

TA/TL/2022/1468

TUGAS AKHIR
EFEKTIVITAS AMPAS TEH SEBAGAI FIBER
ADSORBENT PADA PENYERAPAN LOGAM
KADMIUM (Cd) DALAM AIR

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



PUTRI SALSABILA ZAHRA
18513100

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022

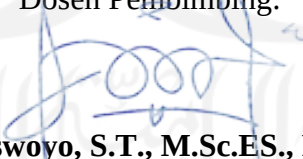
TUGAS AKHIR
EFEKTIVITAS AMPAS TEH SEBAGAI FIBER
ADSORBENT PADA PENYERAPAN LOGAM
KADMIUM (Cd) DALAM AIR

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

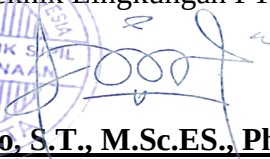


PUTRI SALSABILA ZAHRA
18513100

Disetujui,
Dosen Pembimbing:


Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D
NIK. 025100406
Tanggal:

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D
NIK. 025100406
Tanggal: 15 Agustus 2022

HALAMAN PENGESAHAN

**EFEKTIVITAS AMPAS TEH SEBAGAI FIBER
ADSORBENT PADA PENYERAPAN LOGAM
KADMIUM (Cd) DALAM AIR**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Senin

Tanggal : 15 Agustus 2022

Disusun Oleh:

**PUTRI SALSABILA ZAHRA
18513100**

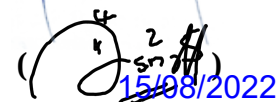
Tim Penguji :

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

Luthfia Isna Ardhayanti, S.Si., M.Sc.

Dr. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng

()

()
15/08/2022

()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 25 Juli 2022

Yang membuat pernyataan,



Putri Salsabila Zahra

NIM: 18513100

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak Desember 2021 hingga Juli 2022 ini ialah **Efektivitas Ampas Teh Sebagai Fiber Adsorbent Pada Penyerapan Logam Kadmium (Cd) Dalam Air**. Laporan Tugas Akhir ini diajukan kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta untuk memenuhi persyaratan memperoleh derajat Sarjana Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

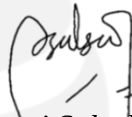
Laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan tentu berkat adanya dukungan, bimbingan, doa, dan bantuan lainnya dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis dan kedua kakak serta adik penulis yang telah memberi doa, kepercayaan, dan dukungan penuh yang tidak ada hentinya.
2. Bapak Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, dan juga selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing dengan tulus dan ikhlas, memberi saran, arahan, dan motivasi hingga masa tugas akhir selesai.
3. Ibu Luthfia Isna Ardhayanti, S.Si., M.Sc dan Bapak Dr. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng., selaku dosen penguji yang telah membantu memberi saran dan arahan dalam menyelesaikan tugas akhir.
4. Ibu Dewi Wulandari Ph.D, selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membantu membantu dan mengarahkan penulis selama menyelesaikan studi di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Seluruh jajaran dosen dan karyawan Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

6. Teman-teman Teknik Lingkungan Angkatan 2018 yang telah kebersamai dan membantu penulis selama masa studi sampai pelaksanaan tugas akhir.
7. Semua pihak lainnya yang telah membantu, memberi dukungan, dan berbagi pengalaman dengan penulis yang namanya tidak dapat disebut satu persatu.

Tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dan terdapat kekurangan. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan dapat menjadi referensi bagi peneliti yang memerlukan.

Yogyakarta, 25 Juli 2022



Putri Salsabila Zahra

ABSTRAK

PUTRI SALSABILA ZAHRA. Efektivitas Ampas Teh Sebagai Fiber Adsorbent Pada Penyerapan Logam Kadmium (Cd) Dalam Air. Dibimbing oleh EKO SISWOYO, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

Kadmium merupakan salah satu ion logam beracun yang dapat menimbulkan permasalahan lingkungan baik manusia maupun ekosistem. Salah satu upaya mengurangi kandungan logam kadmium yang tercemar dalam air dengan proses adsorpsi. Adsorpsi dikenal sebagai cara yang efektif untuk mengurangi kandungan logam dalam air. Pada penelitian ini menggunakan ampas teh sebagai adsorben karena kadar selulosa yang tinggi, kapasitas permukaan yang luas, proses penyerapan yang cepat serta mudah ditemukan. Ampas teh (TWP) diolah dengan aktivasi asam sitrat ($C_6H_8O_7$) (ATWP) dan dienkapsulasi dengan Na-Alginat menjadi *fiber adsorbent* (ATWF) untuk mengetahui karakteristik dan kemampuan penyerapan terhadap logam kadmium dalam air. Penelitian dilakukan melalui studi literatur dan uji di laboratorium dengan menggunakan metode *batch*, variasi uji yang digunakan yaitu variasi massa, variasi pH, variasi waktu kontak, dan variasi konsentrasi. Hasil uji menunjukkan bahwa kapasitas penyerapan dari TWP, ATWP dan ATWF dengan menggunakan model isoterm Langmuir secara berturut-turut yaitu sebesar 45,45 mg/g, 16,56 mg/g, dan 24,75 mg/g. Dan efektivitas penyerapan secara berturut-turut sebesar 53,09%, 49,46%, dan 95,61%. Dari penelitian ini didapatkan hasil yaitu ampas teh dapat digunakan sebagai adsorben dengan penyerapan yang efektif dan efisien.

Kata kunci: Adsorpsi, *Fiber Adsorbent*, Kadmium, Na-Alginat

ABSTRACT

PUTRI SALSABILA ZAHRA. Effectiveness Of Tea Waste As A Fiber Adsorbent On Adsorption Of Cadmium Metal (Cd) In Water. Supervised by EKO SISWOYO, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

Cadmium is one of the metal ions that can cause environmental problems for both humans and ecosystems. One of the efforts to reduce the polluted cadmium content in the air is the adsorption process. Adsorption is known as an effective way to reduce the metal content in the air. In this study, tea waste were used as adsorbent due to its high cellulose content, large surface capacity, fast absorption process and easy to find. Tea waste (TWP) was processed by activating citric acid ($C_6H_8O_7$) (ATWP) and encapsulated with Na-Alginate into adsorbent fibers (ATWF) to determine the characteristics and absorption ability of metal cadmium in the air. The research was conducted through literature studies and laboratory tests using the batch method, the variations of the test used were mass variations, pH variations, contact time variations, and concentration variations. The test results showed that the absorption capacity of TWP, ATWP and ATWF using the Langmuir isotherm model, respectively, was 45,45 mg/g, 16,56 mg/g, and 24,75 mg/g. And the absorption effectiveness is 53,09%, 49,46%, and 95,61%, respectively. From this research, it was found that tea waste can be used as adsorbent with effective and efficient absorption.

Keywords: Adsorption, Cadmium, Fiber Adsorbent, Na-Alginate

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Ruang Lingkup Penelitian	3
1.7. Kerangka Berpikir	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Adsorpsi.....	5
2.2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi	5
2.3. Jenis-Jenis Adsorpsi	6
2.6. Kadmium (Cd).....	8
2.7. Ampas Teh dan Kegunaannya.....	9
2.8. Atomic Absorption Spectrofotometer (AAS).....	9
2.9. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR).....	9
2.10. Scanning Electron Microscope (SEM).....	10
2.11. Penelitian Terdahulu.....	10
BAB III METODE PENELITIAN.....	13
3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	13
3.2. Alat dan Bahan yang Digunakan.....	13
3.3. Variabel Penelitian	14
3.4. Parameter Penelitian dan Metode Uji.....	14
3.5. Prosedur Penelitian.....	15
3.6. Metode Analisis Data	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1. Karakteristik Adsorben.....	23
4.2. Larutan Standar Cd ²⁺	29

4.3. Uji Adsorpsi.....	30
4.4. Kestimbangan Adsorpsi	37
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	47
5.1. Kesimpulan	47
5.2. Saran	47
DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN	53
RIWAYAT HIDUP	89



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu.....	10
Tabel 4.1. Rincian Klasifikasi Gugus Fungsi Sebelum Adsorpsi	26
Tabel 4.2. Rincian Klasifikasi Gugus Fungsi Setelah Adsorpsi.....	26
Tabel 4.3. Data Hasil Percobaan Variasi Massa.....	30
Tabel 4.4. Data Hasil Percobaan Variasi pH Larutan	32
Tabel 4.5. Data Hasil Percobaan Variasi Waktu Kontak	34
Tabel 4.6. Data Hasil Percobaan Variasi Konsentrasi Larutan	36
Tabel 4.7. Data Hasil Perhitungan Isoterm Langmuir.....	40
Tabel 4.8. Data Hasil Perhitungan Isoterm Freundlich	42
Tabel 4.9. Data Hasil Pemodelan Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich	44



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kerangka Berpikir Penelitian	4
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	15
Gambar 3.2. Diagram Pembuatan Serbuk Ampas Teh.....	16
Gambar 3.3. Diagram Alir Pembuatan Ampas Teh Teraktivasi.....	16
Gambar 3.4. Diagram Alir Pembuatan Alginat 4%.....	17
Gambar 3.5. Pembuatan Fiber Adsorbent	17
Gambar 3.6. Diagram Alir Uji Variasi Massa Adsorben	18
Gambar 3.7. Diagram Alir Uji Variasi pH Larutan.....	19
Gambar 3.8. Diagram Alir Uji Variasi Waktu Kontak.....	20
Gambar 3.9. Diagram Alir Uji Variasi Konsentrasi Larutan.....	21
Gambar 4.1. Hasil Uji FTIR Sebelum Adsorpsi.....	24
Gambar 4.2. Hasil Uji FTIR Setelah Adsorpsi	26
Gambar 4.3. Permukaan Adsorben (a) dan (b) TWP; (c) dan (d) ATWP; (e) dan (f) ATWF	28
Gambar 4.4. Kurva Kalibrasi Larutan Standar Cd^{2+}	30
Gambar 4.5. Grafik Hubungan antara Efisiensi Removal dengan Massa	31
Gambar 4.6. Grafik Hubungan antara Efisiensi Removal dengan Nilai pH.....	33
Gambar 4.7. Grafik Hubungan antara Efisiensi Removal dengan Waktu.....	35
Gambar 4.8. Grafik Hubungan antara Efisiensi Removal dengan Konsentrasi Larutan	37
Gambar 4.9. Grafik Keseimbangan Adsorpsi	38
Gambar 4.10. Grafik Isoterm Langmuir pada Adsorben TWP (a), ATWP (b), dan ATWF (c).....	41
Gambar 4.11. Grafik Isoterm Freundlich pada Adsorben TWP (a), ATWP (b), dan ATWF (c)	43



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan.....	53
Lampiran 2 Data Karakterisasi FTIR.....	61
Lampiran 3 Tabel Korelasi FTIR.....	71
Lampiran 4 Dokumentasi.....	79
Lampiran 5 SNI Air dan air limbah – Bagian 16: Cara Uji Kadmium (Cd) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – Nyala.....	83





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kadmium merupakan logam yang sering digunakan dalam lempengan elektroda dan baterai. Semakin berkembangnya teknologi, semakin banyak penggunaan kadmium yang dilibatkan dalam proses pembuatan barang elektronik. Kadmium dapat menyebabkan kerusakan ginjal, paru-paru, kekurangan darah, kerapuhan tulang dan mempengaruhi sistem reproduksi jika terpapar pada manusia secara langsung dalam jumlah yang cukup tinggi. Widowati, et al. (2008) menyebutkan bahwa bahaya yang terjadi jika pencemaran kadmium terus berlanjut atau tidak dapat terselesaikan yaitu keracunan kadmium. Keracunan kadmium dapat memberikan dampak akut hingga kematian dikarenakan kadmium dapat merusak organ tubuh, berbagai sistem yang bekerja dalam tubuh.

Terdapat berbagai metode yang dapat mengatasi pencemaran logam berat seperti pertukaran ion, koagulasi-flokulasi, elektrokoagulasi, adsorpsi dan oksidasi kimia. Diantara metode-metode tersebut, menurut Emam, et al. (2020) adsorpsi merupakan metode yang memiliki kemudahan dalam pengaplikasiannya, dapat diterapkan secara luas, memerlukan biaya yang rendah, efektif dan efisien. Efektivitas dari proses adsorpsi bergantung pada adsorben yang digunakan untuk menyerap polutan. Dalam penentuan adsorben yang hemat biaya, dapat menggunakan adsorben yang berasal dari bahan alam seperti sisa makanan, karbon aktif, zeolit, dan limbah pertanian seperti ampas teh.

Teh merupakan minuman tradisional yang biasa dikonsumsi oleh penduduk Indonesia. Selain menjadi minuman yang sehari-hari dapat dikonsumsi, teh mengandung banyak kandungan yang dapat menyehatkan tubuh dan mencegah dari berbagai penyakit. Namun banyaknya konsumsi teh tidak sebanding dengan pemanfaatan ampas teh yang didapat dari hasil seduh teh. Ampas teh dapat dimanfaatkan sebagai bahan pendukung pembuatan produk seperti pembuatan obat, pembentukan biochar, sebagai adsorben, dan pembentukan sintesis nanopartikel (De Gisi et al., 2016). Pada ampas teh terdapat gugus fungsi

hidroksil dipermukannya sehingga dapat mengikat ion logam kedalam ampas teh (Çelebi et al., 2020).

