}(\text{OH})_3$, FeO , Fe_2O_3 dan lainnya (Febrina & Ayuna, 2015). Secara alami besi didapatkan dari tambang batuan seperti dalam mineral hematit (Fe_2O_3) dan magnetit (Fe_3O_4).



Gambar 1. Bijih Besi

Jika besi terlarut dalam air terlalu tinggi, akan menyebabkan masalah fisik seperti perubahan warna, bau, dan rasa air. Tubuh membutuhkan 7–35 mg senyawa besi per hari yang mana sebagiannya diperoleh dari air, untuk membentuk sel darah merah. Dosis Fe yang berlebihan dapat menimbulkan gangguan kesehatan. (Dahlia & Indah, 2017).

2.3 Air Limbah

Air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair karena pengaruh kegiatan manusia sehingga kualitas air menurun (PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP REPUBLIK INDONESIA No.5 Tahun 2014). Air limbah dapat dihasilkan dari kegiatan di laboratorium pengujian yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) seperti logam berat, amoniak, dan nitrit.

Dewasa ini telah berkembang berbagai macam teknologi untuk pengolahan air limbah untuk meminimalisir cemaran logam besi dalam air limbah. Ada berbagai macam teknik pengolahan limbah, yang umum digunakan adalah proses fisika-kimia misalnya aerasi, filtrasi, koagulasi, penguapan, elektrolisis dan adsorpsi. Air limbah yang tidak diolah terlebih dahulu dan dibuang akan memberikan dampak negatif terhadap kesehatan lingkungan, (Supriyatno, 2000).

2.4 Pencemaran Logam Berat

Limbah merupakan sisa bahan yang tidak terpakai dan mempunyai dampak negatif terhadap lingkungan. Pesatnya perkembangan industri menjadi penyebab meningkatnya aliran massa logam besi ke lingkungan. (Priadi *et al.*, 2014). Paparan

logam berat dalam konsentrasi rendah ke lingkungan akan berbahaya bagi kesehatan manusia (Jain & Ram, 1997).

Pengikisan batuan mineral yang banyak dibawa oleh air hujan adalah salah satu sumber alamiah logam masuk perairan. Cemaran logam asalnya dari limbah industri, rumah tangga, dan lainnya berasal dari aktivitas manusia (Kiki *et al.*, 2012). Daya racun logam berat akan menghentikan atau mengganggu fungsi enzim untuk melakukan fungsi fisiologis atau metabolisme tubuh. Akibatnya, logam berat dapat menyebabkan keracunan jangka panjang (Bernianty, 2018).

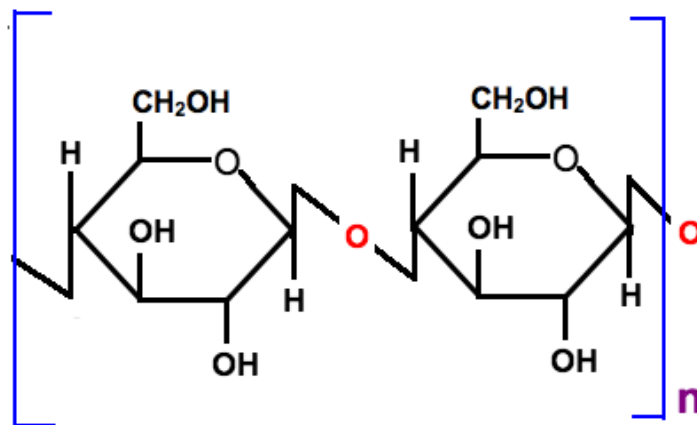
2.5 Adsorpsi

Proses penyerapan partikel disebut sorpsi. Sorpsi dibedakan menjadi dua yaitu adsorpsi dan absorpsi. Adsorpsi adalah proses dimana adsorbat teradsorpsi pada permukaan suatu adsorben karena adanya gaya tarik menarik antarmolekul pada permukaan padatan (adsorben) (Dahlia & Rosma, 2017), sedangkan proses pengikatan berlangsung sampai di dalam partikel penyerap disebut sebagai proses absorpsi (Afiatun, 2004).

Pada proses sorpsi, ada dua jenis gaya tarik menarik padatan: gaya fisik dan gaya kimia. Gaya fisik menghasilkan adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Adsorpsi, pertukaran ion, dan pembentukan ikatan kovalen semua disebabkan oleh gaya *van der Waals* (Osipow, 1962). Salah satu jenis adsorpsi fisika adalah karbon aktif. Adanya ikatan kimia antara molekul adsorbat dan permukaan adsorben menyebabkan adsorpsi kimia terjadi. Ikatan kimia dapat berupa ion atau ikatan kovalen. Ikatan-ikatan ini sangat kuat sehingga spesi awalnya tidak dapat ditemukan. Karena kuatnya ikatan kimia yang terbentuk, maka adsorbat tidak mudah terdesorpsi. Adsorpsi kimia ini diawali dengan adsorpsi fisik dimana adsorbat mendekati ke permukaan adsorben melalui gaya Van der Waals atau ikatan hidrogen kemudian diikuti oleh adsorpsi kimia.

2.6 Kertas

Kertas adalah barang lembaran yang dibuat dengan mengubah bahan baku serat menjadi pulp dan kertas digunakan untuk menulis. Proses ini dilakukan dalam urutan yang berbeda: bahan baku disiapkan; pulp dibuat (secara kimia, semikimia, dan mekanik); pemutihan (melalui proses bleaching); pengambilan kembali bahan kimia; pengeringan pulp; dan terakhir, pembuatan kertas (Ayunda *et al.*, 2013). Pembuatan pulp dan pengeringan kertas adalah proses yang paling membutuhkan energi. Bahan baku pembuatan kertas, selulosa, terdiri dari bahan kristalin yang berfungsi untuk membangun dinding sel kayu, yang terdiri dari lignin, hemiselulosa, dan selulosa.



Gambar 2. Struktur Selulosa

Kertas sangat berguna dalam kegiatan perkantoran, biasa digunakan untuk menulis, menyampaikan informasi dan lain lainnya. Limbah kertas salah satu masalah yang terjadi pada perkantoran, oleh karena itu diperlukan pengolahan limbah kertas agar memiliki nilai kebermanfaatannya. Kertas mengandung selulosa, yang mengandung gugus senyawa polar seperti alkohol dan eter. Gugus senyawa ini dapat mengikat senyawa lain (Herlenasari & Sari, 2017). Kandungan selulosa yang tinggi membuat limbah kertas menjadi bahan baku yang potensial untuk diolah menjadi produk lain, seperti adsorben. (Chakravarty *et al.*, 2007) telah melakukan penelitian menggunakan koran bekas sebagai adsorben pada logam Zn (II) dengan aktivasi menggunakan fosforilasi dengan hasil positif, kemudian (Herlenasari & Sari, 2017) juga telah melakukan penelitian menggunakan koran bekas sebagai adsorben sebagai penjerap logam Cu (II) dan Fe (II) pada limbah

buatan dengan maksimum efisiensi dari kertas koran bekas terhadap logam Cu (II) adalah 99,60% dan Fe (II) adalah 97,18% dengan dosis adsorben 1 gram menggunakan NaOH 10 %.

2.7 Biosorpsi

Biosorpsi adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan proses adsorpsi suatu zat dengan menggunakan bahan-bahan biologi. Biosorpsi adalah proses yang memungkinkan biomassa mengikat logam berat dari larutan melalui proses metabolisme atau kimia-fisika. Beberapa keuntungan biosorpsi termasuk murah, efisiensi tinggi, kurangnya lumpur, dan proses regenerasi yang mudah. Biosorben dapat berasal dari berbagai bahan biologi. Alga, jamur, dan bakteri adalah bahan ini..

Selulosa dari kertas HVS bersumber dari sisa kegiatan perkantoran di PT ITEC Solution Indonesia adalah alternatif bahan baku biosorben. Pemanfaatan dan penggunaan limbah kertas selain dapat mengurangi volume limbah juga dapat memberdayakan limbah menjadi bernilai. Limbah kertas sebagai sumber selulosa dapat dijadikan sebagai biosorben dengan harga yang murah (Zhang *et al.*, 2013).

2.8 Karbon Aktif

Bahan yang mengandung unsur karbon dapat menghasilkan karbon aktif yang memiliki pori-pori dengan memanaskannya pada suhu tinggi. Pori-pori tersebut dapat dimanfaatkan sebagai agen penyerap (adsorben) (Idrus *et al.*, 2013).

Kapasitas adsorpsi karbon aktif ada tiga tahap. Setelah zat teradsorpsi pada bagian luar karbon aktif, zat tersebut berpenetrasi ke dalam pori-pori karbon dan teradsorpsi pada dinding bagian dalam karbon aktif. Bahan baku karbon aktif adalah semua bahan yang mengandung karbon. Kualitas arang aktif dinilai berdasarkan persyaratan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730- 1995.

Tabel 1. Syarat Mutu Arang Aktif Teknis

No	Parameter	Satuan	Bentuk Serbuk
1	Kadar Air	%	Maks. 15
2	Kadar Abu	%	Maks. 10
3	Daya Serap Terhadap I ₂	mg/g	Min. 750

Sumber : (SNI 06-3739-1995 Tentang Arang Aktif Teknis, 1995)

BAB III

BAHAN DAN METODE

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan di laboratorium PT ITEC Solution Indonesia beralamat di Ruko Archade Blok B No.20 BNR, Kelurahan Mulyaharja Kota Bogor Selatan dan Laboratorium *Head Office* PT Ditek Jaya. Penelitian dilaksanakan bulan Februari - April 2024

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi instrumen spektrofotometer serapan atom (SSA) GBC XplorAA, pH meter, timbangan analitik, dan FTIR Shimadzu IR Spirit T dengan aksesoris QATRs. Peralatan pendukung yang dibutuhkan meliputi gunting, tanur, oven, mikropipet dan peralatan gelas meliputi labu takar 100mL dan gelas piala

Bahan yang akan digunakan meliputi bahan uji berupa limbah kertas. Bahan kimia yang digunakan berupa air suling, NaOH 10%, larutan standar Fe, dan air limbah laborototium.

3.3 Metode Penelitian

Metode percobaan terdiri atas tiga tahap utama yaitu pembuatan biosorben dan karbon aktif, karakterisasi biosorben dengan menggunakan FT-IR dan karakterisasi karbon aktif sesuai SNI No. 06-3730-1995 yang meliputi kadar air dan kadar abu dan daya serap iodin, kemudia yang terakhir yaitu dilakukan optimasi sorpsi adsorben (biosorben dan karbon aktif) melalui beberapa variasi di antaranya pH larutan, waktu kontak, dan bobot adsorben. Setelah diketahui kondisi optimum, ditentukan isoterm adsorpsi masing-masing biosorben dan karbon aktif, kemudian diaplikasikan terhadap limbah cair pada laboratorium pengujian lingkungan.

3.4 Cara Kerja

3.4.1 Persiapan Limbah Kertas

3.4.1.1 Persiapan Limbah Kertas Sebagai Biosorben

Limbah kertas HVS hasil kegiatan perkantoran yang sudah dicacah menjadi kecil dikumpulkan kemudian direndam dalam air keran selama 2 hari. Kemudian

limbah yang telah direndam pada air keran, di rendam kembali menggunakan NaOH 10% selama 2 jam lalu dicuci hingga pH netral dan dikeringkan dengan oven di suhu 105°C. Acuan metode pembuatan biosorben mengacu pada jurnal (Chakravarty *et al.*, 2007) dan (Herlenasari & Sari, 2017)

3.4.1.2 Persiapan Limbah Kertas Sebagai Karbon Aktif

Limbah kertas HVS hasil kegiatan perkantoran yang telah disiapkan sebelumnya diarangkan melalui proses karbonasi menggunakan tanur pada suhu 300°C selama 3 jam (Hartanto & Ratnawati, 2010). Kemudian arang didinginkan setelah itu diayak menggunakan ayakan ukuran 0,5 mm.

Karbon aktif yang telah siap dilakukan proses aktivasi. Aktivasi dilakukan dengan cara merendam 25 gram karbon aktif pada 250 mL larutan NaOH 0 % (kontrol) dan NaOH 10% selama 24 jam (Hartanto & Ratnawati, 2010). Masing-masing arang yang telah direndam dicuci dengan akuades hingga pH netral dan dikeringkan menggunakan oven suhu 105 °C.

3.4.2 Karaterisasi Biosorben dan Karbon Aktif

3.4.2.1 Karaterisasi Biosorben

Karakteristik biosorben dilakukan menggunakan *Fourier Transformed Infrared* (FTIR) pada interval bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1} untuk mengetahui gugus fungsional pada sampel.

3.4.2.2 Karakterisasi Karbon Aktif

Karbon yang telah diaktivasi kemudian dihitung rendemen yang dihasilkan dan dikarakterisasi sesuai SNI 06-0730-1995 tentang Syarat Mutu Arang Aktif Teknis. Karakterisasi yang dilakukan meliputi penetapan kadar air dan abu, kemudian daya serap terhadap iodin.