Penelitian menggunakan ampas teh sebagai adsorben telah dilakukan oleh Nigam, et al., (2019) untuk menyerap kromium. Ampas teh yang digunakan adalah ampas teh murni yang dikeringkan kemudian dihaluskan menjadi bubuk. Dari penelitian tersebut didapatkan maksimum efisiensi removal sebesar 6,7% dengan pH optimal 3,9, dosis adsorben 6 g/L, dan waktu pengadukan 240 menit. Penelitian lainnya dilakukan oleh Yang, et al. (2016) menggunakan teh hijau yang dimodifikasi oleh Ca(OH)_2 untuk menyerap arsen dan nikel. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan pH 3 sebagai pH optimum untuk adsorpsi arsen dan pH 7 sebagai pH optimum untuk adsorpsi nikel. Model kinetika yang digunakan adalah pseudo orde 2 dengan kapasitas adsorpsi untuk arsen dan nikel secara berturut-turut yaitu 0,4212 mg/g dan 0,3116 mg/g.

Penelitian ini mencoba untuk menguji kemampuan adsorpsi ampas teh pada kadmium dengan membandingkan produk adsorben *Tea Waste Powder* (TWP), adsorben dengan aktivasi asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) atau *Activation Tea Waste Powder* (ATWP) dan adsorben termodifikasi menjadi *fiber adsorbent* dengan menggunakan Na-alginat atau *Activated Tea Waste Fiber* (ATWF). Kemudian analisa karakteristik ampas teh, penentuan nilai optimum dan efisiensi removal adsorpsi melalui pengujian variasi massa, variasi pH, variasi waktu pengadukan, dan variasi konsentrasi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan kasus yang dijabarkan pada latar belakang dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti pada Tugas Akhir ini yaitu:

1. Bagaimana karakteristik ampas teh yang teraktivasi $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$?
2. Bagaimana efektifitas ampas teh dalam menyerap kadmium dengan variasi waktu kontak, massa, pH, dan konsentrasi beragam?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis karakteristik ampas teh yang teraktivasi $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ dan dimodifikasi menjadi *fiber adsorbent*

2. Menganalisis efektivitas ampas teh sebagai adsorben dengan variasi waktu kontak, massa, pH, dan konsentrasi

1.4. Manfaat Penelitian

1. Memberi informasi mengenai kemampuan penyerapan logam Cd dalam air menggunakan ampas teh yang diaktivasi dengan $C_6H_8O_7$ dan dimodifikasi menjadi bentuk *fiber adsorbent*
2. Memberi informasi mengenai model kinetika adsorpsi penyerapan logam Cd
3. Sebagai referensi untuk penelitian lanjutan yang dapat memudahkan pengaplikasian ampas teh dalam kasus pencemaran air.

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
2. Air sampel merupakan air buatan (sintetis) dari padatan kadmium dengan metode uji mengacu pada SNI 6989.16:2009 tentang Cara Uji Kadmium (Cd) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) pada Air dan Air Limbah
3. Adsorben dimodifikasi dengan Na-Alginat menjadi bentuk *fiber*
4. Uji kemampuan penyerapan logam Cd dengan ampas teh yang diaktivasi dengan $C_6H_8O_7$ sebagai adsorben menggunakan metode *batch* dengan variasi waktu kontak, massa, pH, dan konsentrasi
5. Analisa model kinetika adsorpsi pada orde 0, orde 1, dan orde 2
6. Pengujian karakteristik gugus fungsi adsorben menggunakan *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)
7. Analisa tampak permukaan adsorben menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM)

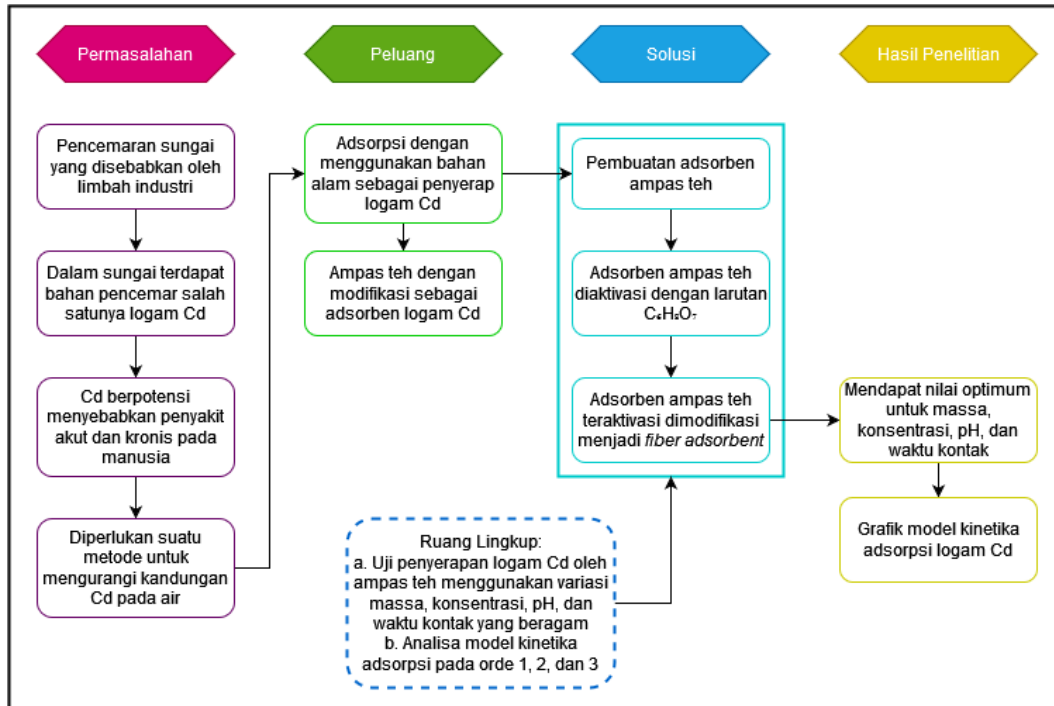
1.6. Hipotesis Penelitian

Adapun hipotesis atau dugaan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Luas permukaan ampas teh sesudah diaktivasi dengan $C_6H_8O_7$ mempengaruhi proses adsorpsi logam Cd
2. Metode *batch* merupakan metode yang efektif dalam mengurangi kandungan logam Cd dalam air
3. Kemampuan penyerapan dapat dilihat dalam model kinetika adsorpsi.

1.7. Kerangka Berpikir

Penelitian efektifitas ampas teh sebagai *fiber adsorbent* pada penyerapan logam Cd dalam air diuraikan pada kerangka berpikir yang dapat dilihat pada Gambar 1.1



Gambar 1.1 Kerangka Berpikir Penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Adsorpsi

Secara singkat, adsorpsi adalah proses penyerapan molekul oleh padatan yang memiliki energi terhadap molekul seperti molekul dalam air. Adsorpsi terjadi apabila terdapat padatan dan molekul yang saling tarik menarik sehingga terjadi peningkatan konsentrasi pada padatan.

Pada proses adsorpsi dikenal istilah adsorben dan adsorbat, adsorben merupakan tempat terjadinya penyerapan sedangkan adsorbat merupakan bahan yang diserap pada proses adsorpsi baik itu bahan organik, zat warna, maupun ion logam. Adsorpsi dapat terjadi pada antarfase padat-cair, padat-gas atau gas-cair dan merupakan gejala yang terjadi di permukaan. Semakin besar luas permukaan adsorben, maka semakin besar pula kapasitas adsorpsi dan proses adsorpsi juga tergantung pada sifat zat pengadsorpsi (Widiyatno et al., 2017).

2.2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Proses adsorpsi dapat dipengaruhi oleh jenis adsorbat dan sifat adsorben yang dijelaskan lebih lengkap sebagai berikut:

1. Jenis adsorbat
 - a. Ukuran molekul adsorbat, molekul yang bisa diadsorpsi adalah molekul yang berdiameter lebih kecil atau sama dengan dari diameter pori adsorben.
 - b. Polaritas molekul adsorbat, molekul yang lebih polar akan mudah diadsorpsi jika memiliki diameter yang sama sehingga dapat menggantikan molekul kurang polar yang telah diserap (Apriliani, 2010).
2. Sifat adsorben
 - a. Kemurnian adsorben, adsorben yang terkontaminasi akan menghambat proses adsorpsi. Sebelum dilakukan proses adsorpsi, dilakukan perlakuan fisik terhadap adsorben seperti pengeringan atau perebusan adsorben yang akan digunakan (Derco, 2018).

- b. Luas permukaan, kemampuan adsorben dalam menyerap zat dipengaruhi oleh luas permukaan, semakin luas permukaan adsorben maka semakin banyak zat yang diserap (Derco, 2018).
- c. Suhu, berlangsungnya adsorpsi untuk menghilangkan logam perlu memperhatikan suhu optimum. Suhu yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan kerusakan protein yang akan berdampak pada penyerapan logam (Derco, 2018).
- d. pH, umumnya logam akan terendapkan pada larutan dengan $\text{pH} > 10$. Pada pH yang tinggi, pertukaran kation tidak akan terjadi diakibatkan oleh sedikitnya logam membentuk ion kompleks netral atau dalam bentuk hidroksida anionik. Kondisi pH yang asam atau normal akan membuat pertukaran kation menjadi efektif (Utama, 2015).
- e. Partikulat, keberadaan partikulat dalam larutan akan menghambat laju adsorpsi karena akan terjadi penyumbatan media adsorben (*clogging*) untuk mengadsorpsi ion-ion logam. Proses filtrasi diperlukan untuk mencegah terjadinya *clogging*. Proses filtrasi dapat ditempatkan sebelum proses adsorpsi (Utama, 2015).

2.3. Jenis-Jenis Adsorpsi

1. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi secara fisika digunakan untuk meneliti penyerapan zat pencemar kedalam bahan yang memiliki tekstur berpori. Pada adsorpsi secara fisika, luas permukaan dan distribusi ukuran pori akan mempengaruhi proses adsorpsi. Dalam adsorpsi secara fisika terdapat gaya dispersi yang memberikan daya tarik antara adsorben dan adsorbat. Adsorpsi molekul polar juga dipengaruhi oleh energi interaksi adsorben dan adsorbat (Rodrigues, 2012).

Kalor yang dihasilkan pada proses adsorpsi fisika yaitu sekitar 10 kJ/mol. Biasanya, adsorpsi fisika terjadi pada suhu yang rendah dan jumlah zat yang teradsorpsi akan semakin naik seiring naiknya suhu. Pada beberapa lapisan monokuler terdapat banyak zat yang teradsorpsi, kemudian kondisi kesetimbangan akan tercapai setelah adsorben bersentuhan dengan adsorbat

dikarenakan proses adsorpsi fisika tidak melibatkan energi aktivasi (Apriliani, 2010).

2. Adsorpsi Kimia

Dalam adsorpsi kimia, molekul yang teradsorpsi pada permukaan adsorben akan bereaksi secara kimiawi karena adanya reaksi antara molekul adsorbat dengan adsorben dan membentuk ikatan kovalen dengan ion sehingga terjadi pemutusan dan pembentukan ikatan. Kalor yang dihasilkan pada proses adsorpsi kimia yaitu sekitar 100 kJ/mol. Adsorpsi kimia berkebalikan dengan adsorpsi fisika, yakni bersifat tidak balik (*irreversible*), membentuk lapisan tunggal dan diperlukan energi yang banyak untuk melepas kembali adsorbat dalam proses adsorpsi. Biasanya, kapasitas adsorpsi kimia bertambah besar seiring naiknya suhu. Molekul adsorben dianggap memiliki senyawa aktif atau gugus fungsional yang mampu berinteraksi dengan logam permukaan sel. Jika adsorpsi dilakukan melalui pertukaran ion, akan dipengaruhi banyak proton dalam larutan yang kompleks dengan ion logam pada permukaan adsorben, sehingga pada pH yang tinggi jumlah proton sedikit, peluang terikatnya logam oleh adsorben relatif besar dan sebaliknya (Apriliani, 2010).

2.4. Asam Sitrat ($C_6H_8O_7$)

Asam sitrat merupakan asam alami yang ditemukan pada tumbuhan dan termasuk asam organik lemah. Dalam adsorpsi, asam sitrat dapat menjadi aktivator adsorben yang membuat luas permukaan adsorben membesar karena asam sitrat membersihkan permukaan adsorben dari kotoran. Secara kimiawi, aktivasi adsorben dengan asam sitrat melibatkan pembentukan cincin anhidrida antara dua gugus asam karboksilat yang berdekatan dengan molekul asam sitrat dan mengakibatkan hilangnya satu molekul dalam air. Kemudian cincin anhidrida bereaksi dengan gugus hidroksil untuk membentuk ikatan ester. Gugus karboksil bebas dari asam sitrat dapat meningkatkan ion negatif pada adsorben sehingga memberi peluang pengikatan ion positif kontaminan (Chowdhury & Saha, 2013).

2.5. Fiber Adsorben

Fiber adsorben terbentuk dari hasil enkapsulasi antara adsorben dengan natrium alginat. Natrium alginat adalah polisakarida alami yang terdiri dari β -D-M (asam mannuronat), α -L-G (asam guluronat) dan mengandung banyak gugus karboksil bebas ($-\text{COO}^-$). Pada pengaplikasiannya, natrium alginat digunakan dalam biomedis dan bahan fungsional lainnya. Meningkatnya berbagai penelitian dengan menggunakan natrium alginat mengarah pada penyerapan atau adsorpsi logam. Natrium alginat dapat bereaksi dengan banyak ion seperti Ca^{2+} , Ba^{2+} , Fe^{2+} , dan logam berat seperti Pb^{2+} , Cd^{2+} dan Cu^{2+} (Zhuang et al., 2016; Ren et al., 2016).