3.4.2.2.1 Penetapan Kadar Air berdasarkan SNI 06-0730-1995

Satu gram karbon aktif dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C selama 3 jam ditimbang dengan neraca analitik. Selanjutnya dimasukkan ke desikator dan ditimbang berat tetap dan kadar air ditentukan dalam satuan (%). Kadar air karbon aktif dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{w_1 - w_2}{w_1 - w_0} \times 100\%$$

Keterangan:

W_0 = Cawan kosong (g)

W_1 = Cawan kosong + contoh (sebelum dipanaskan) (g)

W_2 = Cawan kosong + contoh (setelah dipanaskan) (g)

3.4.2.2.2 Penetapan Kadar Abu berdasarkan SNI 06-0730-1995

Karbon aktif ditimbang 2-3 gram menggunakan neraca analitik kemudian dimasukkan ke cawan porselin yang telah diketahui beratnya. Setelah itu dimasukkan ke tanur pada suhu 800 °C selama 2 jam lalu didinginkan di desikator untuk selanjutnya ditimbang berat tetap. Kadar abu dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{w_2 - w_0}{w_1 - w_0} \times 100$$

Keterangan:

W_0 = Cawan kosong (g)

W_1 = Cawan kosong + contoh (sebelum dipanaskan) (g)

W_2 = Cawan kosong + contoh (setelah dipanaskan) (g)

3.4.2.2.3 Penetapan Daya Serap Terhadap Iod berdasarkan SNI 06-0730-1995

Sebanyak 0,5 gram karbon aktif ditimbang secara teliti lalu dimasukkan ke dalam Erlenmeyer yang tertutup, ditambahkan 25 mL iodium 0,1 N dikocok selama 15 menit pada suhu kamar, kemudian disaring. Larutan yang telah disaring dipipet 10 mL. dan dititrasikan dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N hingga diperoleh larutan kuning muda, kemudian diberi larutan kanji 1% sebagai indikator. Larutan dititrasikan kembali hingga tidak berwarna. Uji blanko dilakukan dengan cara yang sama tanpa penambahan karbon aktif. Kapasitas penyerapan iodin dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Daya Serap Iodin (mg/g)} = \frac{25}{10} \times \frac{(V \text{ blanko} - V \text{ sampel}) \times BE \text{ Iod} \times N \text{ Na-Tiosulfat}}{\text{Bobot sampel karbon aktif}}$$

3.4.3 Optimasi Biosorben dan Karbon Aktif Terhadap Logam Fe

3.4.3.1 Penentuan pH Optimum

Biosorben dan karbon aktif ditimbang teliti sebanyak 0,2 gram kemudian dimasukkan ke piala gelas 100 mL lalu dituangkan 25 mL larutan Fe dengan konsentrasi masing-masing 5 mg/L yang telah diatur pH larutan pada pH 2, 7 dan 12. Piala gelas kemudian ditutup menggunakan alumunium foil dan direndam selama 60 menit. Larutan disaring dengan kertas saring lalu diukur absorbansinya menggunakan SSA.

3.4.3.2 Penentuan Waktu Kontak Optimum

Biosorben dan karbon aktif ditimbang secara teliti sebanyak 0,2 gram kemudian dimasukkan ke dalam piala gelas 100 mL. Larutan besi ditambahkan ke dalam piala gelas sebanyak 25 mL dengan konsentrasi masing-masing 5 mg/L, dan pH larutan diatur menjadi pH yang optimum. Setelah itu, alumunium foil ditutup di atas gelas dan direndam selama 5, 10, 15, 30, dan 60 menit. Larutan disaring dengan kertas saring lalu diukur absorbansinya menggunakan SSA.

3.4.3.3 Penentuan Rasio Optimum Volume Limbah dan Bobot Adsorben

Biosorben dan karbon aktif ditimbang teliti sebanyak 0,05; 0,1; 0,2; 0,25, 0,5; 1 dan 1,5 gram dimasukkan ke piala gelas 100 mL. Larutan Fe dituangkan ke dalam piala gelas sebanyak 25 mL dengan konsentrasi masing-masing 5 mg/L yang telah diatur pada pH optimum. Kemudian ditutup piala gelas tersebut menggunakan alumunium foil dan direndam selama waktu optimum. Larutan tersebut disaring dengan kertas saring lalu diukur absorbansinya menggunakan SSA.

3.4.4 Penentuan Isoterm Adsorbsi

Biosorben atau karbon aktif yang telah diketahui bobot optimumnya ditimbang secara teliti menggunakan neraca analitik kemudian dimasukan ke piala gelas 100 mL, lalu dituangkan 25 mL larutan Fe dengan konsentrasi masing-masing 50, 100, 200 dan 500 mg/L untuk biosorben dan 200, 250, 500, dan 100mg/L untuk karbon aktif yang telah diatur pada pH optimum, dikontakan dengan cara direndam

selama waktu kontak optimum. Larutan lalu disaring dengan kertas saring dan diukur absorbansinya menggunakan SSA 248,3 nm.

3.4.5 Aplikasi Biosorben dan Karbon Aktif Pada Sampel Air Limbah Laboratorium

3.4.5.1 Pembuatan Larutan Standar Fe

Dipipet sebanyak 1, 2, 3, 4, dan 5 mL larutan induk Fe 100 mg/L kedalam labu takar 100mL kemudian ditambahkan akuades hingga tanda tera lalu dihomogenkan. Didapatkan konsentrasi larutan induk dengan konsentrasi 1, 2, 3, 4, dan 5 mg/L.

3.4.5.2 Pengambilan Sampel dan Analisis Fe terlarut Air Limbah Laboratorium

Air limbah diambil dari IPAL dengan teknik *Grab Sampling*. Air limbah dipreparasi sesuai SNI 6989-84-2019 sebagai logam Fe terlarut. Sampel yang telah disaring menggunakan saring 0,45 μm dipipet 100 mL kedalam erlenmeyer 250mL, lalu dilakukan destruksi dengan ditambahkan $\text{HNO}_{3(\text{p})}$ sebanyak 5mL lalu dipanaskan diatas *hotplate*. Pemanasan dilakukan di dalam ruang asam yang dilengkapi *scrubber* hingga sampel tersisa kurang lebih 10mL (jangan sampai kering). Sampel yang telah selesai didestruksi ditunggu hingga dingin kemudian dipindahkan ke labu takar 100mL kemudian ditambahkan akuades hingga tepat pada tanda tera. Sampel siap diukur ke SSA.

3.4.5.3 Persiapan dan Pengondisian Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Alat diatur dengan pengondisian seperti yang tertera pada Tabel.2

Tabel 2. Kondisi Optimum SSA Untuk Pengujian Logam Fe

Panjang Gelombang	248,3 nm
Lebar Celah	0,2 nm
Arus Lampu	7,0 mA
Jenis Gas	Udara-Asetilen

3.4.5.4. Proses Adsorpsi Biosorben dan Karbon Aktif Pada Sampel Air Limbah Laboratorium

Biosorben atau karbon aktif yang sudah siap digunakan ditimbang sesuai dengan bobot optimumnya kemudian dimasukkan ke piala gelas 100 ml berbeda lalu ditambahkan 25 mL larutan limbah cair laboratorium ke masing-masing piala gelas yang telah berisi biosorben atau karbon aktif. Kondisi adsorpsi dilakukan berdasarkan kondisi optimum. Kemudian larutan disaring menggunakan kertas saring dan diukur menggunakan SSA.

3.5 Rumus dan Perhitungan

3.5.1 Rumus dan Perhitungan Kadar Logam

Untuk menghitung kadar logam Fe terlarut dapat menggunakan rumus :

$$y = a + bx$$

Dimana :

a = Intersep,

b = slope,

y = absorbansi sampel dan

x = konsentrasi (ppm)

3.5.2 Rumus dan Perhitungan Efisiensi Adsorpsi dan Kapasitas Adsorpsi

Efisiensi adsorpsi dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Efisiensi Adsorpsi (\%)} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \%$$

Dan kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan cara :

$$Q = \frac{v(C_0 - C_e)}{m}$$

Dimana :

C_0 = Konsentrasi Awal Logam (mg/L)

C_e = Konsentrasi Akhir Logam (mg/L)

Q_e = Kapasitas Adsorpsi (mg/g) dan

m = bobot (g)

v = Volume contoh (L)

3.5.3 Rumus dan Perhitungan Isoterm Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi dihitung dari persamaan Langmuir ($\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_{ob}} + \frac{C_e}{Q_o}$) atau persamaan Freundlich ($\log\left(\frac{x}{m}\right) = \log k + \frac{1}{n}(\log C)$) dengan mengalurkan $\frac{C_e}{q}$ terhadap C_e untuk Langmuir dan $\log\left(\frac{x}{m}\right)$ terhadap $\log C_e$ untuk Freundlich. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif menggunakan *Microsoft Excel* 2019 dan disajikan dalam bentuk tabel

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pembuatan Biosorben dan Karbon Aktif

Pembuatan biosorben dan karbon aktif dimulai dengan persiapan bahan dasar. Limbah kertas sisa kegiatan perkantoran di PT ITEC Solution Indonesia digunting menjadi ukuran yang kecil, kemudian direndam selama dua hari menggunakan air kran dengan tujuan melunakan kertas. Limbah kertas yang sudah lunak kemudian direndam dengan NaOH 10% selama dua jam agar tinta dan pengotor hilang. Limbah kertas yang telah direndam NaOH 10% selama dua jam lalu dicuci dan dibilas dengan air hingga pH netral yang diukur menggunakan pH universal, kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C. Biosorben yang telah kering kemudian diperhalus menggunakan *chopper*.



Gambar 3. Biosorben Hasil Sintesis

Untuk pembuatan karbon aktif, limbah kertas yang telah disiapkan menjadi biosorben kemudian dilakukan proses karbonasi. Proses karbonisasi dilakukan dengan tujuan menghasilkan kerangka karbon dengan kemurnian tinggi dengan cara dipanaskan pada suhu tinggi. Pada karbonisasi terjadi proses penguapan air dan penguraian dari komponen yang terdapat di dalam bahan baku sehingga unsur hidrogen, oksigen dan organik lainnya hilang (Hartanto & Ratnawati, 2010).



Gambar 4. Karbon Aktif Hasil Sintesis

Karbon aktif kemudian diaktivasi menggunakan NaOH 10% sebagai aktivator kimia, NaOH yang merupakan basa kuat merupakan senyawaan yang umum digunakan sebagai aktivator karena dapat menghilangkan senyawa pengotor pada karbon aktif seperti oksida logam sehingga dapat memperbesar pori-pori karbon aktif. Penetapan rendemen dilakukan untuk mengetahui jumlah biosorben dan karbon aktif dari proses pembuatan dan aktivasi.

Tabel 3. Data Rendemen Biosorben

Bobot Bahan Baku (g)	Bobot Biosorben (g)	Rendemen (%)
500	459	91,8 %

Tabel 4. Data Rendemen Karbon aktif

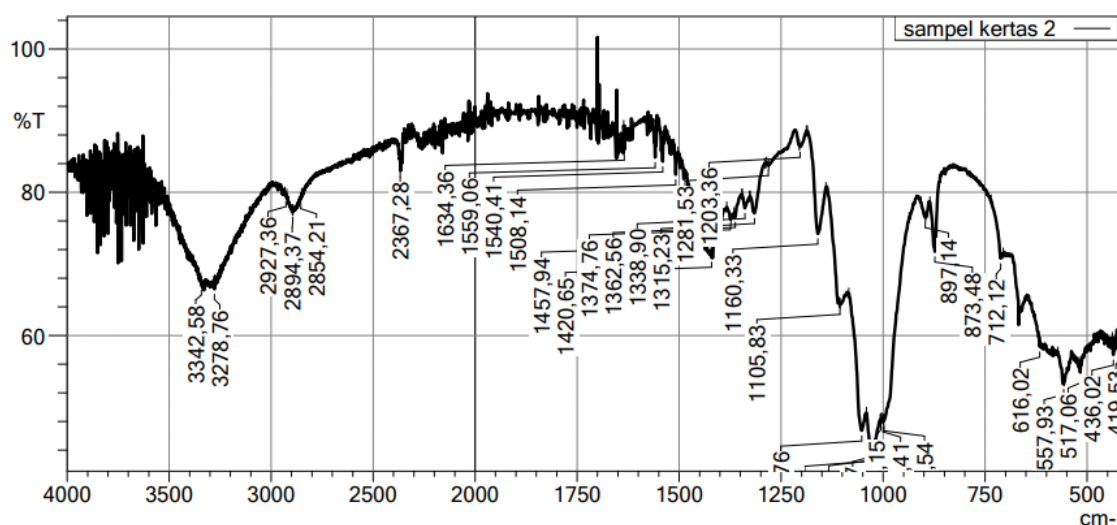
Bobot Bahan Baku (g)	Bobot Biosorben (g)	Rendemen (%)
270	95,6835	35,5 %

Pada penetapan rendemen karbon aktif didapatkan rendemen sebesar 35,5%, jumlah rendemen tersebut berada dibawah rendemen karbon teoritis selulosa yaitu 40% (Lampiran 13). Jumlah rendemen yang berada dibawah rendemen teoritisnya dapat disebabkan oleh suhu pemanasan yang terlalu tinggi, hal tersebut menyebabkan karbon yang terkandung berubah menjadi karbon dioksida sehingga hal tersebut menyebabkan kadar rendemen hasil sintesis lebih sedikit dari kadar rendemen teoritis.