Karena mudahnya pengaplikasian dan harga yang murah, natrium alginat dapat menjadi bahan untuk proses modifikasi adsorben. Pada penelitian Badarinath et al., (2010) melakukan modifikasi flurbiprofen menjadi *microbeads* menggunakan metode gelasi ionik. Proses modifikasi adsorben menjadi fiber menggunakan metode gelasi ionik melibatkan natrium alginat dan kalsium klorida yang membentuk interaksi elektrostatik secara fisik untuk menstabilkan ikatan kompleks partikel yang terbentuk. Metode gelasi ionik juga dapat membentuk fiber dengan melibatkan jarum suntik untuk memasukkan campuran adsorben dengan natrium alginat kedalam larutan kalsium klorida.

2.6. Kadmium (Cd)

Secara fisik, logam berwarna putih perak, lunak, mengkilap. Secara kimia, kadmium tidak larut dalam basa, mudah bereaksi, dan jika dipanaskan akan menghasilkan Kadmium Oksida. Kadmium merupakan logam yang sering digunakan dalam industri terutama industri yang memproduksi barang elektronik dan barang pendukungnya seperti baterai dan lempeng elektroda. Kadmium cenderung aktif dalam lingkungan aquatik dan garam-garamnya dapat larut dalam air (Festri, I & Ellina S. P., 2014).

Kadmium salah satu ion logam beracun yang dapat menimbulkan permasalahan lingkungan baik manusia maupun ekosistem. Kadmium yang tercemar pada lingkungan dapat mempengaruhi enzim penting yang menyebabkan penyakit tulang, kerusakan ginjal, hingga kematian. Logam berat seperti kadmium jika terpapar oleh manusia akan terakumulasi dalam tubuh dan dampak dari paparannya akan ditemukan setelah beberapa tahun terakumulasi. Paparan

kadmium dalam jumlah sedikit juga perlu menjadi perhatian karena dampak yang ditimbulkan akan merusak tubuh manusia secara perlahan (Siswoyo et al., 2014).

2.7. Ampas Teh dan Kegunaannya

Ampas teh merupakan bahan organik berbentuk limbah dari daun teh yang sudah diseduh. Ampas teh mengandung kadar selulosa yang cukup tinggi yaitu berkisar 37% dari berat keringnya, hemiselulosa dan lignin 14% dan polifenol 25%. Salah satu faktor dalam memilih adsorben dapat dilihat dari kandungan selulosa yang dimiliki oleh padatan. Oleh sebabnya, ampas teh banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari seperti sebagai pupuk, pakan ternak, dan adsorben karena mudah didapatkan, ramah lingkungan, dan tergolong cukup murah. Secara fisik, ampas teh memiliki kapasitas permukaan yang luas dan proses penyerapan yang cepat. Jika akan digunakan sebagai adsorben, ampas teh diaktivasi dengan zat kimia agar kapasitas permukaan menjadi lebih besar dan dapat mengadsorpsi logam dalam air dengan maksimal (Rizanti, F. A. & Taufik, M., 2020).

2.8. Atomic Absorption Spectrofotometer (AAS)

Atomic Absorption Spectrofotometer (AAS) merupakan instrumen yang digunakan untuk menganalisa atom logam dengan proses penyerapan energi radiasi gelombang elektromagnetik oleh populasi atom yang berbeda tingkat energinya (Ahdiyati, 2020).

Hasil dari sampel yang keluar dari AAS yaitu nilai pengukuran kemampuan penyerapan suatu adsorben. Dalam proses pengujian, AAS melibatkan monokromator untuk mendapatkan hasil kurva kalibrasi dari adsorben yang diuji. Setiap elemen dalam pengujian oleh AAS memiliki tingkat energi yang berbeda dan menimbulkan garis serapan yang sangat sempit. Monokromator dalam AAS digunakan untuk memisahkan ribuan garis yang dihasilkan oleh semua sampel, oleh karena itu, pemilihan monokromator menjadi penting untuk mendeteksi kemampuan penyerapan atom (Farrukh, 2012).

2.9. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

FTIR merupakan alat yang digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dari berbagai fase bahan baik pada fase gas, cair maupun padat dengan

menggunakan radiasi inframerah (IR). FTIR mengukur penyerapan radiasi IR yang dibuat oleh setiap ikatan molekul dan hasilnya dinyatakan dalam satuan bilangan gelombang (cm^{-1}). Untuk penentuan gugus fungsi dalam suatu molekul, harus terdapat IR aktif. Molekul aktif IR adalah molekul yang memiliki momen dipol. Ketika radiasi IR berinteraksi dengan ikatan kovalen bahan yang memiliki dipol listrik, molekul menyerap energi dan mulai terjadi osilasi pada ikatan molekul. Osilasi menyebabkan perubahan momen dipol molekul yang menyerap radiasi IR (Khan et al., 2018).

2.10. Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM merupakan alat yang digunakan untuk karakterisasi bahan yang memberikan informasi tentang struktur, komposisi, dan kerusakan pada bahan material. SEM juga memungkinkan peneliti untuk mengamati permukaan material pada tingkat submikron dan nano untuk meningkatkan peninjauan tentang sifat material. Fungsi utama SEM yaitu sebagai alat untuk melihat obyek kecil yang tidak terlihat oleh manusia. Berkas elektron pada cahaya digunakan untuk membentuk gambar dalam alat SEM. Gambar diperoleh dari pemindaian berkas elektron berenergi tinggi pada permukaan sampel (Ul-Hamid, 2018).

2.11. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan untuk referensi selama penelitian, teori penelitian pada peneliti sebelumnya dapat dijadikan bahan acuan dan perbandingan. Beberapa penelitian terdahulu yang pernah melakukan penelitian pada adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu

Referensi	Jenis Adsorben	Ringkasan Penelitian
<i>Tea waste as a low cost adsorbent for the removal of Cu and Pb from wastewater</i> (Amarasinghe, 2007)	Ampas Teh	a. Metode batch b. Variasi massa 0,25 g; 0,5 g; 1,0 g; 1,5 g c. Variasi pH 2-8 d. Variasi konsentrasi 25 ppm, 50 ppm, 100 ppm, dan 200 ppm e. Hasil penelitian: Kapasitas adsorpsi terbesar

		yaitu 65 mg/g dengan rentang pH 5-6. Tingkat penyerapan logam Cu dan Pb sebesar 90% dan waktu kontak selama 200 menit
<i>Determination of key components and adsorption capacity of a low cost adsorbent based on sludge of drinking water treatment plant to adsorb cadmium ion in water</i> (Siswoyo, 2014)	Lumpur IPAM Miyamachi dan Nishino, Jepang	<ul style="list-style-type: none"> a. Metode batch b. Variasi massa adsorben 1-20 g/L c. Variasi pH larutan 2-10 d. Variasi waktu kontak 30-1440 menit e. Variasi konsentrasi larutan Cd 10, 50, dan 100 ppm sebanyak 50 mL. f. Kecepatan shaking 150 rpm g. Adsorpsi mengikuti model isotherm Langmuir h. Hasil penelitian: Diperoleh kapasitas adsorpsi sebesar 5,3 mg/g untuk lumpur Miyamachi dan 9,2 mg/g untuk lumpur Nishino.
<i>Mono/competitive adsorption of Arsenic(III) and Nickel(II) using modified green tea waste</i> (Yang et al., 2015)	Teh Hijau	<ul style="list-style-type: none"> a. Metode batch b. Dosis adsorben 0,3 g c. Rentang pH 2-10 d. Variasi konsentrasi larutan 7, 9, 13, 17 dan 23 mg/L e. Hasil penelitian: Didapatkan kapasitas adsorpsi teh hijau sebesar 0,4212 mg/g (Langmuir) dan 0,3116 mg/g (Freundlich) dengan pH optimum untuk Arsenik sebesar 3 dan Nikel sebesar 7.

<p><i>Adsorption of Cr (VI) ion from tannery wastewater on tea waste: Kinetics, equilibrium and thermodynamics studies</i> (Nigam et al., 2019)</p>	<p>Ampas Teh</p>	<ul style="list-style-type: none"> a. Metode batch b. Rentang pH 2-11 c. Dosis adsorben 2-10 g/L d. Kecepatan <i>shaking</i> 150 rpm e. Hasil penelitian: Efisiensi removal sebesar 97% dengan dosis optimum adsorben 6 g/L, pH optimum 3,9, dan waktu kontak 240 menit.
<p><i>Sorption of cadmium (II) ion from aqueous solution onto sweet potato (Ipomoea batatas L.) peel adsorbent: Characterisation, kinetic and isotherm studies</i> (Asuquo et al., 2016)</p>	<p>Kulit ubi</p>	<ul style="list-style-type: none"> a. Metode batch b. Rentang pH 2-10 c. Variasi waktu kontak 5-1440 menit d. Variasi konsentrasi 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 dan 500 ppm sebanyak 100 mL e. Kecepatan <i>shaking</i> 200 rpm f. Hasil penelitian: Diperoleh waktu optimum pengadukan selama 180 menit dengan konsentrasi 200 ppm dengan pH 7. Kapasitas penyerapan maksimum sebesar 18 mg/g.
<p><i>Bioadsorbent based on water hyacinth modified with citric acid for adsorption of methylene blue in water</i> (Siswoyo, 2018)</p>	<p>Eceng gondok</p>	<ul style="list-style-type: none"> a. Metode batch b. Aktivasi dengan asam sitrat 1,3 M c. Variasi massa 10, 25, 50, 75 dan 100 mg d. Variasi pH 2-8 e. Variasi waktu pengadukan 30-1440 menit f. Variasi konsentrasi 100-600 ppm g. Hasil penelitian: Diperoleh kapasitas adsorben sebelum dan sesudah aktivasi sebesar 261 mg/g dan 320 mg/g, waktu pengadukan optimum 120 menit, massa 60 gram dan konsentrasi optimum 500 ppm dengan pH 5.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan selama 5 bulan, terhitung dari bulan Maret 2022 sampai dengan bulan Juli 2022 di Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

3.2. Alat dan Bahan yang Digunakan

1. Alat

- | | |
|----------------------------|------------------------|
| a. Oven listrik | m. Pipet ukur 1 mL |
| b. Neraca analitik | n. Pipet ukur 5 mL |
| c. <i>Magnetic stirrer</i> | o. Pipet ukur 10 mL |
| d. <i>Orbital shaker</i> | p. Corong kaca |
| e. Ayakan 100 mesh | q. Spatula |
| f. Gelas beaker 100 mL | r. Kaca arloji |
| g. Gelas beaker 1000 mL | s. Cawan porselin |
| h. Erlenmeyer 100 mL | t. Blender |
| i. Erlenmeyer 250 mL | u. Kertas saring |
| j. Labu ukur 10 mL | v. pH meter |
| k. Labu ukur 100 mL | w. Jarum suntik 0,7 mm |
| l. Labu ukur 1000 mL | |

2. Bahan

- | | |
|---|-------------------------|
| a. Ampas teh | g. HCl 0,1 M |
| b. Larutan induk Cd 1000 mL | h. CaCl ₂ 5% |
| c. Larutan C ₆ H ₈ O ₇ 1,3 M | i. HNO ₃ 1% |
| d. KHP 0,1 M | j. Na-alginat 4% |
| e. KH ₂ PO ₄ 0,1 M | k. Aquades |
| f. NaOH 0,1 M | |

3. Instrumen

- a. *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)*
- b. *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*
- c. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

3.3. Variabel Penelitian

Terdapat 2 variabel penelitian yang berkaitan, yakni variabel bebas dan variabel terikat. Pada penelitian ini rincian 2 variabel tersebut yaitu:

1. Variabel bebas, meliputi:

- a. Dosis adsorben: 25 mg, 50 mg, 100 mg, dan 200 mg
- b. Waktu kontak selama 15 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit
- c. pH rentang nilai 3 sampai 8
- d. Konsentrasi 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, 150 ppm dan 200 ppm

Nilai variabel yang tertulis menyesuaikan pada hasil uji untuk mendapatkan nilai optimum.

2. Variabel terikat, meliputi:

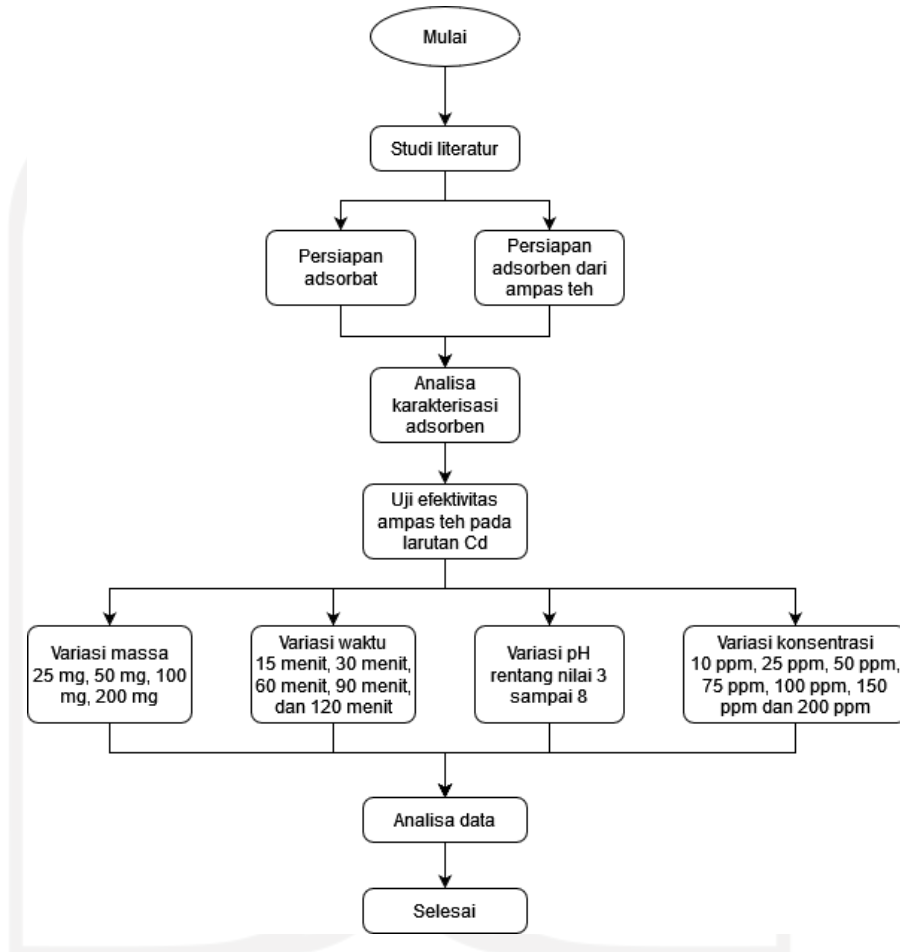
- a. Adsorben dari ampas teh
- b. Aktivasi dengan $C_6H_8O_7$ 1,3 M
- c. Pembuatan *fiber adsorbent* dengan Na-Alginat

3.4. Parameter Penelitian dan Metode Uji

Pada penelitian ini, parameter yang akan diuji adalah Kadmium (Cd) pada air. Prosedur kerja penelitian ini mengacu pada SNI 6989.16:2009 tentang Cara Uji Kadmium (Cd) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) pada air dan air limbah.

3.5. Prosedur Penelitian

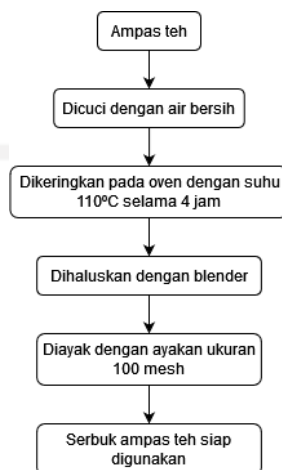
Tahapan pada penelitian efektivitas adsorpsi logam Cd menggunakan media adsorben ampas teh secara garis besar terdiri dari pembuatan adsorben, aktivasi adsorben secara kimia dan proses adsorpsi. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.5.1. Pembuatan *Tea Waste Powder (TWP)*

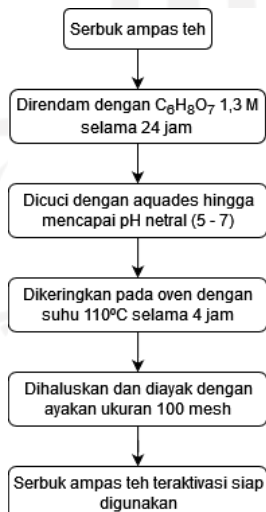
Pembuatan serbuk ampas teh bertujuan untuk mempermudah penyerapan adsorbat dalam air. Alur pembuatan adsorben serbuk ampas teh dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram Pembuatan Serbuk Ampas Teh

3.5.2. Pembuatan *Activated Tea Waste Powder (ATWP)*

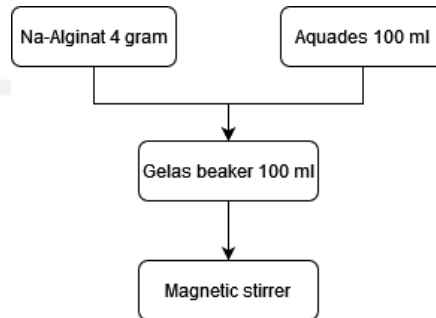
Pembuatan ATWP mengacu pada penelitian Mondal (2010) dan Siswoyo (2018). Pembuatan ATWP bertujuan untuk memperluas permukaan ampas teh sehingga mampu mengikat adsorbat lebih banyak. Penggunaan $C_6H_8O_7$ dalam aktivasi ampas teh dapat memperkuat penyerapan Cd pada ampas teh. Diagram alir pembuatan ampas teh teraktivasi dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Diagram Alir Pembuatan Ampas Teh Teraktivasi

3.5.3. Pembuatan Alginat 4%

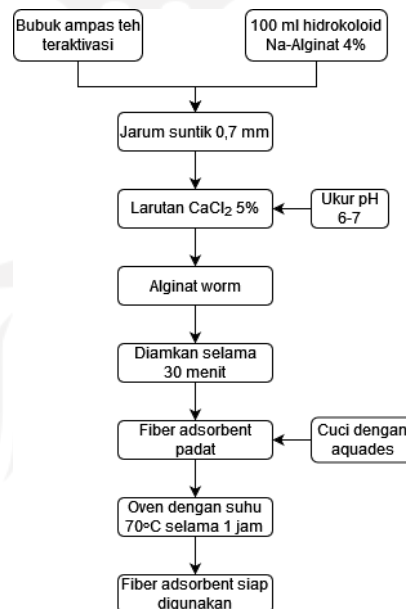
Pembuatan alginat 4% mengacu pada penelitian Sedyanto (2018) yaitu dilakukan dengan melibatkan Natrium Alginat yang dilarutkan dengan aquades. Alginat 4% digunakan untuk bahan pembuatan fiber adsorbent pada tahap selanjutnya. Pembuatan alginat 4% dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Diagram Alir Pembuatan Alginat 4%

3.5.4. Pembuatan Activated Tea Waste Fiber (ATWF)

Proses pembuatan *fiber adsorbent* mengacu pada penelitian Sedyanto (2018). Pembuatan ampas teh menjadi *fiber adsorbent* dapat mempermudah pengaplikasian ampas teh sebagai adsorben di dalam air. Pembuatan *fiber adsorbent* dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Diagram Alir Pembuatan Fiber Adsorbent

3.5.5. Pembuatan dan Pengujian Larutan Standar Logam Kadmium (Cd^{2+})

Pembuatan dan pengujian larutan standar logam kadmium mengacu pada prosedur yang ada pada SNI 06-6989.16-2004, Air dan air limbah – Bagian 16: Cara Uji Kadmium (Cd) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – Nyala.

3.5.6. Karakterisasi Adsorben

Karakterisasi adsorben dilakukan menggunakan instrumen FTIR dan SEM. Karakterisasi dengan instrumen FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada adsorben. Karakterisasi dengan instrumen SEM digunakan untuk mengetahui tampak permukaan dan pori-pori adsorben

3.5.7. Uji Variasi Massa Adsorben

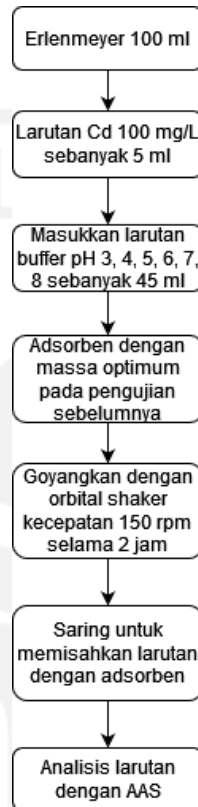
Pengujian variasi massa bertujuan untuk mengetahui kemampuan penyerapan dari setiap massa dan menemukan nilai optimum dari suatu massa terhadap penyerapan logam. Langkah pengujian variasi massa dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Diagram Alir Uji Variasi Massa Adsorben

3.5.8. Uji Variasi pH Larutan

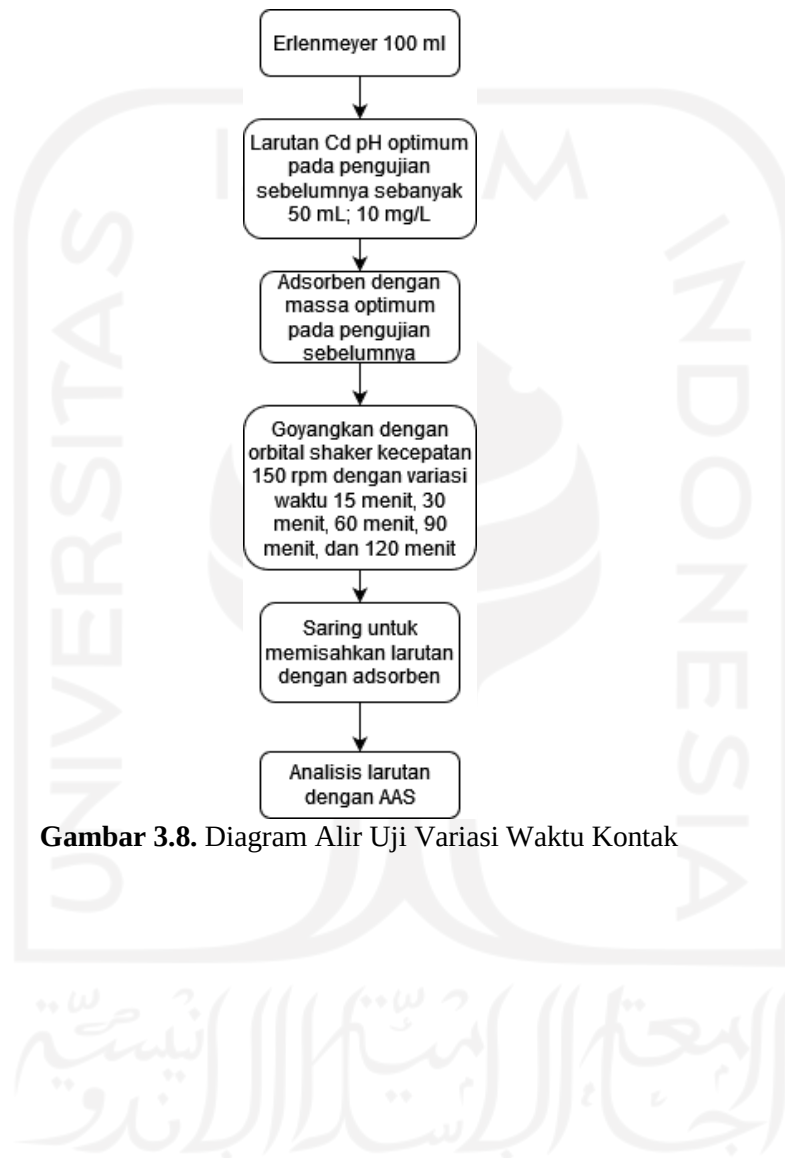
Pengujian variasi pH bertujuan untuk mengetahui pengaruh pH terhadap penyerapan adsorben dan menemukan nilai optimum dari pH yang diuji. Langkah pengujian variasi massa dapat dilihat pada Gambar 3.7



Gambar 3.7. Diagram Alir Uji Variasi pH Larutan

3.5.9. Uji Variasi Waktu Kontak

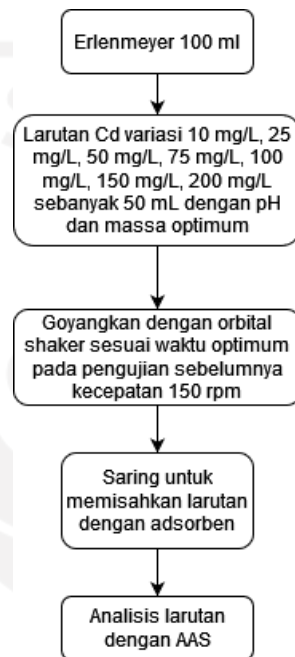
Pengujian variasi waktu kontak bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu kontak terhadap penyerapan adsorben dan menemukan waktu optimum pada saat adsorben kontak dengan larutan logam Cd. Langkah pengujian variasi massa dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Diagram Alir Uji Variasi Waktu Kontak

3.5.10. Uji Variasi Konsentrasi Larutan

Pengujian variasi konsentrasi larutan bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi adsorbat terhadap penyerapan adsorben dan menemukan konsentrasi optimum pada saat adsorben kontak dengan larutan logam Cd. Langkah pengujian variasi massa dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Diagram Alir Uji Variasi Konsentrasi Larutan

3.6. Metode Analisis Data

Analisa yang dilakukan yaitu efektivitas adsorben dan model kinetika adsorpsi dari Cd. Untuk efektivitas adsorben dapat melakukan perhitungan sebagai berikut:

$$E_f = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100\%$$

Dimana:

E_f = Efektivitas penurunan (%)

Y_i = Kandungan Cd awal

Y_f = Kandungan Cd akhir

Model kinetika adsorpsi Cd dilakukan pada orde 0, orde 1, dan orde 2 dengan regresi linier. Metode regresi linier ditunjukkan dengan persamaan $Y = bX + a$. Nilai a merupakan konstanta yang bernilai negatif apabila nilai b tidak

bernilai angka 0. Pemilihan orde masing-masing kinetika adsorpsi berdasarkan nilai regresi linier tertinggi. Semakin tinggi nilai regresi linier maka kelinieritasan kurva berdasarkan persamaan regresi linier masing-masing orde akan lebih mudah tercapai (Pratama, 2017)