4.2 Hasil Karakterisasi Biosorben dan Karbon Aktif

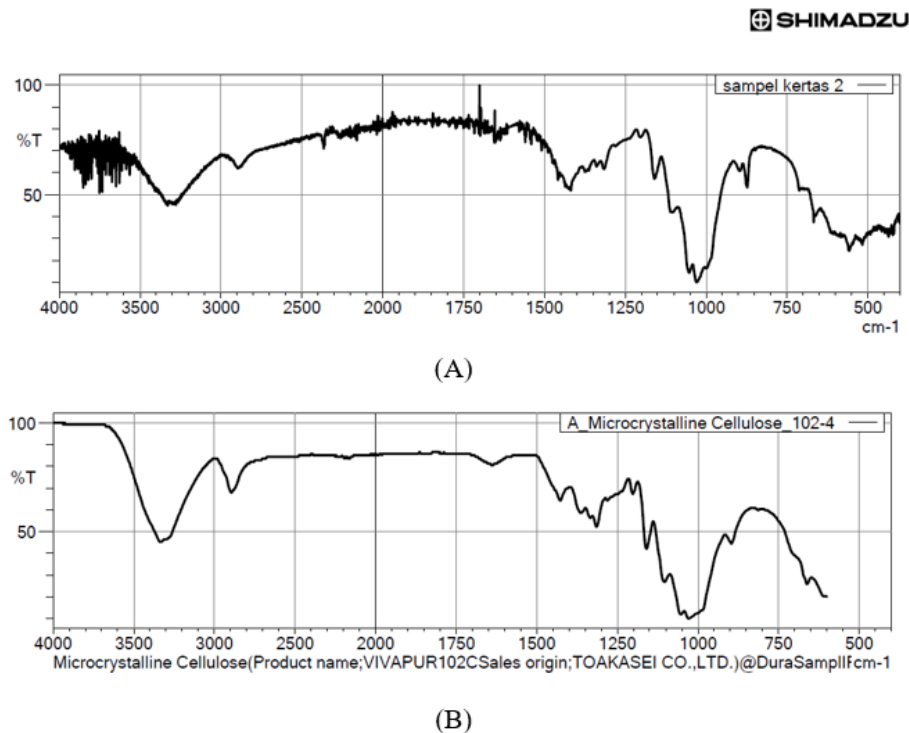
4.2.1 Hasil Karakterisasi Biosorben

Kertas merupakan material yang kaya akan kandungan selulosa yang memiliki gugus fungsi yang sifatnya mampu mengikat logam. FTIR digunakan untuk mengetahui kandungan gugus aktif apa saja yang terkandung dalam material kertas tersebut. Berikut hasil karakterisasi kertas menggunakan FTIR Shimadzu IR Spirit T dengan aksesoris QATRs.



Gambar 5. Spektrum FT-IR Biosorben

Menurut Gambar 5, selulosa dianalisis berdasarkan serapan gugus O-H pada rentang serapan 3000 cm^{-1} hingga 3500 cm^{-1} yaitu pada bilangan gelombang $3342,58\text{ cm}^{-1}$ dan rentang serapan C-H pada rentang serapan 2800 cm^{-1} hingga 3000 cm^{-1} yaitu pada bilangan gelombang $2927,36\text{ cm}^{-1}$. Selain itu, gugus fungsi C-O-C glikosida ditemukan pada panjang gelombang $897,14\text{ cm}^{-1}$ dan puncak serapan C-H₂ pada $1420,65\text{ cm}^{-1}$. Gugus fungsi OH, C-H dan C-O glikosidik merupakan gugus utama selulosa (Djunaidi *et al.*, 2020). Dari data yang diperoleh dapat diartikan bahwa limbah kertas HVS dapat dijadikan alternatif biosorben yang dapat mengikat logam karena memiliki gugus aktif yang dapat mengikat logam.



Gambar 6. (A) Spektrum FT-IR Sampel Biosorben Hasil Sintesis (B) Spektrum FT-IR *Microcrystalline Cellulose*

Pada penelitian kali ini juga dilakukan uji kemiripan material menggunakan instrumen FTIR Shimadzu IR Spirit T dengan aksesoris QATRs menggunakan acuan *Shimadzu FTIR Library*. Berdasarkan Gambar.6 limbah kertas yang telah diolah menjadi biosorben memiliki kemiripan dengan material *Microcrystalline Cellulose*. *Microcrystalline Cellulose* (MCC) adalah merupakan α -selulosa yang terdepolimerisasi sebagian dan dimurnikan sampai berwarna putih, tidak berbau, tidak berasa, memiliki derajat polimerisasi ≤ 350 , dan berbentuk serbuk kristalin yang terdiri atas partikel berpori (Diharmi & Davera, 2019).

4.2.2 Hasil Karakterisasi Karbon Aktif

4.2.2.1 Hasil Penetapan Kadar Air

Kadar air menunjukkan presentase air pada karbon aktif. Karbon aktif dapat menyerap uap air di udara karena higroskopis. Setelah molekul air hilang dari karbon aktif, pori-pori karbon aktif menjadi lebih besar. Semakin besar pori-pori, semakin luas permukaan karbon aktif. Bertambahnya luas permukaan ini menyebabkan karbon aktif memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih besar (Idrus *et al.*, 2013). Ketika kemampuan adsorpsi karbon aktif meningkat, kualitasnya juga

meningkat. Hasil penetapan kadar air pada karbon aktif didapatkan hasil pada Tabel.5

Tabel 5. Hasil Penentuan Kadar Air Pada Karbon Aktif

Konsentrasi NaOH	Kadar Air (%)	Baku Mutu SNI 06-0730-1995
0 % (Kontrol)	12,78	15 %
10%	7,38	

Hasil pada Tabel. 5 menunjukkan adanya penurunan kadar air setelah karbon aktif diaktivasi menggunakan aktivator NaOH 10%. NaOH merupakan aktivator basa kuat dapat menghilangkan pengotor dan membuka pori-pori karbon aktif sehingga dapat menurunkan kadar air.

4.2.2.2 Hasil Penetapan Kadar Abu

Kadar abu dikenal sebagai jumlah oksida logam yang terdiri dari mineral yang tidak menguap selama proses pengabuan. Abu yang berlebihan menyebabkan pori-pori karbon aktif tertutup, menyebabkan luas permukaan karbon aktif berkurang (Laos & Selan, 2016). Hasil penetapan kadar abu dapat diamati pada Tabel.6

Tabel 6. Hasil Penentuan Kadar Abu Pada Karbon Aktif

Konsentrasi NaOH	Kadar Abu (%)	Baku Mutu SNI 06-0730-1995
0 % (Kontrol)	31,44	10 %
10%	23,05	

Hasil pada Tabel.6 menunjukkan bahwa kadar abu pada tidak memenuhi syarat mutu yang ditetapkan oleh SNI 06-0730-1995, hal ini dipengaruhi oleh penggunaan NaOH sebagai aktivator. NaOH yang tersisa pada karbon aktif dapat menambah bobot abu pada karbon aktif karena sisa natrium dapat membentuk oksida logam Na_2O , sehingga bobot abu bertambah.

4.2.2.3 Hasil Penetapan Daya Serap Iodin

Adsorpsi iodin digunakan untuk menentukan kemampuan daya serap dari karbon aktif yang juga mengindikasikan bahwa karbon aktif dapat menyerap partikel yang lebih kecil dari iodin. Daya serap iodin ditunjukkan dengan hasil mg iodin yang diserap oleh satu gram karbon aktif (mg/g). Hasil penelitian dapat dilihat di Tabel.7

Tabel 7. Hasil Penentuan Daya Serap Iodin

Konsentrasi Aktivator NaOH (%)	Daya Serap I ₂ (mg/g)	Baku Mutu SNI 06-0730-1995
0 (Kontrol)	147,05	750 mg/g
10	258,50	

Karbon aktif teraktivasi memiliki daya serap I₂ sebesar 258,50 mg/g lebih besar dari karbon aktif yang tidak diaktivasi yaitu 147,05 mg/g. Aktivasi merupakan perlakuan terhadap karbon untuk memperbesar pori dengan memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi (Idrus *et al.*, 2013). NaOH merupakan bahan kimia salah satu agen aktivator karbon aktif yang bersifat basa kuat dan dapat menghilangkan pengotor dan menambah besar pori karbon aktif sehingga dapat meningkatkan daya serap I₂. Pada penelitian ini daya serap I₂ dibawah baku mutu, hal ini disebabkan oleh kadar abu sampel yang terlalu tinggi sehingga terjadi penyumbatan pori karbon aktif dan daya serap berkurang.

Pada penelitian yang dilakukan (Hartanto & Ratnawati, 2010) menggunakan aktivator yang sama dengan bahan baku berbeda yaitu tempurung kelapa menghasilkan daya serap iod sebesar 851,87 mg/g. Sifat fisik dan kimia karbon aktif bervariasi tergantung dari bahan baku yang digunakan dan cara pengaktifannya (Yeganeh *et al.*, 2006).

4.3 Hasil Optimasi Kondisi Optimum Biosorben dan Karbon Aktif

4.3.1 Hasil Optimasi Kondisi Optimum Biosorben

4.3.1.1 Hasil Optimasi Kondisi pH Optimum Biosorben

Pada penelitian ini dilakukan variasi pH untuk menentukan pH optimum dari proses adsorpsi ion logam Fe oleh biosorben. Kondisi pH akan menunjukkan kelarutan ion logam karena berpengaruh pada muatan situs aktif adsorben serta spesi logam yang ada dalam larutan (Ischak *et al.*, 2021). Ion H^+ akan bersaing dengan kation logam untuk mengikat biosorben. Tabel 8 menunjukkan hasil pengukuran daya serap biosorben pada perubahan pH.

Tabel 8. Data Optimasi pH Optimum Adsorpsi Biosorben

pH	Konsentrasi Larutan Fe Sebelum Dikontakan Dengan Adsorben (mg/L)	Konsentrasi Larutan Fe Setelah Dikontakan Dengan Adsorben (mg/L)
Asam (pH 2)	4,602	Tidak Terdeteksi
Netral (pH 7)	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
Basa (pH 12)	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi

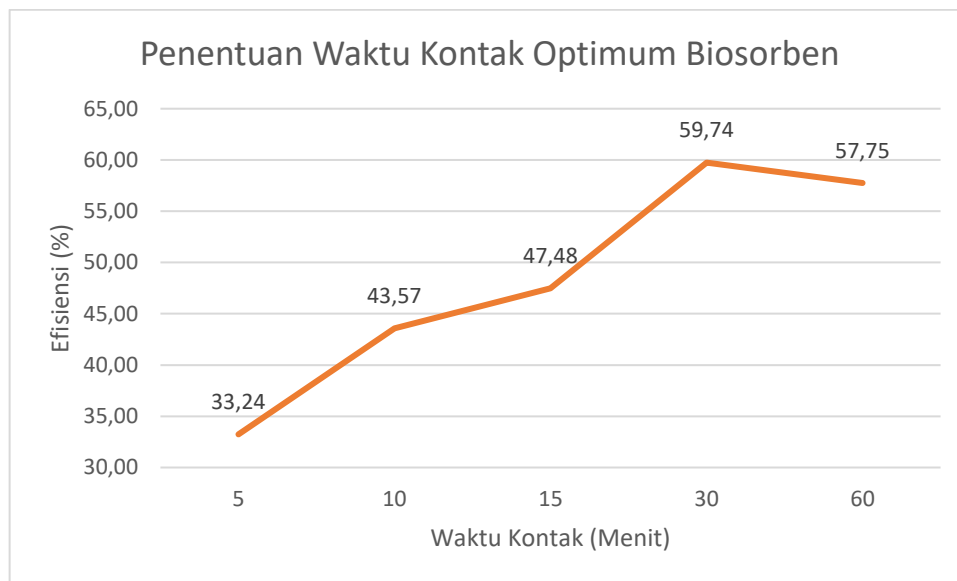
Dari Tabel.8 dapat diamati bahwa kondisi pH asam memiliki kemampuan adsorpsi logam Fe pada konsentrasi Fe 5 mg/L yang baik, karena dalam keadaan asam membentuk protonasi ion H^+ dari gugus yang terdapat pada adsorben dan bermuatan positif yang sangat reaktif terhadap spesiasi anion dan akibat hadirnya ion OH^- gugus-gugus adsorben mengalami deprotonasi dan memiliki muatan negatif yang sangat reaktif terhadap spesiasi logam dalam bentuk kation (Ischak *et al.*, 2021). Gugus fungsi pada selulosa yang terdapat kertas ($-OH$) mengalami deprotonasi dan yang membuat selulosa bermuatan negatif, yang menghasilkan peningkatan kemampuan pengikat.