BAB IV

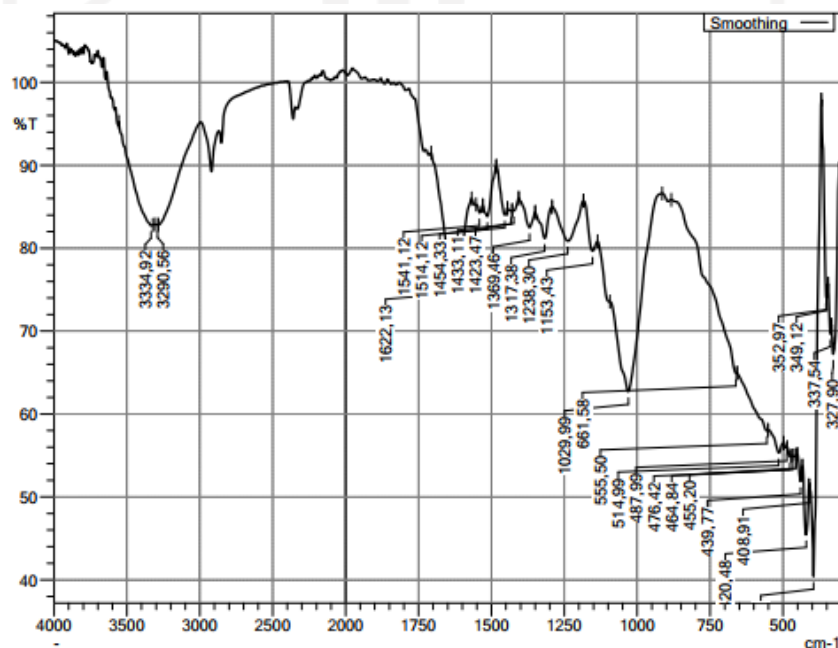
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Adsorben

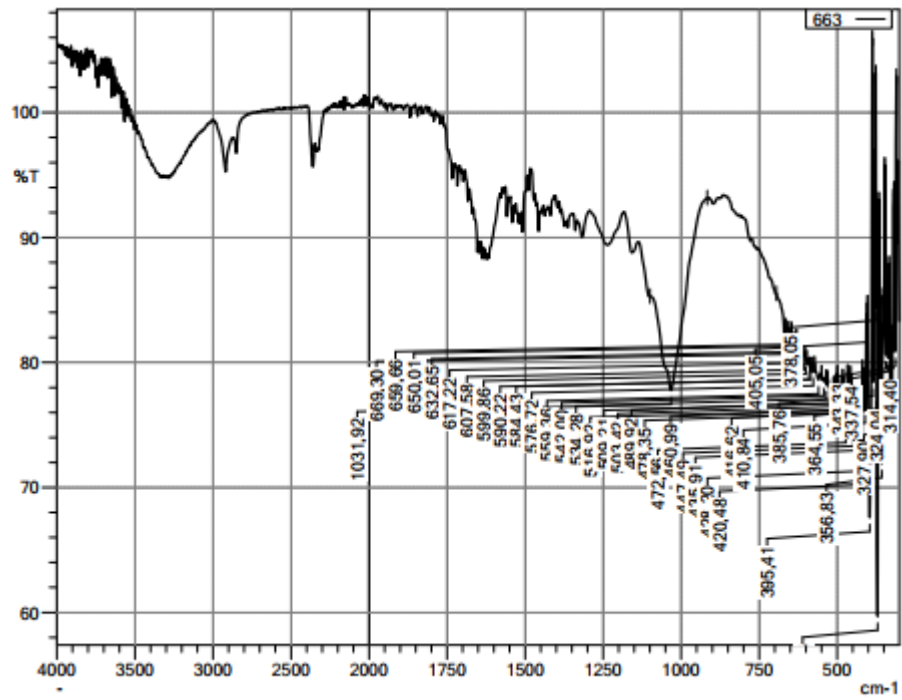
4.1.1. FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Dalam pengujian adsorpsi, selain menganalisis kapasitas penyerapan adsorben pada adsorbat, diperlukan pula untuk menganalisis karakteristik adsorben sebelum kontak dengan adsorbat maupun sesudah kontak dengan adsorbat. FTIR merupakan instrumen yang dapat mengidentifikasi gugus fungsi pada suatu sampel. Pada penelitian ini FTIR digunakan untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada material adsorben. Pengujian menggunakan panjang gelombang 400-4000 cm^{-1} . Luaran dari pengujian FTIR berupa grafik yang menghubungkan antara bilangan gelombang (cm^{-1}) pada sumbu x dan transmittansi (%) pada sumbu y.

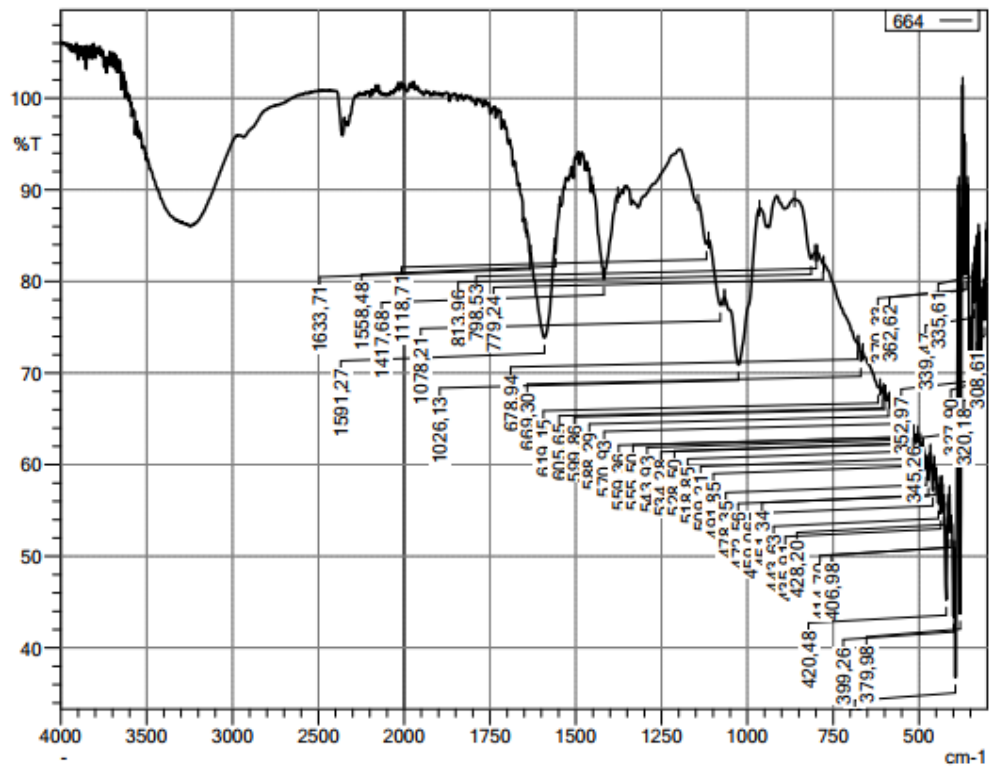
Dalam analisis menggunakan FTIR akan menghasilkan grafik yang dapat diidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada adsorben melalui puncak gelombang pada rentang tertentu. Hasil analisis dengan FTIR dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan tabel hasil FTIR dapat dilihat pada Lampiran 2.



(a)



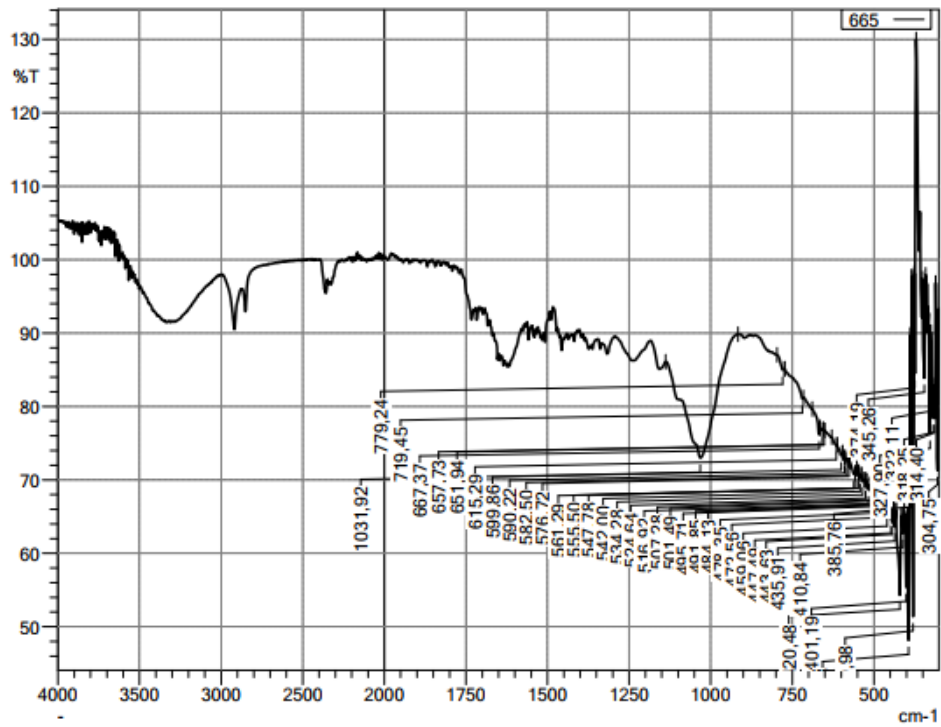
(b)



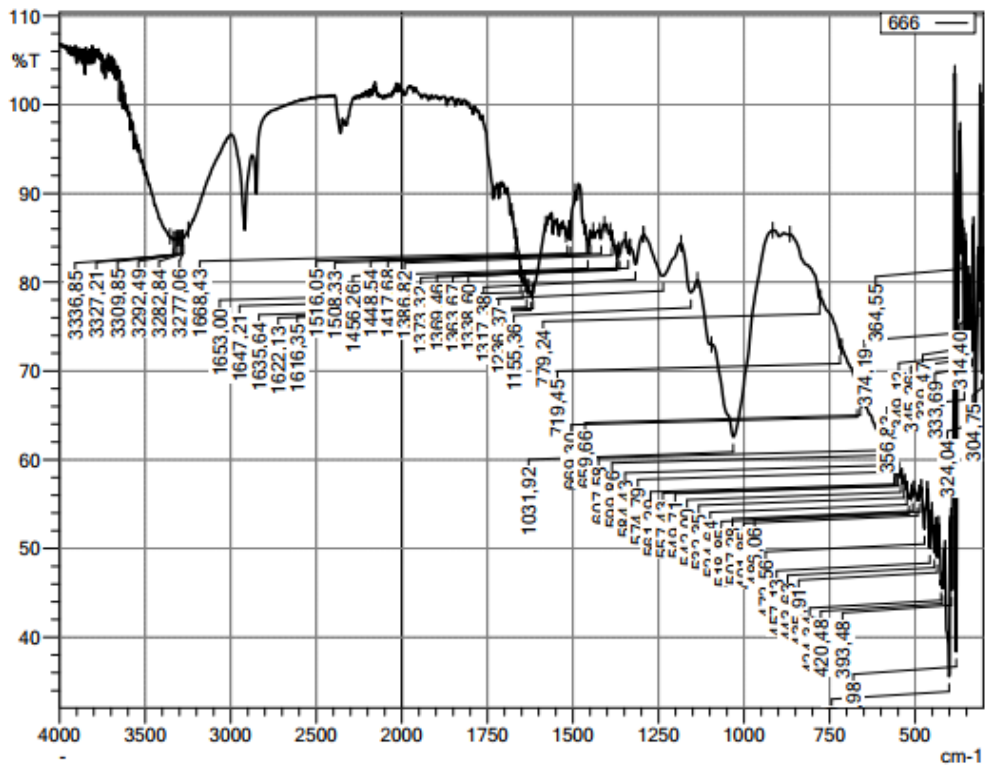
(c)

Gambar 4.1. Hasil Uji FTIR Sebelum Adsorpsi TWP (a), ATWP (b), ATWF (c)

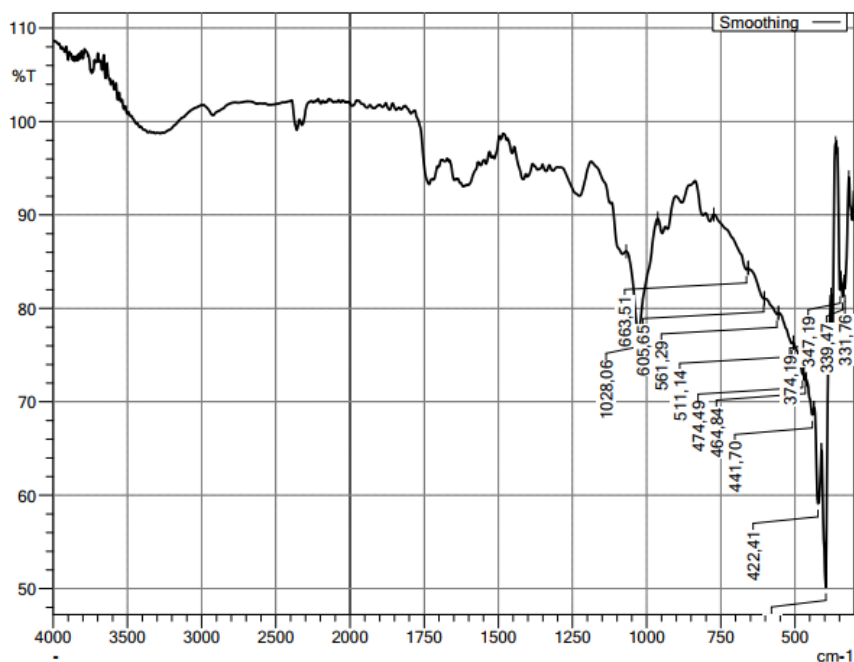
Hasil uji FTIR terhadap adsorben setelah proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.2.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2. Hasil Uji FTIR Setelah Adsorpsi TWP (a), ATWP (b), ATWF (c)

Dari grafik yang ada pada Gambar 4.1, dapat diidentifikasi titik puncak serapan (peak) dengan rincian klasifikasi pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Rincian Klasifikasi Gugus Fungsi Sebelum Adsorpsi

Gugus fungsi	Rentang frekuensi	Kelompok senyawa	TWP		ATWP		ATWF	
			Frekuensi	Intensitas	Frekuensi	Intensitas	Frekuensi	Intensitas
-OH	3570-3200	Hidroksil	3334,92	82,74	-	-	-	-
COO-	1610-1560	Karboksil	-	-	-	-	1591,27	73,87
Si-O-Si	1100-1000	Senyawa Silika	1029,99	62,7	1031,92	77,78	1026,13	70,91
C-O-C	520-430	Eter	514,99	55,32	472,56	74,71	-	-

Untuk identifikasi titik puncak serapan (peak) pada adsorben setelah proses adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Rincian Klasifikasi Gugus Fungsi Setelah Adsorpsi

Gugus fungsi	Rentang frekuensi	Kelompok senyawa	TWP		ATWP		ATWF	
			Frekuensi	Intensitas	Frekuensi	Intensitas	Frekuensi	Intensitas
N-H	1650-1620	Amina	-	-	1622,13	78,57	-	-

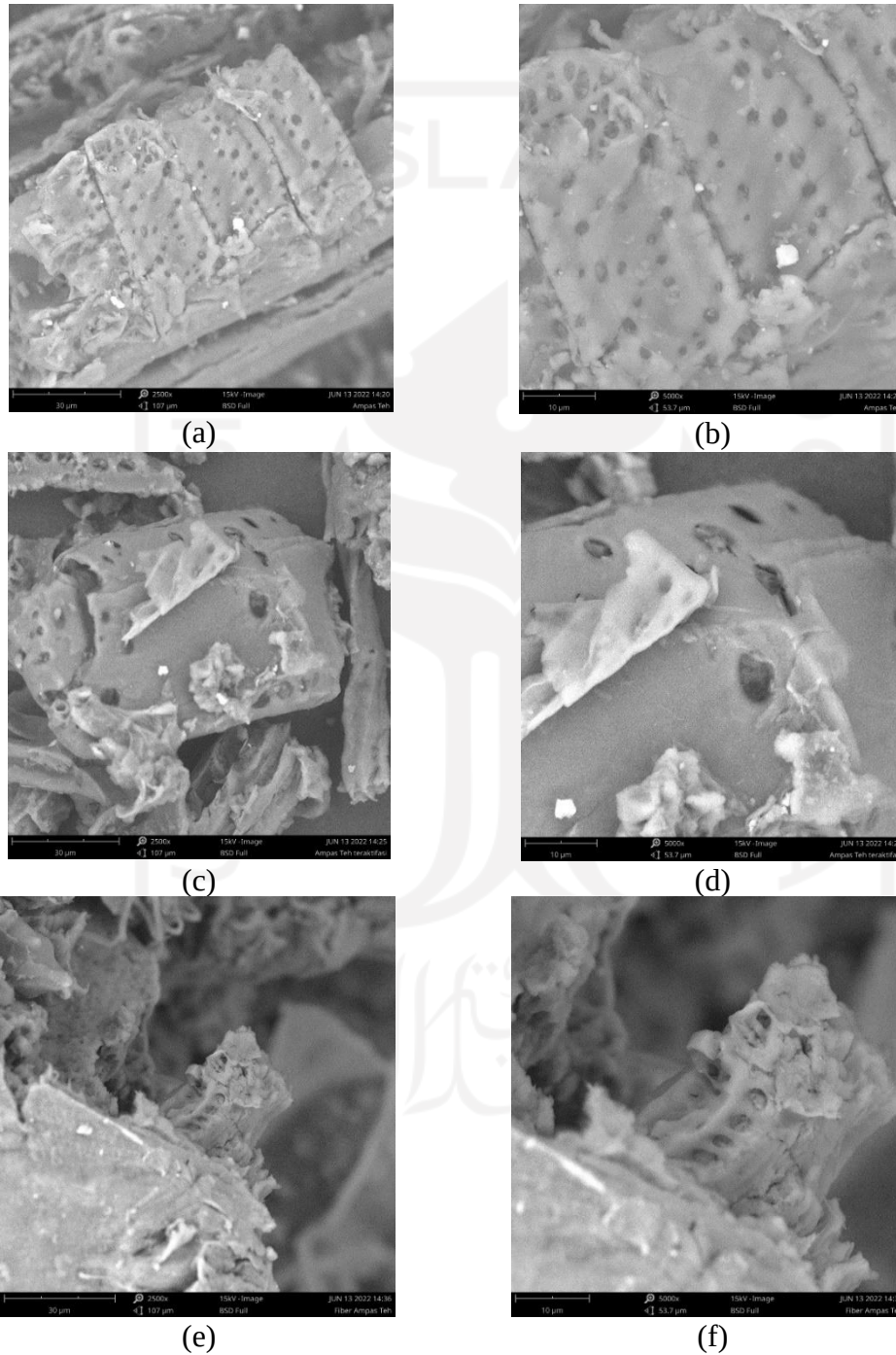
Gugus fungsi	Rentang frekuensi	Kelompok senyawa	TWP		ATWP		ATWF	
			Frekuensi	Intensitas	Frekuensi	Intensitas	Frekuensi	Intensitas
C-H	1485-1445	Metilen	-	-	1456,26	83,28	-	-
Si-O-Si	1100-1000	Senyawa Silika	-	-	1031,92	62,58	-	-
C-C=O	565-520	Aldehida	561,29	70,78	-	-	422,41	59,11

Macam-macam klasifikasi gugus fungsi berdasarkan panjang gelombang dapat dilihat pada Lampiran 3. Berdasarkan hasil klasifikasi gugus fungsi pada Tabel 4.1 dalam proses adsorpsi memiliki gugus fungsi hidroksil yang berada pada frekuensi $3334,92 \text{ cm}^{-1}$ yang hanya ditemukan pada ampas teh (TWP), gugus fungsi karboksil dengan frekuensi $1591,27 \text{ cm}^{-1}$ yang ditemukan pada *fiber adsorbent* ampas teh (ATWF).

Pada ampas teh teraktivasi (ATWP) sebelum dan sesudah terdapat gugus fungsi Si-O-Si atau senyawa silika yaitu pada frekuensi $1031,92 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas berbeda yaitu 77,78 dan 62,58. Selain itu perbandingan grafik FTIR pada adsorpsi sebelum dan sesudah juga terdapat perbedaan nilai transmittan yang berarti adanya pengikatan ion logam Cd yang ditunjukkan pada semakin rendahnya nilai transmittan pada grafik sesudah proses adsorpsi. Berdasarkan Tabel 4.1 dan 4.2, terdapat perbedaan gugus fungsi yaitu hilangnya gugus hidroksil yang dapat diartikan bahwa gugus hidroksil bereaksi berikatan dengan senyawa adsorbat.

4.1.2. SEM (Scanning Electron Microscopes)

Pengujian dengan instrumen SEM dilakukan untuk mengetahui bentuk permukaan adsorben. Pada penelitian ini dilakukan pengujian adsorben oleh SEM dengan pembesaran 2.500 kali dan 5.000 kali. Hasil pengujian adsorben dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Permukaan Adsorben (a) dan (b) TWP; (c) dan (d) ATWP; (e) dan (f) ATWF

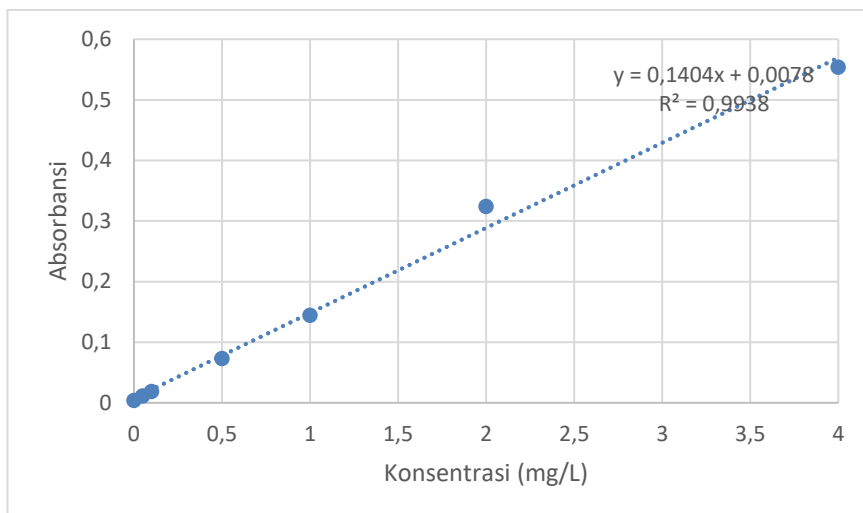
Gambar 4.3 sisi kiri merupakan adsorben dengan pembesaran 2.500 kali dan skala perbesaran yaitu 30 μm dan sisi kanan merupakan adsorben dengan pembesaran 5.000 kali dan skala perbesaran yaitu 10 μm . Dari gambar tersebut terlihat bahwa masing-masing adsorben memiliki pori-pori yang cukup banyak yang mampu menyerap adsorbat. Selain pori-pori yang terlihat banyak, dapat terlihat pula bentuk pori masing-masing adsorben. Pada TWP pori-pori terlihat banyak dan berukuran kecil sedangkan ATWP memiliki pori yang berjarak namun berukuran lebih besar dibandingkan TWP. Pori-pori pada ATWP terlihat lebih besar dikarenakan hasil aktivasi oleh asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) yang dapat membersihkan permukaan ampas teh dari kotoran yang menutupi rongga pori sehingga memudahkan penyerapan saat proses adsorpsi berlangsung.

Hasil penangkapan gambar tampak permukaan adsorben juga didukung oleh kemampuan penyerapan adsorben. Kapasitas adsorben yang diperoleh dari hasil perhitungan secara berturut-turut pada TWP, ATWP, dan ATWF yaitu 45,45 mg/g; 16,56 mg/g; dan 24,75 mg/g. ATWF memiliki kemampuan penyerapan yang cukup baik karena adanya gugus karboksil ($-\text{COOH}$) pada alginat gel yang menambah situs atau rongga permukaan untuk mengikat ion $\text{Cd}^{(2+)}$.

4.2. Larutan Standar Cd^{2+}

Larutan standar kadmium (Cd^{2+}) dibuat dengan padatan CdNO_3 yang dilarutkan dengan aquades sebanyak 1000 mL sebesar 1000 ppm. Larutan uji dibuat dengan rentang konsentrasi tertentu kemudian diuji dengan AAS untuk mendapat konsentrasi yang dapat digunakan untuk pengukuran konsentrasi sampel. Untuk membuat larutan standar, diperlukan pengenceran dari larutan induk sesuai dengan rentang konsentrasi.

Rentang konsentrasi yang dimulai dari 0 – 4 ppm. Hasil dari pengukuran absorbansi ditunjukkan pada kurva kalibrasi yang menghubungkan antara konsentrasi Cd dengan absorbansi terukur. Pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa hasil dari pengukuran absorbansi dari larutan standar Cd^{2+} mendapat nilai $R^2 = 0,9938$ dengan koefisien korelasi $R = 0,9965$ dan memiliki persamaan regresi linier $y = -0,0647 + 7,1434x$.



Gambar 4.4. Kurva Kalibrasi Larutan Standar Cd^{2+}

4.3. Uji Adsorpsi

Pada uji adsorpsi dilakukan pada larutan logam Cd menggunakan 3 jenis adsorben yang berbeda, yaitu ampas teh murni, ampas teh teraktivasi, dan fiber adsorbent ampas teh. Uji adsorpsi dilakukan untuk mengetahui kapasitas adsorben dalam menyerap logam kadmium yang kemudian diukur menggunakan spektrofotometer serapan atom (AAS).