Konsentrasi Fe 5 mg/L akan mengendap pada pH netral dan basa, ion logam Fe terendapkan dalam bentuk hidroksidanya hal ini disebabkan oleh kelarutan ion Fe yang sangat kecil pada pH tersebut di suhu $20^{\circ}C$ yaitu $K_{sp}: 2,79 \times 10^{-39}$. Ketika pH 7 nilai Q_{sp} sebesar $26,79 \times 10^{-26}$ dan pada pH 12 nilai Q_{sp} sebesar $26,79 \times 10^{-11}$ (Lampiran 13). Secara teoritis nilai apabila nilai $Q_{sp} > K_{sp}$

menyebabkan terendapkannya solut pada larutan, hal tersebut menyebabkan ion Fe mengendap dan tidak terjadi proses adsorpsi pada pH tersebut sehingga daya adsorpsi tidak dapat ditentukan dengan baik.

4.3.1.2 Hasil Optimasi Waktu Kontak Optimum Biosorben

Pada penelitian ini dilakukan percobaan variasi waktu kontak optimum untuk mengetahui waktu optimum biosorben melakukan adsorpsi terhadap adsorbat. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar.7

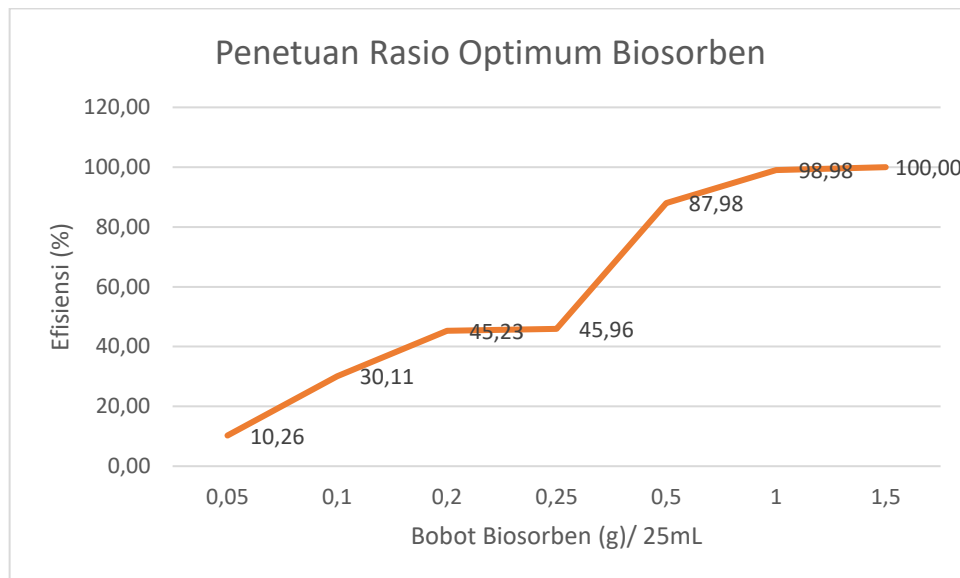


Gambar 7. Grafik Penentuan Waktu Kontak Optimum Biosorben

Dari Gambar.7 didapatkan hasil waktu kontak optimum dengan efisiensi adsorpsi terbesar pada menit ke 30 sebesar 59,74%. Pada waktu kontak 5 menit sebesar 33,4 %, 10 menit sebesar 43,57 %, 15 menit sebesar 47,48 % dan 60 menit sebesar 57,75 %. Waktu kontak optimum terjadi pada menit 30 setelah itu terjadi penurunan tidak signifikan. Waktu kontak antara adsorben dan adsorbat yang melebihi waktu kontak optimum dapat menyebabkan desorpsi yang berarti adsorbat dilepaskan kembali dari permukaan adsorben. Fenomena ini terjadi akibat jenuhnya permukaan adsorben, sehingga molekul adsorbat yang telah terjerap dapat kembali ke dalam larutan (Ischak *et al.*, 2021). Pada keadaan jenuh laju adsorpsi berkurang, sehingga waktu kontak tidak memberi terlalu berpengaruh lagi.

4.3.1.3 Hasil Optimasi Rasio Optimum Volume Limbah dan Bobot Adsorben

Pada penelitian ini dilakukan percobaan variasi bobot biosorben yang dikontakan terhadap air limbah untuk mengetahui rasio optimum adsorben menyerap adsorbat. Hasil penelitian dapat ditinjau pada Gambar 8.



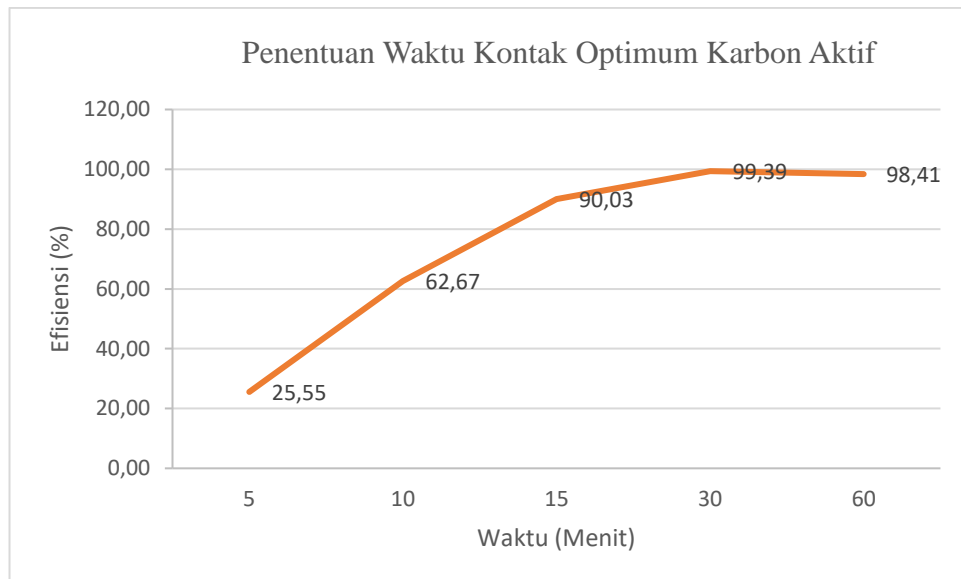
Gambar 8. Grafik Penentuan Rasio Optimum Biosorben

Dari Gambar.8 dapat diamati bahwa efisiensi adsorben untuk menyerap adsorbat berkorelasi positif dengan bobot yang digunakan dengan kecenderungan yang terjadi ialah semakin besar bobot adsorben yang digunakan maka efisiensi adsorben menyerap adsorbat semakin besar, pada penelitian ini bobot adsorben 1,5 gram, adsorben memiliki efisiensi sebesar 100% untuk menyerap logam Fe pada volume contoh uji 25 mL dengan rasio 3:50. Peningkatan jumlah adsorben berbanding lurus dengan peningkatan jumlah partikel dan luas permukaan adsorben, sehingga tempat pengikatan ion logam meningkat mengakibatkan efisiensi meningkat (Ischak *et al.*, 2021).

4.3.2 Hasil Optimasi Kondisi Optimum Karbon Aktif

4.3.2.1 Hasil Optimasi Waktu Kontak Optimum

Pada penelitian ini dilakukan percobaan variasi waktu kontak optimum untuk mengetahui waktu optimum karbon aktif melakukan adsorpsi terhadap adsorbat. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 9.

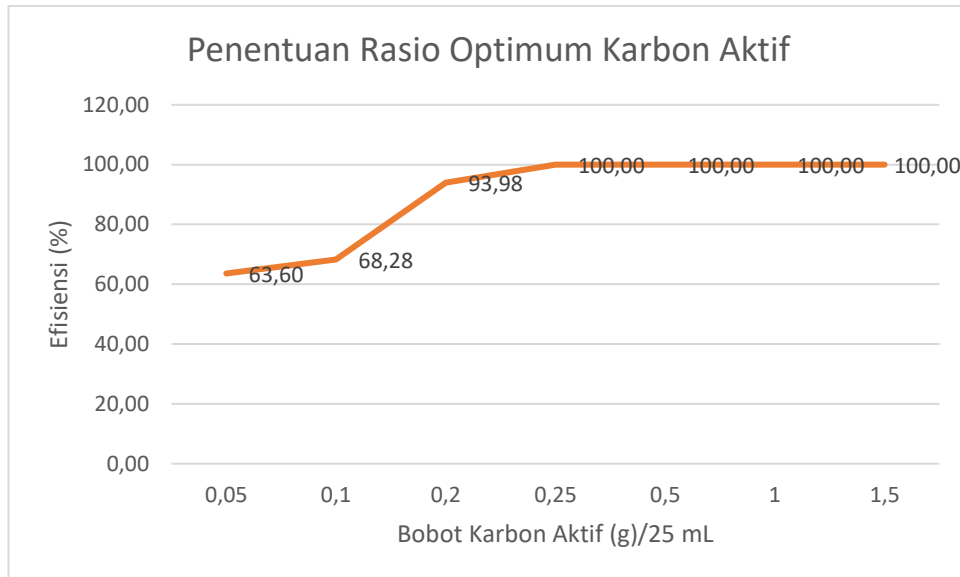


Gambar 9. Grafik Penentuan Waktu Kontak Optimum Karbon Aktif

Dari Gambar.9 didapatkan hasil bahwa waktu kontak optimum dengan efisiensi adsorpsi terbesar pada menit ke 30 sebesar 99,39 %. Pada waktu kontak 5 menit sebesar 25,55 %, 10 menit sebesar 62,67 %, 15 menit sebesar 90,03 % dan 60 menit sebesar 98,41 %. Waktu kontak optimum terjadi pada menit 30 setelah itu terjadi penurunan tidak signifikan. Waktu kontak antara adsorben dan adsorbat yang melebihi waktu kontak optimum menyebabkan desorpsi. Desorpsi adalah pelepasan adsorbat dari permukaan adsorben. Fenomena ini terjadi akibat jenuhnya permukaan adsorben, sehingga molekul adsorbat yang telah terjerap dapat kembali ke dalam larutan (Ischak *et al.*, 2021). Pada keadaan jenuh laju adsorpsi berkurang, sehingga waktu kontak tidak memberi terlalu berpengaruh.

4.3.2.2 Hasil Optimasi Rasio Volume Limbah dan Bobot Karbon Aktif

Pada penelitian ini dilakukan percobaan variasi bobot karbon aktif yang dikontakan terhadap air limbah untuk mengetahui rasio optimum adsorben menyerap adsorbat. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar.10



Gambar 10. Grafik Penentuan Rasio Optimum Karbon Aktif

Dari Gambar.10 dapat diamati bahwa kecenderungan yang terjadi adalah semakin besar bobot karbon aktif yang digunakan maka efisiensi adsorben menyerap adsorbat semakin besar, pada penelitian ini bobot 0,25 gram karbon aktif sudah memiliki efisiensi sebesar 100% untuk menyerap logam Fe pada volume contoh uji 25 mL dengan rasio optimum 1:100. Pada karbon aktif peningkatan bobot tidak memengaruhi nilai efisiensi adsorpsi dari karbon aktif. Bertambahnya jumlah adsorben sebanding dengan bertambahnya jumlah partikel dan luas permukaan adsorben sehingga menyebabkan jumlah tempat mengikat ion logam bertambah dan efisiensinya meningkat (Ischak *et al.*, 2021). Karbon aktif memiliki rasio yang lebih efektif dibandingkan dengan biosorben, karena pengaruh jumlah pori-pori dan luas permukaannya yang lebih besar dibandingkan dengan biosorben.

4.4 Penentuan Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi adalah proses adsorpsi yang berlangsung pada temperatur tetap (Meila *et al.*, 2021). Langmuir dan Freundlich adalah isoterm adsorpsi yang umum digunakan. Persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich diubah menjadi kurva kesetimbangan garis lurus. Harga koefisien determinan (R) yang tinggi adalah dasar model kesetimbangan. Hasil dari identifikasi isoterm adsorpsi adalah sebagai berikut.