4.3.1. Variasi Massa Adsorben

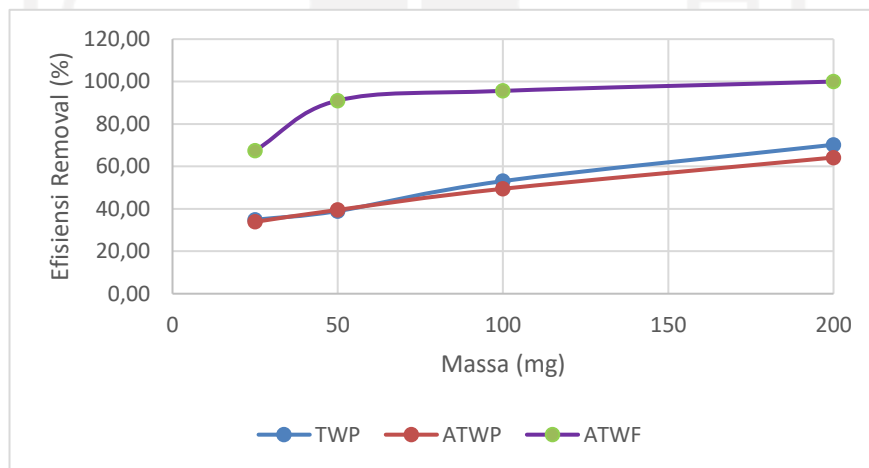
Percobaan dengan menggunakan variasi massa adsorben bertujuan untuk mengetahui massa adsorben yang optimum untuk menyerap logam Cd. Proses adsorpsi dilakukan dengan metode *batch* menggunakan *orbital shaker*. Setelah proses adsorpsi, larutan dipisahkan dari adsorben dengan cara penyaringan kemudian diukur konsentrasinya menggunakan AAS. Dalam pengukuran konsentrasi pada AAS, terdapat larutan awal Cd tanpa melalui proses adsorpsi untuk mengetahui selisih konsentrasi Cd dan nilai pH sebelum dan sesudah kontak dengan adsorben. Data hasil uji proses adsorpsi melalui percobaan variasi massa adsorben dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Data Hasil Percobaan Variasi Massa

Nama Sampel	Massa Adsorben (mg)	pH awal	pH akhir	C awal (mg/L)	C akhir (mg/L)	C terserap (mg/L)	Efisiensi removal (%)
TWP	25	6,676	6,693	12,96	8,44	4,52	34,88

	50		6,683		7,91	5,05	38,97
	100		6,677		6,08	6,88	53,09
	200		6,668		3,86	9,1	70,22
ATWP	25		6,697		8,57	4,39	33,87
	50	6,676	6,689	12,96	7,84	5,12	39,51
	100		6,680		6,55	6,41	49,46
	200		6,666		4,64	8,32	64,20
ATWF	25		6,883		4,00	8,30	67,48
	50	6,676	6,868	12,30	1,10	11,20	91,06
	100		6,838		0,54	11,76	95,61
	200		6,766		0	12,30	100,00

Data yang diperoleh dapat *diplotkan* kedalam grafik dengan menunjukkan hubungan antara efisiensi removal terhadap variasi massa adsorben. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Grafik hubungan antara efisiensi removal dengan massa

Dari grafik hubungan antara efisiensi removal dengan massa adsorben terlihat bahwa terjadi peningkatan penyerapan ion logam kadmium seiring bertambahnya massa adsorben yang digunakan. Dalam percobaan variasi massa dapat ditentukan nilai optimum massa adsorben yang digunakan untuk percobaan variasi selanjutnya yaitu sebesar 100 mg. Massa 100 mg dipilih karena pada massa tersebut kemampuan penyerapan adsorben sudah cukup baik yaitu sebesar 53,09% untuk ampas teh, 49,46% untuk ampas teh teraktivasi, dan 95,61% untuk fiber adsorben.

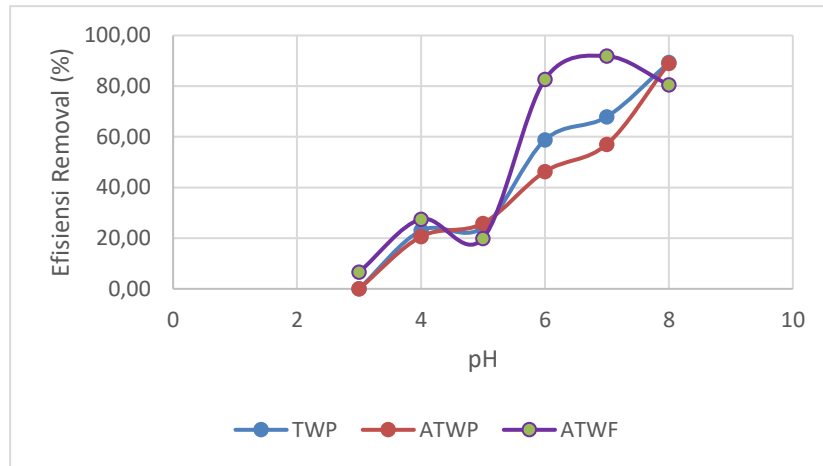
4.3.2. Variasi pH Larutan

Percobaan menggunakan variasi pH larutan bertujuan untuk mengetahui pengaruh penyerapan dalam berbagai nilai pH, rentang pH larutan yang tepat untuk adsorben dapat menyerap logam Cd. Hasil percobaan variasi pH larutan dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Data Hasil Percobaan Variasi pH Larutan

Nama Sampel	Angka pH uji	pH awal	pH akhir	C awal (mg/L)	C akhir (mg/L)	C terserap (mg/L)	Efisiensi removal (%)
TWP	3	2,968	3,003	8,83	8,83	0,00	0,00
	4	4,374	4,441		6,80	2,03	22,99
	5	5,410	5,406		6,69	2,14	24,24
	6	6,867	6,774		3,64	5,19	58,78
	7	7,178	7,152		2,83	6,00	67,95
	8	8,193	7,983		0,94	7,89	89,35
ATWP	3	2,968	2,932	8,83	8,83	0,00	0,00
	4	4,374	4,368		7,01	1,82	20,61
	5	5,410	5,381		6,55	2,28	25,82
	6	6,867	6,848		4,74	4,09	46,32
	7	7,178	7,142		3,79	5,04	57,08
	8	8,193	8,070		0,97	7,86	89,01
ATWF	3	2,968	3,015	8,83	8,25	0,58	6,57
	4	4,374	4,387		6,40	2,43	27,52
	5	5,410	5,345		7,07	1,76	19,93
	6	6,867	6,797		1,53	7,30	82,67
	7	7,178	7,095		0,72	8,11	91,85
	8	8,193	7,968		1,72	7,11	80,52

Data yang diperoleh dapat diplotkan kedalam grafik dengan menunjukkan hubungan antara efisiensi removal terhadap variasi pH larutan. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Grafik hubungan antara efisiensi removal dengan nilai pH

Pengondisian pH larutan menggunakan larutan penyangga pH mulai dari pH 3, 4, 5, 6, 7, dan 8. Pembuatan larutan penyangga untuk pH 3 dan 4 menggunakan KHP 0,1 M dan HCl 0,1 M, larutan penyangga pH 5 menggunakan KHP 0,1 M dan NaOH 0,1 M, dan larutan penyangga pH 6 sampai 8 menggunakan KH_2PO_4 0,1 M dan NaOH 0,1 M. Pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa efisiensi removal logam Cd pada TWP dan ATWP terjadi peningkatan seiring bertambahnya nilai pH. Namun untuk ATWF terjadi penurunan penyerapan pada pH 5 dengan efisiensi removal sebesar 19,93% dan kembali naik pada pH 6 yang memiliki efisiensi removal sebesar 82,67%.

Nilai pH menjadi salah satu faktor meningkatnya penyerapan logam karena logam Cd membentuk senyawa kompleks dari gugus hidroksil yang ada pada adsorben (Asuquo & Martin, 2016). Kenaikan kapasitas penyerapan logam Cd disebabkan oleh perpindahan ion hidrogen (H^+) dari adsorben ke logam Cd. Penyerapan logam Cd oleh adsorben terjadi proses deprotonasi gugus COOH dan NH_2 yang menyebabkan terjadinya pelepasan ion H^+ kedalam adsorbat. Ion Cd^{2+} tertarik ke ion bermuatan negatif seperti COO dan NH_2 dan menyatu membentuk senyawa kompleks logam adsorben (Asuquo & Martin, 2016; Thabede et al., 2020). Berdasarkan Gambar 4.2, pH optimum terjadi pada pH 6 karena pada rentang pH 6 sampai 8 kemampuan penyerapan tidak terdapat kenaikan

kemampuan penyerapan yang signifikan. Nilai pH 6 dipilih karena pada pH 7 dan 8 masih terjadi peningkatan penyerapan yang dapat diindikasikan terjadi pengendapan pada larutan uji.

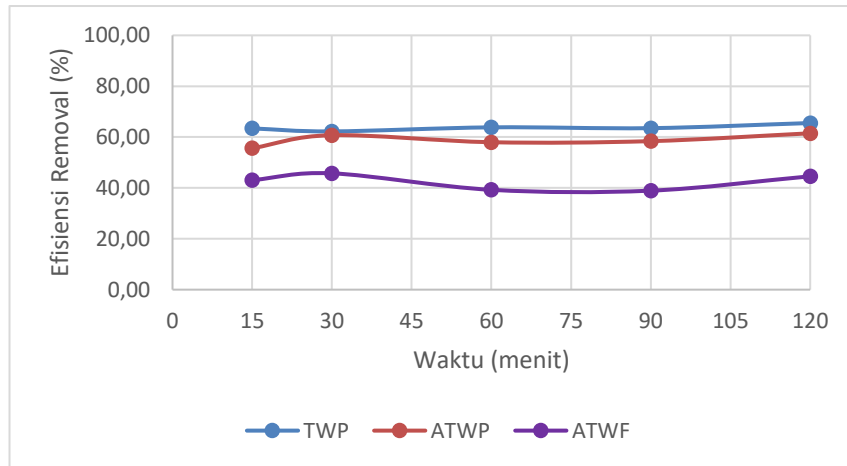
4.3.3. Variasi Waktu Kontak

Percobaan variasi waktu kontak dilakukan dengan mengontakkan massa optimum dengan larutan logam Cd dengan rentang pH optimum sesuai percobaan sebelumnya. Waktu pengadukan yang di uji yaitu selama 15, 30, 60, 90, dan 120 menit. Percobaan variasi waktu kontak dilakukan untuk mengetahui lama durasi penyerapan larutan logam Cd terhadap adsorben yang optimum sehingga mencapai titik kesetimbangan. Proses adsorpsi untuk mencapai titik kesetimbangan hanya memerlukan waktu yang singkat (Mouni et al., 2018). Percobaan menggunakan variasi waktu kontak bertujuan untuk mengetahui waktu penyerapan larutan Cd pada adsorben. Hasil percobaan variasi pH larutan dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Data Hasil Percobaan Variasi Waktu Kontak

Nama Sampel	Waktu uji (menit)	pH awal	pH akhir	C awal (mg/L)	C akhir (mg/L)	C terserap (mg/L)	Efisiensi removal (%)
TWP	15	6,012	6,005	9,40	3,44	5,96	63,40
	30		6,000		3,55	5,85	62,23
	60		5,998		3,40	6,00	63,83
	90		5,998		3,43	5,97	63,51
	120		5,994		3,24	6,16	65,53
ATWP	15	6,012	5,971	9,40	4,17	5,23	55,64
	30		5,971		3,69	5,71	60,74
	60		5,968		3,95	5,45	57,98
	90		5,962		3,91	5,49	58,40
	120		5,971		3,62	5,78	61,49
ATWF	15	6,012	5,957	9,40	5,35	4,05	43,09
	30		5,977		5,10	4,30	45,74
	60		5,966		5,71	3,69	39,26
	90		5,958		5,74	3,66	38,94
	120		5,968		5,21	4,19	44,57

Data yang diperoleh dapat diplotkan kedalam grafik dengan menunjukkan hubungan antara efisiensi removal terhadap variasi waktu kontak. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Grafik Hubungan antara Efisiensi Removal dengan Waktu

Peningkatan penyerapan yang signifikan terjadi pada 5 sampai 30 menit, setelah 30 menit proses adsorpsi stabil dan tidak ada peningkatan penyerapan yang signifikan. Laju penyerapan yang cepat meningkat pada menit awal disebabkan oleh banyaknya permukaan adsorben yang masih bersih tidak terisi oleh adsorbat. Seiring bertambahnya waktu kontak, permukaan adsorben mulai terisi oleh adsorbat hingga kemampuan adsorben perlahan menurun dalam menyerap karena permukaannya yang penuh terisi oleh adsorbat (Thabede et al., 2020).

Pada Gambar 4.7 menunjukkan hasil penyerapan adsorben pada larutan uji. Hasil penyerapan oleh TWP cukup baik dengan efisiensi removal maksimum sebesar 65,53% dengan waktu kontak 120 menit, kemudian pada adsorben ATWP memiliki efisiensi removal maksimum sebesar 61,49% dengan waktu kontak 120 menit. Pada ATWF efisiensi removal cenderung lebih rendah karena alginat gel yang menyelimuti permukaan adsorben membuat laju penyerapan lebih lambat (Zulaikha, 2012).