Tabel 9. Perbandingan Isoterm Langmuir dan Freundlich Pada Biosorben

Logam	Isoterm	Determinan (R^2)
Besi (Fe)	Langmuir	0,9917
	Freundlich	0,9470

Tabel 10. Perbandingan Isoterm Langmuir dan Freundlich Pada Karbon Aktif

Logam	Isoterm	Determinan (R^2)
Besi (Fe)	Langmuir	0,9994
	Freundlich	0,9766

Pada penentuan isoterm ini dilakukan pada kondisi optimum adsorben. Ditinjau dari nilai determinan (R^2) maka persamaan isoterm langmuir paling sesuai untuk isoterm adsorpsi pada penelitian ini. Isoterm adsorpsi langmuir mengindikasikan bahwa adsorpsi hanya berlangsung satu lapis dan situs permukaan bersifat homogen karena masing-masing situs hanya mengadsorpsi satu molekul (Miri, 2022). Pada penentuan isoterm adsorpsi dapat ditentukan pula nilai kapasitas maksimum adsorpsi dari biosorben dan karbon aktif. Dari lampiran 10 dan 11 dapat dilihat bahwa kapasitas maksimum adsorpsi untuk biosorben sebesar 1,61 mg/g dan untuk karbon aktif sebesar 47,59 mg/g.

4.5 Hasil Aplikasi Biosorben dan Karbon Aktif Pada Air Limbah Laboratorium Pengujian

Biosorben dan Karbon Aktif yang telah diketahui kondisi optimumnya digunakan untuk menurunkan kadar Fe terlarut pada air limbah laboratorium di PT ITEC Solution Indonesia. Kadar Fe terlarut pada air limbah laboratorium sebelum dikontakan dengan biosorben dan karbon aktif memiliki kadar 7,625 mg/L. Pada aplikasi adsorpsi sampel limbah digunakan bobot 1,5 gram untuk biosorben dan 0,25 gram untuk karbon aktif selama 30 menit pada pH 2. Kemudian sampel diukur

kadar logamnya menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA). Berikut adalah tabel hasil efisiensi adsorpsi logam Fe pada biosorben dan karbon aktif.

Tabel 11. Hasil Adsorpsi Logam Fe pada Biosorben dan Karbon Aktif

Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir Biosorben (mg/L)	Konsentrasi Akhir Karbon Aktif (mg/L)	Efisiensi Biosorben (%)	Efisiensi Karbon Aktif (%)	Kapasitas Adsorpsi Biosorben (mg/g)	Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif (mg/g)
7,625	4,868	4,299	36,16	43,63	0,05	0,33

Hasil aplikasi pada biosorben dan karbon aktif didapatkan efisiensi adsorpsi berturut-turut sebesar 36,16 % dan 43,63 % yang mana kapasitas adsorpsi sebesar 0,05 mg/g dan 0,33 mg/g pada air limbah laboratorium PT ITEC Solution Indonesia. (Herlenasari & Sari, 2017) telah melakukan penelitian pembuatan adsorben menggunakan kertas koran bekas dengan menggunakan metode preparasi yang sama juga untuk menyerap logam Fe dan didapatkan efisiensi sebesar 97,18 % dari konsentrasi awal 20 mg/L menjadi 0,56 mg/L dan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 0,9718 mg/g pada limbah buatan menggunakan bobot adsorben 1 gram dan dengan pengadukan selama 60 menit. Faktor yang menyebabkan perbedaan signifikan dari efisiensi yang diperoleh dengan hasil penelitian disebabkan oleh aplikasi pada jenis air limbah yang berbeda dan adanya proses pengadukan yang dilakukan pada penelitian sebelumnya.

Dari Tabel.11 dapat dilihat bahwa limbah kertas HVS dapat dijadikan alternatif adsorben untuk menyerap logam Fe, baik dalam bentuk biosorben maupun karbon aktif yang mana karbon aktif lebih efektif dibandingkan biosorben karena adanya pengaruh luas permukaan dan pori yang lebih besar. Konsentrasi akhir logam Fe pada air limbah di PT ITEC Solution Indonesia yang diperoleh dari hasil pengolahan baik menggunakan biosorben maupun dengan karbon aktif dari limbah kertas HVS telah memenuhi nilai ambang batas baku mutu air limbah yang ditetapkan oleh PermenLH No. 5 tahun 2014 untuk golongan I yaitu 5 mg/L.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil penelitian kali ini menunjukkan bahwa limbah kertas HVS dapat dijadikan sebagai biosorben dan karbon aktif. Aktivasi karbon aktif menggunakan NaOH 10 % menghasilkan daya adsorpsi iodine sebesar 258,50 mg/L.
2. Logam Fe teradsorpsi secara optimal oleh biosorben pada kondisi optimum pH 2, waktu kontak 30 menit dengan bobot 1,5 gram dan logam Fe juga dapat diadsorpsi secara optimal oleh karbon aktif pada kondisi optimum pH 2, waktu kontak 30 menit dengan bobot 0,25 gram.
3. Biosorben dan Karbon aktif mengikuti model isotherm adsorpsi langmuir.
4. Hasil aplikasi biosorben dan karbon aktif terhadap logam Fe didapatkan efisiensi adsorpsi berturut-turut sebesar 36,16 % dan 43,63 % dan kapasitas adsorpsi sebesar 0,05 mg/g dan 0,33 mg/g pada air limbah laboratorium PT ITEC Solution Indonesia

5.2 Saran

1. Pada penetapan bobot optimum biosorben, dilakukan pengujian lanjutan dengan bobot lebih dari 1,5 gram, agar diketahui bobot ketika terjadinya penurunan efisiensi. Selain itu pada karbon aktif dilakukan juga karakterisasi dengan SEM, penggunaan jenis aktivator yang lain dan optimasi terhadap logam berat yang lain.
2. Dilakukan jenis pengolahan air limbah yang lain, agar air limbah memenuhi baku mutu air permukaan sesuai PP RI no. 22 Tahun 2021 lampiran VI dan air limbah layak untuk dibuang ke lingkungan yaitu sebesar 0,3 mg/L

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T. (2014). Kontaminasi Logam Berat Pada Makanan Dan Dampaknya Pada Kesehatan. *Teknobuga*, 1(1).
- Ayunda, V., Humaidi, S., & Barus, D. A. (2013). Pembuatan Dan Karakterisasi Kertas Dari Daun Nanas Dan Eceng Gondok. *Saiintia Fisika*. Wwww.Brodes.Multiply.Com
- Bernianty, T. (2018). *Biomarker Toksisitas*. Airlangga Universiity Press.
- Chakravarty, S., Bhattacharjee, S., Gupta, K. K., Singh, M., Chaturvedi, H. T., & Maity, S. (2007). Adsorption of zinc from aqueous solution using chemically treated newspaper pulp. *Bioresource Technology*, 98(16), 3136–3141. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.10.040>
- Dahlia, & Rosma Indah. (2017). Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia Upaya Menurunkan Kadar Ion Logam Besi Pada Air Sumur. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 5(2), 58–66. <http://ojs.ikipmataram.ac.id/index.php/hydrogen/index>
- Diharmi, A., & Davera Sari, E. (2019). Karakteristik Selulosa Mikrokrystalin Dari Rumput Laut Merah *Euचेuma cottonii*. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 22(3), 483–489.
- Djunaidi, M. C., Wibawa, P. J., & Suseno, A. (2020). Pengenalan Metode Adsorpsi Logam Fe (III) Menggunakan Selulosa dan Selulosa Asetat dari Serbuk Gergaji Kayu kepada Siswa SMA Al-Azhar 14 Semarang. *Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat UNDIP*, 93–96.
- Febrina, L., & Ayuna, A. (2015) Studi Penurunan Kadar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Dalam Air Tanah Menggunakan Saringan Keramik. *Jurnal Teknologi*, 7(1).
- Fuadi, A. M., Harismah, K., & Setiawan, A. (2015). Hidrolisis Enzimatis Kertas Bekas Dengan Variasi Pemanasan Awal. *University Research Colloquium*, 1–8.
- Hartanto, S., & Ratnawati. (2010). Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia (Singih Hartanto). *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 12(1), 12–16.
- Herlenasari, A., & Sari, M. P. (2017). Pembuatan Adsorben Dari Koran Bekas Untuk Mengurangi Kadar Fe Dan Cu Dalam Air Limbah. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 02(01).

- Idrus, R., Pahlanop Lapanporo, B., & Satria Putra, Y. (2013). Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa. *Prisma Fisika*, *1*(1), 50–55.
- Ino Ischak, N., Fazriani, D., & Botutihe, D. N. (2021). Ekstraksi Dan Karakterisasi Selulosa Dari Limbah Kulit Kacang Tanah (*Arachis Hypogaea* L.) Sebagai Adsorben Ion Logam Besi. *Jamb.J.Chem*, *3*(1), 27–36.
- Jain, C. K., & Ram, D. (1997). Adsorption Of Lead And Zinc On Bed Sediments Of The River Kali. In *Wat. Res* (Vol. 31, Issue 1).
- Kiki, A., Ariansyah, K., Yuliati, S., & Hanggita, R. J. (2012). Analisis Kandungan Logam Berat (Pb, Hg, Cu Dan As) Pada Kerupuk Kemplang Di Desa Tebing Gerinting Utara, Kecamatan Indralaya Selatan, Kabupaten Ogan Ilir. *Fishtech*, *1*(1), 69–77.
- Laos, L. E., & Selan, A. (2016). Pemanfaatan Kulit Singkong Sebagai Bahan Baku Karbon Aktif. *Jurnal Pendidikan Fisika*, *1*(1), 32–36. <https://media.neliti.com/media/publications/181354-ID-pemanfaatan-kulit-singkong-sebagai-bahan.pdf>
- Lloyd I. Osipow. (1962). *Surface Chemistry: Theory and Industrial Application*. Reinhold Publishing Corporation.
- Meila, A. U., Hasan, A., Purnamasari, I., Teknik Kimia, J., Sriwijaya, N., Srijaya, J., Bukit, N., & Palembang, B. (2021). Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) Dan Timbal (Pb) Kinetic Adsorption Of Activated Carbon In Decreasing Concentrations Of Copper (Cu) And Lead (Pb) Metals. *Jurnal Kinetika*, *12*(02), 29–37. <https://Jurnal.Polsri.Ac.Id/Index.Php/Kimia/Index>
- PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP REPUBLIK INDONESIA No.5 Tahun 2014 (2014).
- Priadi, C. R., Anita, A., Sari, P. N., & Moersidik, S. S. (2014). Adsorpsi Logam Seng (Zn) Dan Timbal (Pb) Pada Limbah Cair Industri Keramik Oleh Tanah Liat. *Reaktor*, *15*(1), 10. <https://doi.org/10.14710/Reaktor.15.1.10-19>
- Purnamawati, F. S., Soeprobawati, T. R., & Izzati, M. (2015). Potensi *Chlorella vulgaris* Beijerinck Dalam Remediasi Logam Berat Cd Dan Pb Skala Laboratorium. *BIOMA*, *16*(2), 102–113.

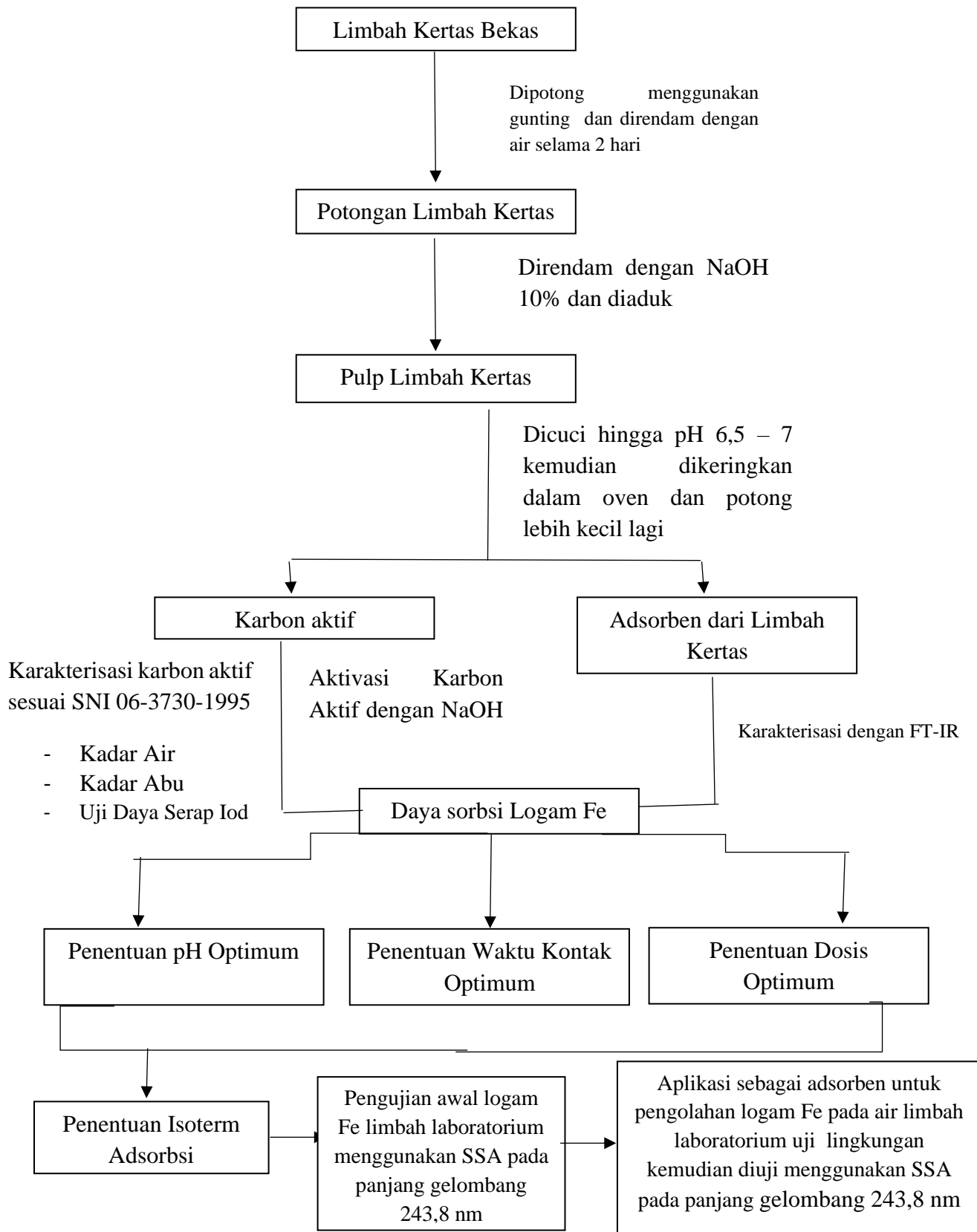
- Putri, W. N., & Mirwan, M. (2020). Pemanfaatan Limbah Jagung Dan Kulit Kakao Sebagai Adsorben Pada Pengolahan Limbah Cair Batik. *Seminar Nasional (Esec)*, 79–87.
- Rimantho, D. (2019). Analisis Kapabilitas Proses Untuk Pengendalian Kualitas Air Limbah Di Industri Farmasi. *Januari*, 11(1). <https://doi.org/10.24853/Jurtek.11.1.1-8>
- Sariana Sarana Miri, N. (2022). Review : Kajian Persamaan Isoterm Langmuir Dan Freundlich Pada Adsorpsi Logam Berat Fe (Ii) Dengan Zeolit Dan Karbon Aktif Dari Biomassa Review : Equation Study Of Langmuir And Freundlich Isotherms On Adsorption Of Heavy Metal Fe (Ii) With Zeolite And Activated Carbon From Biomass. *Jurnal Kimia Dan Rekayasa*, 2(2). [Http://kireka.setiabudi.ac.id](http://kireka.setiabudi.ac.id)
- Sni 06-3739-1995 Tentang Arang Aktif Teknis, Standardisasi Nasional Indonesia (1995).
- Sri Widyaningsih, T., Jurusan Fakultas Teknik Lingkungan Institut Teknologi Yogyakarta, M., Lingkungan Hidup, Y., & Artikel, R. (2022). *Pemanfaatan Arang Aktif Kulit Pisang Kepok Sebagai Adsorben Terhadap Penurunan Kadar Polutan Air Sumur Gali Dengan Sistem Air Mengalir*. 2(6), 99–107.
- Supriyatno, B. (2000). Pengelolaan Air Limbah Yang Berwawasan Lingkungan Suatu Strategi Dan Langkah Penanganannya. *Jurnal Teknologi Lingkungan, No.1*(No.1), 17–26.
- Sutyasmi, S., Budi, H., Balai, S., Kulit, B., Karet, D., & Plastik, Y. (2013). THE USE OF Aquatic Plants (Equisetum Hyemale And Echinodorus Palaef) In Tannery Wastewater Treatment To Reduce Pollutant Load With Wetland And Adsorption System. *Majalah Kulit, Karet, Dan Plastik*, 29(2), 69–76.
- Tris H, E., Kariada Tri Martuti, N., Biologi, J., & Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang, F. (2020). Analisis Cemar Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Dalam Daging Ikan Kakap Merah (*Lutjanus sp.*) Di TPI Kluwut Brebes. *Life Sciences*, 2. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/LifeSci>
- Yeganeh, M. M., Kaghazchi, T., & Soleimani, M. (2006). Effect of raw materials on properties of activated carbons. *Chemical Engineering and Technology*, 29(10), 1247–1251. <https://doi.org/10.1002/ceat.200500298>

Zhang, X., Tan, J., Wei, X., & Wang, L. (2013). Removal of Remazol turquoise Blue G-133 from aqueous solution using modified waste newspaper fiber. *Carbohydrate Polymers*, 92(2), 1497–1502. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.10.066>

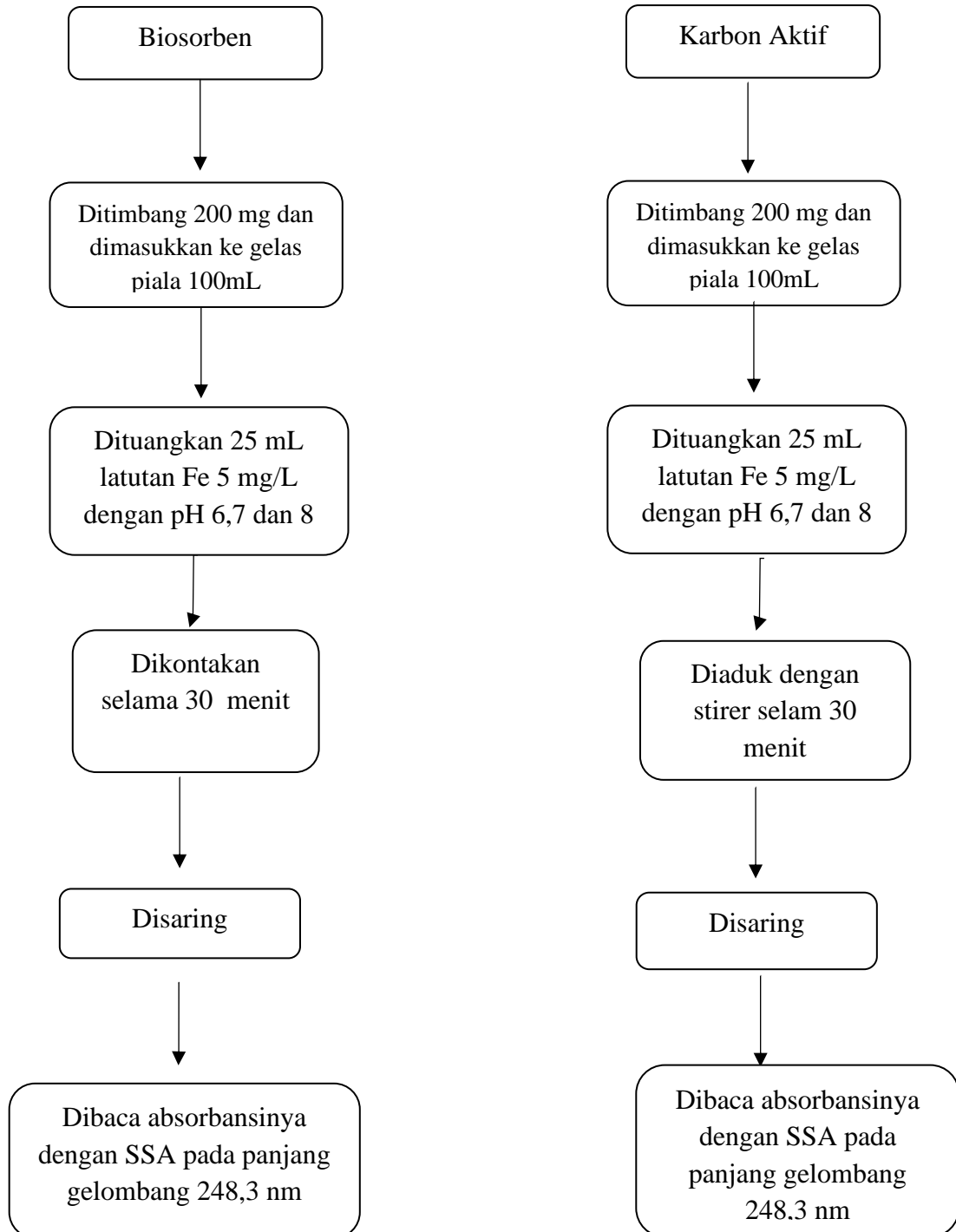
Zustriani, A. K. (2019). Pengaruh Aktivasi Adsorben Biji Pepaya Terhadap Adsorpsiion Logam Besi (Fe) Dan Tembaga (Cu) Dalam Air Limbah. *Integrated Lab Journal*, 07(01), 29–43. <https://doi.org/10.5281/Zenodo.2656804>

LAMPIRAN

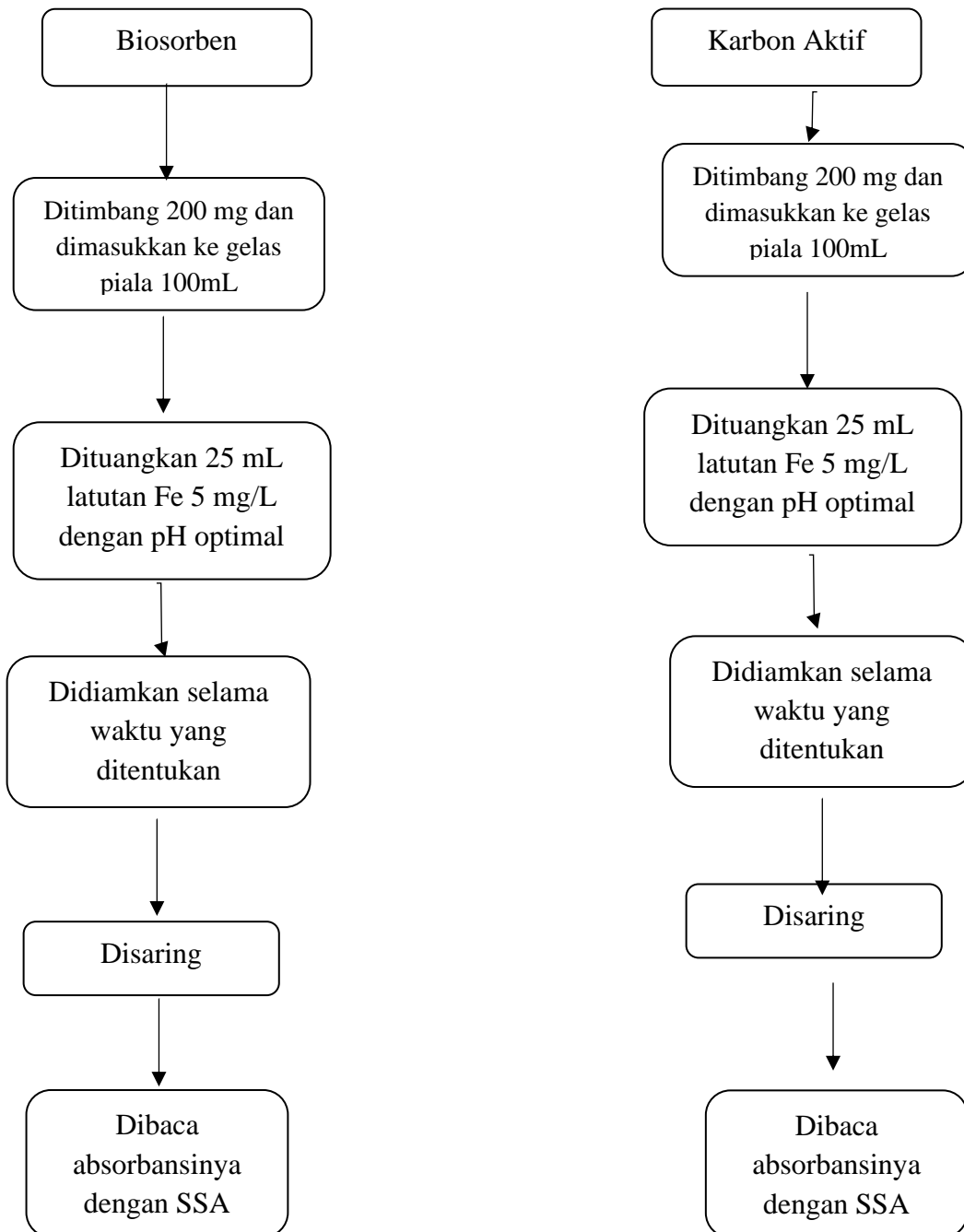
Lampiran 1. Diagram Umum Penelitian



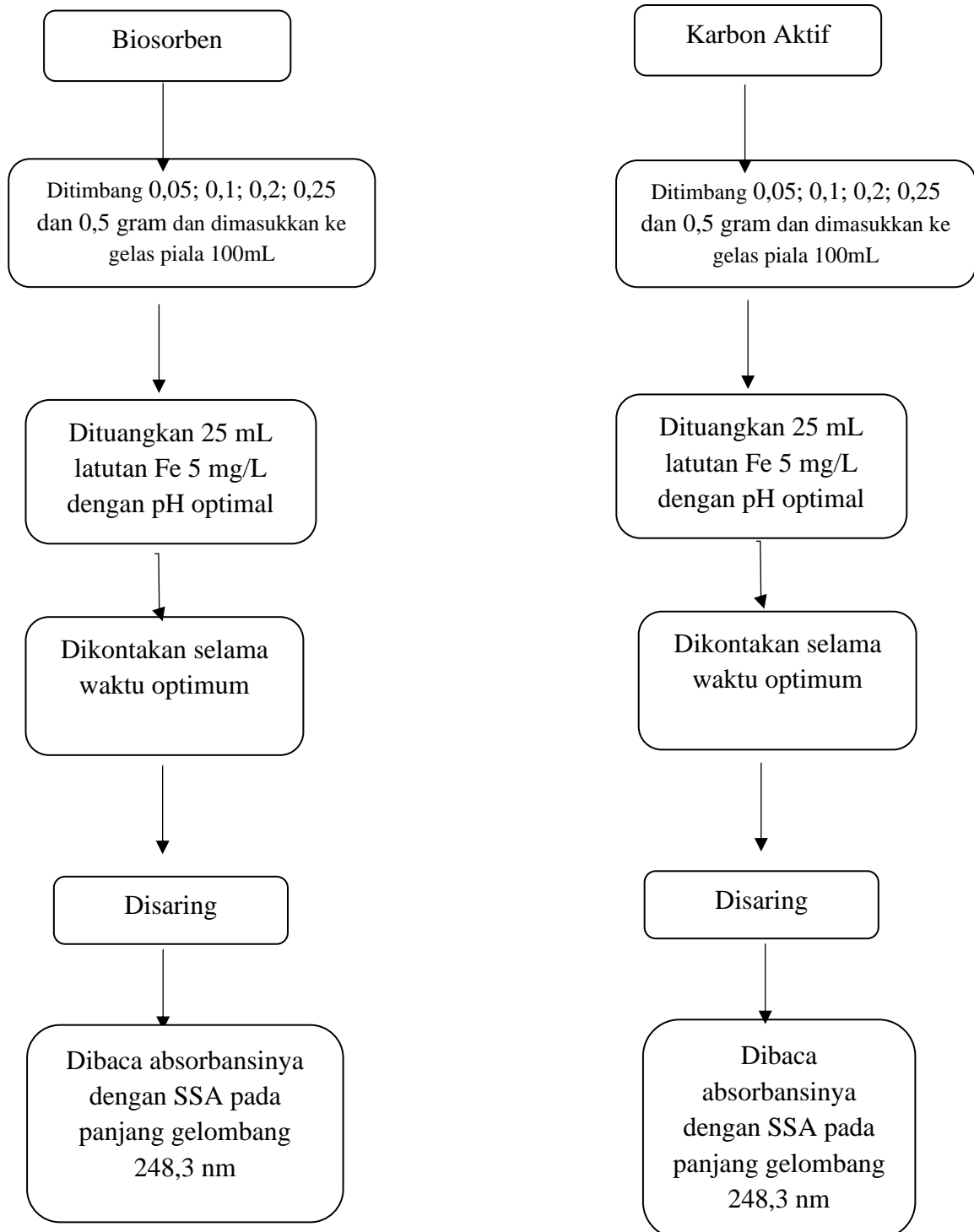
Lampiran 2. Penentuan pH Optimum Adsorpsi Logam Fe Pada Variasi pH 2,7 dan 10

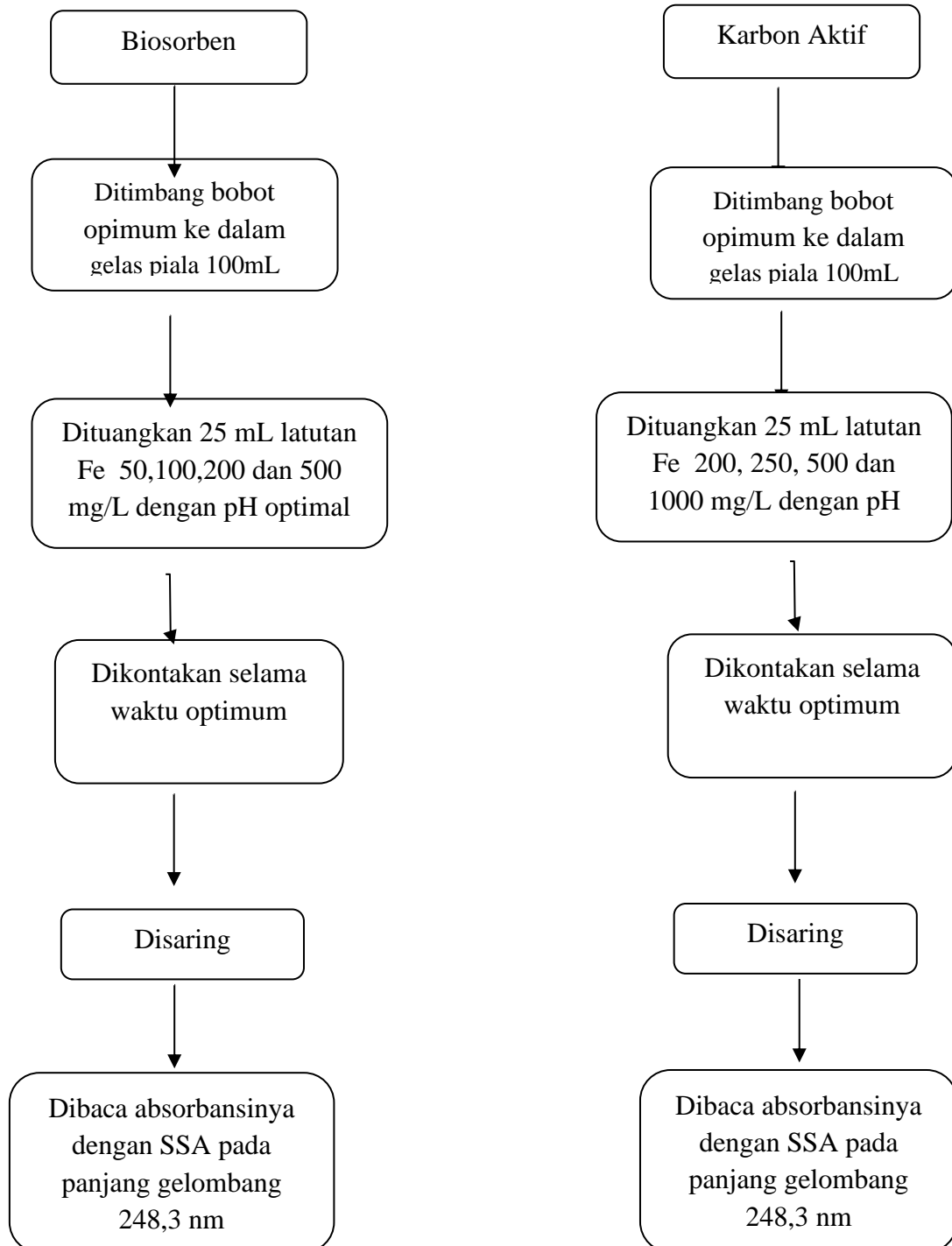


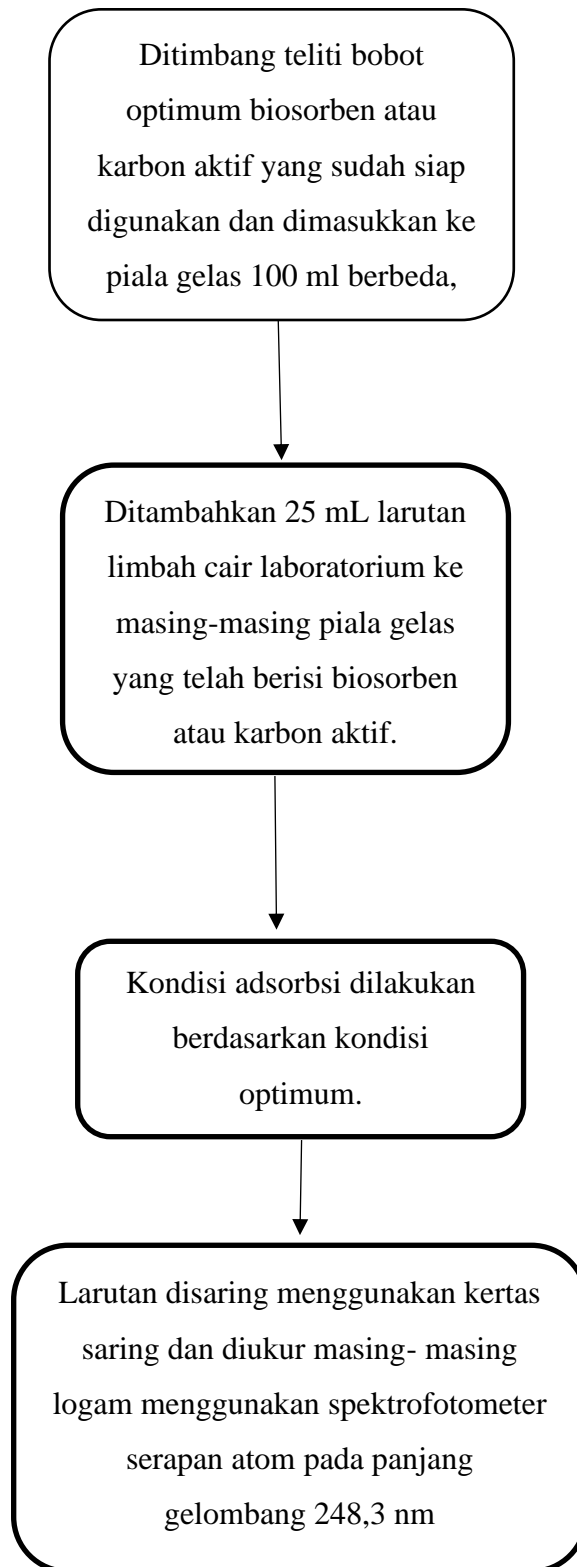
Lampiran 3. Penentuan pH Optimum Logam Fe Pada Variasi Waktu Kontak 5,10,15,30 dan 60 menit



Lampiran 4. Penentuan pH Optimum Adsorpsi Logam Fe Pada Variasi Bobot Optimum 0,05; 0,1; 0,2; 0,25; 0,5; 1,0 dan 1,5 gram



Lampiran 5. Penentuan isoterm adsorpsi

Lampiran 6. Aplikasi iosorben dan Karbon Aktif Pada Limbah aboratorium

Lampiran 7. Perhitungan Kadar Air

Konsentrasi NaOH (%)	Ulangan	Bobot Cawan W0 (g)	W1 (g)	W2 (g)	% Kadar Air	Rerata Kadar Air	% RPD
0 % (Kontrol)	1	72,1561	73,1577	73,0281	12,94	12,78	2,56
	2	52,2239	53,2277	53,1011	12,61		
10%	1	62,7900	63,7994	63,7228	7,59	7,38	5,56
	2	51,7302	52,7319	52,6600	7,18		

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{w1-w2}{w1-w0} \times 100\%$$

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{73,1577-73,0281}{73,1577-72,1561} \times 100\% = 12,94 \%$$

Lampiran 8. Perhitungan Kadar Abu

Konsentrasi NaOH (%)	Ulangan	Bobot Cawan Kosong W_0 (g)	Cawan + Abu W_1 (g)	Bobot Sampel (g)	% Kadar Abu	Rerata Kadar Air	% RPD
0 % (Kontrol)	1	27,5826	28,2141	2,0000	31,58	31,44	0,86
	2	27,0404	27,6665	2,0000	31,30		
10%	1	27,6392	28,0999	2,0000	23,04	23,05	-0,15
	2	27,3303	27,7917	2,0001	23,07		

$$\text{Kadar Abu} = \frac{W_1 - W_0}{\text{Bobot Sampel}} \times 100\%$$

$$\text{Kadar abu} = \frac{28,2141 - 27,5826}{2,000} \times 100\% = 31,58 \%$$

Lampiran 9. Penetapan Daya Serap Iodin

Konsentrasi Aktivator NaOH (%)	Ulangan	Blanko (mL)	V tio (mL)	Normalitas Tio (mgrek/mL)	Bst (mg/mgrek)	Bobot Karbon Aktif (g)	Daya Serap I ₂	Rerata Daya Serap I ₂	RPD
0%	1	7,9	5,7	0,1010	126,93	0,5019	140,49	147,05	8,93
	2		5,5	0,1010	126,93	0,5007	153,62		
10%	1		4	0,1010	126,93	0,5036	248,20	258,50	7,96
	2		3,7	0,1010	126,93	0,5008	268,79		

$$\text{Daya Serap Iodin (mg/g)} = \frac{25}{10} \times \frac{(V \text{ blanko} - V \text{ sampel}) \times BE \text{ Iod} \times N \text{ Na-Tiosulfat}}{\text{Bobot sampel karbon aktif}}$$

$$\text{Daya Serap Iodin (mg/g)} = \frac{25}{10} \times \frac{(7,9 - 5,7) \times 126,93 \times 0,1010}{0,5019} = 140,49 \text{ mg/g}$$

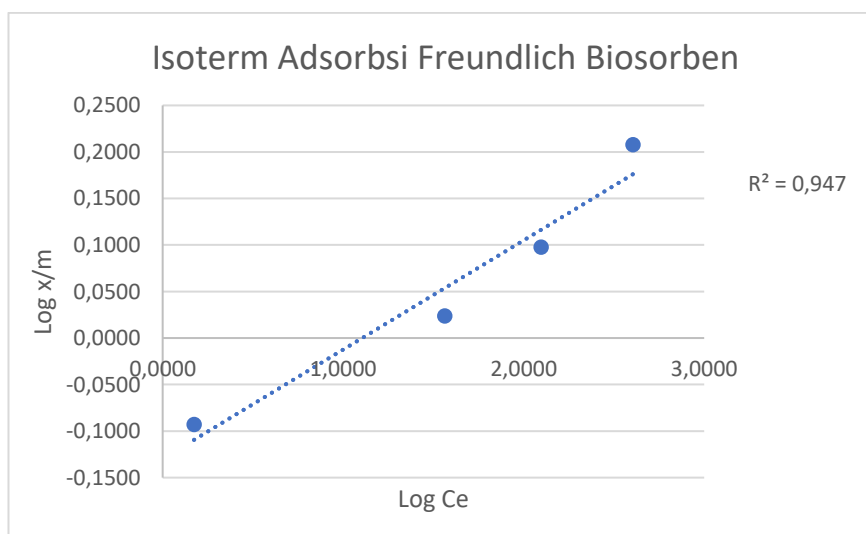
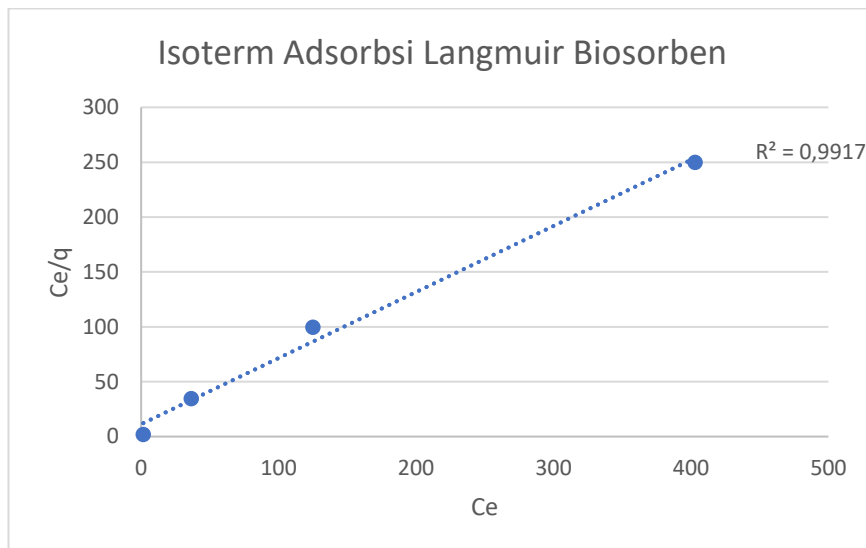
\

Lampiran 10. Penentuan Isoterm Adsorpsi Biosorben

Kons Awal (mg/L)	Bobot Adsoeben (g)	V larutan (L)	Konsentrasi Akhir/Ce (mg/L)	q atau x/m (mg/g)	Ce/q	log Ce	log x/m
50	1,5013	0,025	1,491	0,8078	1,845792	0,1735	-0,0927
100	1,5021	0,025	36,555	1,0559	34,6185	1,5629	0,0236
200	1,4997	0,025	124,86	1,2526	99,68195	2,0964	0,0978
500	1,5015	0,025	403,065	1,6140	249,7352	2,6054	0,2079

$$q \text{ atau } x/m = \frac{v (Kons \text{ Awal} - Kons \text{ Akhir})}{m}$$

$$q \text{ atau } x/m = \frac{0,025 \text{ L } (50 - 1,491) \text{ mg/L}}{1,5013 \text{ g}} = 0,8078 \text{ mg/g}$$

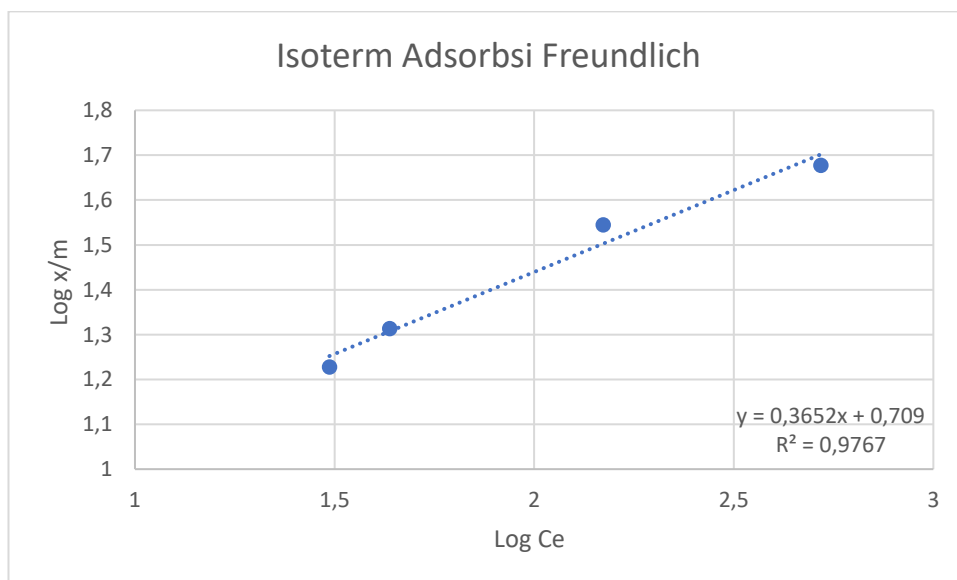
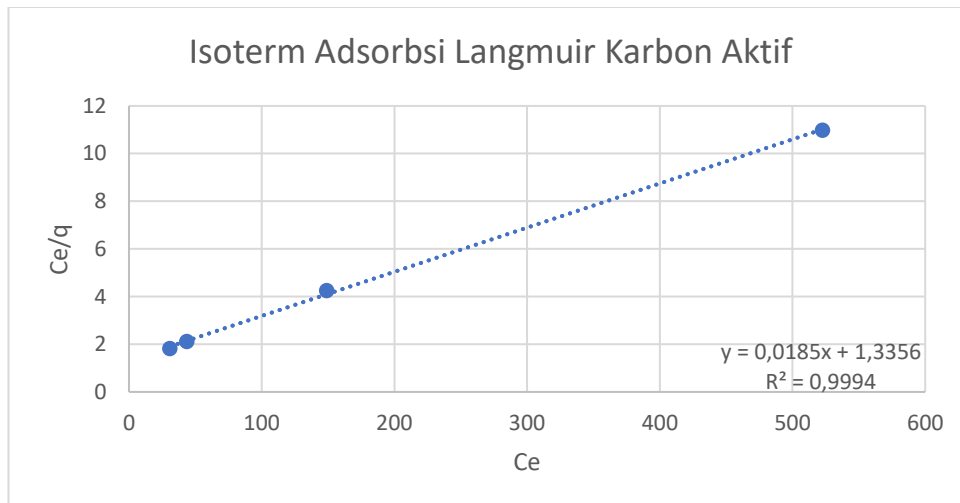


Lampiran 11. Penentuan Isoterm Adsorpsi Karbon Aktif

Kons Awal (mg/L)	Bobot Adsoeben (g)	V larutan (L)	Konsentrasi Akhir atau Ce (mg/L)	q atau x/m (mg/g)	Ce/q	log Ce	log x/m
200	0,2505	0,025	30,695	16,89671	1,816626	1,487068	1,227802
250	0,2508	0,025	43,441	20,59001	2,109809	1,6379	1,313657
500	0,2505	0,025	148,859	35,04401	4,247773	2,172775	1,544614
1000	0,2508	0,025	522,565	47,59121	10,98028	2,71814	1,677527

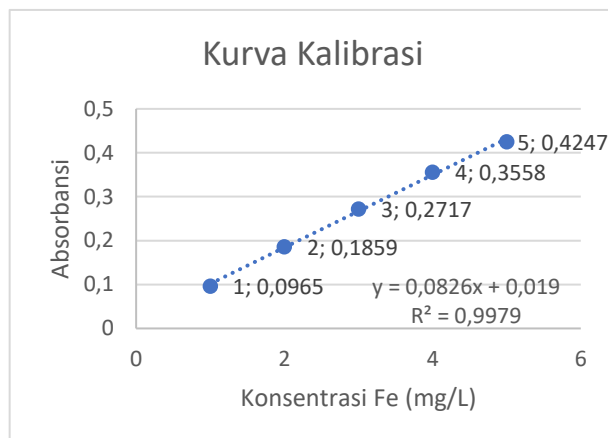
$$q \text{ atau } x/m = \frac{v (\text{Kons Awal} - \text{Kons Akhir})}{m}$$

$$q \text{ atau } x/m = \frac{0,025 \text{ L} (200 - 30,695) \text{ mg/L}}{0,2505 \text{ g}} = 16,89671 \text{ mg/g}$$



Lampiran 12. Perhitungan Aplikasi Biosorben dan Karbon Aktif Pada Sampel Air Limbah

Konsentrasi Deret Standar (mg/L)	Absorbansi
1	0,0965
2	0,1859
3	0,2717
4	0,3558
5	0,4247
Slope	0,0826
Intersep	0,0190
Koef Korelasi	0,999



Sampel	Ulangan	Volume Sampel (L)	Bobot Adsorben (g)	Absorbansi Sampel	FP	Konsentrasi Sampel
Analisis Awal AL	1	0,025		0,3329	2	7,597
	2	0,025		0,3352	2	7,653
Aplikasi Biosorben	1	0,025	1,5022	0,2191	2	4,843
	2	0,025	1,5000	0,2212	2	4,893
Aplikasi Karbon Aktif	1	0,025	0,2500	0,1967	2	4,300
	2	0,025	0,2508	0,1966	2	4,298
			rerata sampel			
			7,625	Efisiensi Adsorpsi (%)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Rerata Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
					0,05	
			4,868	36,16	0,05	0,05
					0,33	
			4,299	43,62	0,33	0,33

$$\text{Konsentrasi Sampel} = \frac{(\text{Absorbansi Sampel} - \text{Intersep})}{\text{Slope}} \times \text{FP}$$

$$\text{Konsentrasi Sampel} = \frac{(0,3329 - 0,0190)}{0,0826} \times 2 = 7,597 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{ Efisiensi} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \%$$

$$\% \text{ Efisiensi} = \frac{7,625 - 4,868}{7,625} \times 100 \% = 36,16 \%$$

Lampiran 13. Perhitungan Rendemen Karbon Aktif Teoritis Dan Nilai Hasil Kali Kelarutan

- Rendemen Karbon Aktif Teoritis

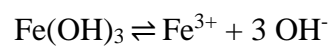
$$\% \text{ Rendemen} = \frac{\text{Bobot Molekul C}}{\text{Bobot Molekul Material (Selulosa)}} \times 100 \%$$

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{BM \text{ C}}{BM \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} \times 100 \%$$

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{6(12) \text{ g/mol}}{180 \text{ g/mol}} \times 100 \% = 40 \%$$

- KSP

$$\text{Konsentrasi Fe } 5 \text{ mg/L} = 8,95 \cdot 10^{-5} \text{ g/mol}$$



$$Q_{sp} = [\text{Fe}^{3+}] [\text{OH}^-]^3$$

$$\text{➤ } Q_{sp} \text{ pH } 7$$

$$(8,93 \cdot 10^{-5}) \cdot (3 \cdot 10^{-7})^3 \\ = 26,79 \cdot 10^{-26}$$

$$\text{➤ } Q_{sp} \text{ pH } 12$$

$$(8,93 \cdot 10^{-5}) \cdot (3 \cdot 10^{-2})^3 \\ = 26,79 \cdot 10^{-11}$$