4.3.4. Variasi Konsentrasi Larutan

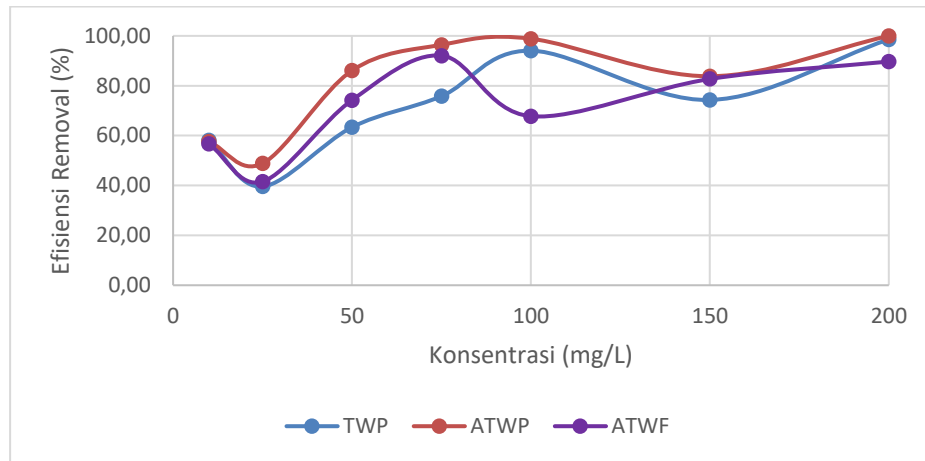
Percobaan variasi konsentrasi larutan dilakukan pada konsentrasi 10, 25, 50, 75, 100, 150, dan 200 ppm. Adanya analisis variasi konsentrasi dilakukan untuk mendapatkan konsentrasi yang sesuai berdasarkan nilai optimum pada massa, pH,

dan waktu kontak yang sudah di uji sebelumnya. Hasil dari pengujian variasi konsentrasi larutan dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Data Hasil Percobaan Variasi Konsentrasi Larutan

Nama Sampel	pH awal	pH akhir	C uji (mg/L)	C Awal (mg/L)	Ce (mg/L)	Efisiensi Removal (%)
TWP	6,16	6,16	10	10	4,19	58,12
	6,03	6,04	25	25	15,10	39,58
	6,06	6,07	50	49,93	18,29	63,37
	5,99	6,02	75	74,85	18,10	75,82
	6,02	6,01	100	99,74	5,92	94,06
	6,00	6,02	150	147,43	37,88	74,31
	6,03	6,00	200	196,35	2,75	98,60
ATWP	6,17	6,14	10	10	4,24	57,64
	6,03	6,02	25	25	12,78	48,86
	6,03	6,02	50	49,93	6,94	86,09
	6,04	6,04	75	74,85	2,68	96,42
	6,00	5,99	100	99,74	1,13	98,86
	6,03	6,02	150	147,43	23,88	83,81
	6,02	5,97	200	196,35	0,00	100,00
ATWF	6,16	6,13	10	10	4,33	56,68
	6,03	6,00	25	25	14,61	41,57
	6,00	5,99	50	49,93	12,87	74,23
	6,00	5,96	75	74,85	5,92	92,09
	6,01	5,98	100	99,74	32,13	67,79
	6,00	5,99	150	147,43	25,47	82,72
	6,01	5,95	200	196,35	20,25	89,69

Data yang diperoleh dapat diplotkan kedalam grafik dengan menunjukkan hubungan antara efisiensi removal terhadap variasi konsentrasi larutan. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.8.



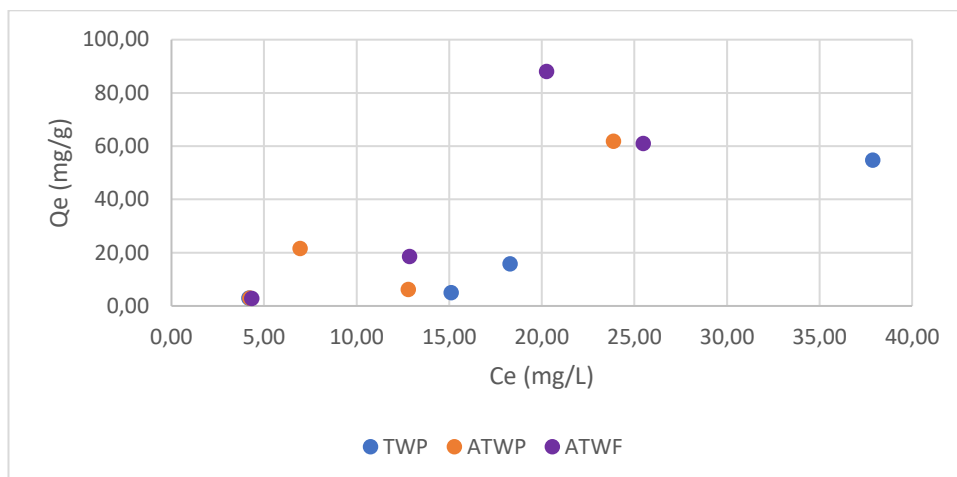
Gambar 4.8. Grafik Hubungan antara Efisiensi Removal dengan Konsentrasi Larutan

Pada Gambar 4.8 menunjukkan nilai efisiensi removal pada penyerapan logam Cd oleh adsorben. Kemudian dari Tabel 4.6 dapat ditentukan nilai optimum pada pengujian variasi konsentrasi yaitu pada konsentrasi 25 mg/L. Konsentrasi tersebut dipilih karena pada konsentrasi 50 mg/L dan seterusnya terjadi peningkatan penyerapan yang diindikasikan terjadinya pengendapan. Pada hasil terlihat terjadinya pengendapan pada konsentrasi tinggi yakni konsentrasi 75, 100, 150, dan 200 mg/L yang disebabkan oleh bereaksinya larutan uji dengan NaOH saat pengujian berlangsung sehingga mengakibatkan meningkatnya persen efisiensi removal. Dari pengujian variasi konsentrasi dapat ditentukan kapasitas adsorpsi adsorben atau kemampuan penyerapan adsorben terhadap adsorbat dalam satuan massa. Dalam perhitungan kapasitas adsorpsi, terlebih dahulu membuat kurva kesetimbangan adsorpsi dan dilanjutkan menentukan kesetimbangan isotherm adsorpsi dengan metode Langmuir dan Freundlich.

4.4. Kesetimbangan Adsorpsi

Kesetimbangan adsorpsi menentukan hubungan antara jumlah logam teradsorpsi (Q_e) dan konsentrasi dalam keadaan setimbang (mg/L). Pada kesetimbangan adsorpsi dibuat grafik gabungan antara 3 adsorben yaitu TWP, ATWP, dan ATWF. Pada pengujian variasi massa, pH, waktu kontak, dan konsentrasi larutan uji, didapatkan kemampuan optimum secara berurut yaitu 100

mg, pH 6, waktu kontak 120 menit, dan konsentrasi larutan uji sebesar 25 mg/L. Grafik kesetimbangan adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Grafik Kesetimbangan Adsorpsi

Dapat terlihat pada Gambar 4.9, untuk masing-masing adsorben TWP, ATWP, dan ATWF belum membentuk grafik dengan pola melengkung yang membuktikan adsorben tersebut belum mencapai titik maksimum dalam penyerapan. Hal tersebut dapat terlihat pada pengujian variasi konsentrasi larutan yang masih meningkat efisiensi removal seiring bertambahnya konsentrasi larutan. Kemudian dari hasil *plot* grafik kesetimbangan adsorpsi, dapat lakukan analisa perhitungan isoterm adsorpsi menggunakan metode Langmuir dan Freundlich.

4.4.1. Isoterm Adsorpsi

Dalam isoterm adsorpsi menggunakan 2 metode yang akan dibandingkan untuk menentukan kapasitas adsorpsi dan parameter kesetimbangan untuk mengetahui kategori dari jenis isoterm yang ditetapkan pada penelitian adsorpsi logam Cd oleh ampas teh.

Persamaan isoterm Langmuir dikutip dari Siswoyo, dkk. (2014) sebagai berikut

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{K_L q_m} \dots \dots \dots (4.1)$$

Sebagai keterangan, Ce adalah konsentrasi dalam keadaan setimbang (mg/L), qe adalah jumlah dari ion Cd ⁽²⁺⁾ yang teradsorpsi dalam keadaan setimbang (mg/L), K_L adalah konstanta Langmuir (L/mg), dan q_m merupakan kapasitas adsorpsi (mg/g). Untuk mendapatkan nilai K_L dan q_m diperlukan membuat grafik persamaan linier antara hubungan 1/Ce dan 1/Qe dan

mendapatkan persamaan regresi linier $y = bx + a$. Nilai K_L merupakan nilai b sedangkan q_m didapatkan dengan rumus $q_m = 1/a$.

Nilai K_L didapatkan dari nilai slope regresi linier atau nilai b . Nilai b merupakan penjabaran dari salah satu rumus pada persamaan (4.1) yang dapat ditulis:

$$b = \frac{1}{K_L q_m} \dots \dots \dots (4.2)$$

Maka,

$$K_L = \frac{1}{b \times q_m} \dots \dots \dots (4.3)$$

Nilai q_m merupakan hasil dari intersep kurva atau nilai a . Dari persamaan (4.1) dapat diperoleh nilai a dengan rumus:

$$a = \frac{1}{q_m} \dots \dots \dots (4.4)$$

Maka,

$$q_m = \frac{1}{a} \dots \dots \dots (4.5)$$

Kemudian isoterm Freundlich juga dikutip dari Siswoyo, dkk. (2014) dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_e = K_f \times C_e^{1/n} \dots \dots \dots (4.6)$$

Nilai q_e adalah jumlah material yang teradsorpsi (mg/g), C_e adalah konsentrasi setimbang (mg/L), K_f adalah konstanta Freundlich, dan n adalah konstanta. Untuk mendapatkan nilai K_f dan n dapat menggunakan persamaan berikut

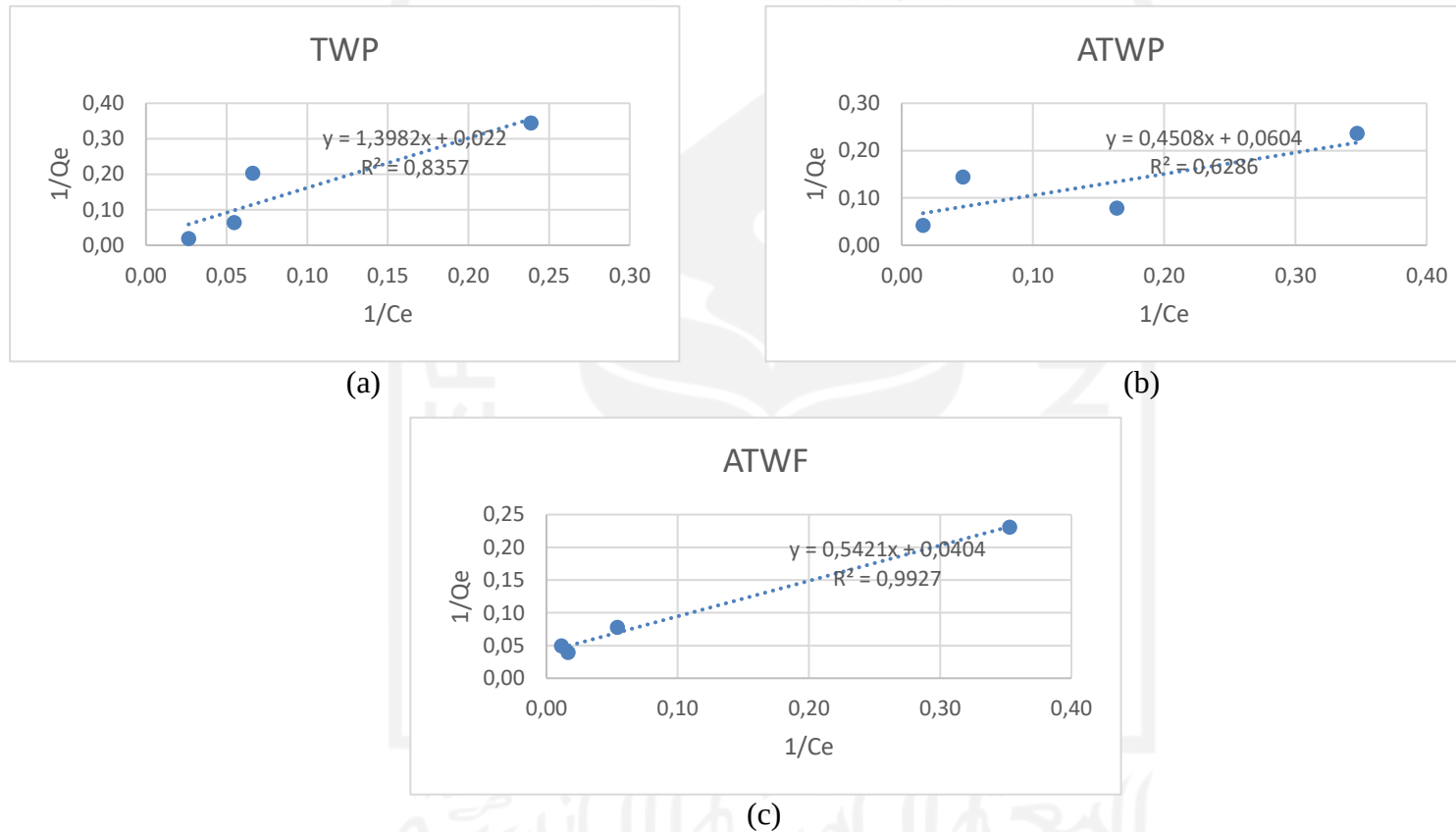
$$\text{Log } (q_e) = \text{Log } (K_f) + \frac{1}{n} \text{Log } (C_e) \dots \dots \dots (4.7)$$

Berdasarkan persamaan-persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich dapat dihitung dan dimasukkan dalam bentuk tabel yang kemudian *diplotkan* dalam bentuk grafik. Hasil dari perhitungan isoterm Langmuir dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Data Hasil Perhitungan Isoterm Langmuir

Nama Sampel	pH awal	pH akhir	C uji (mg/L)	C Awal (mg/L)	Ce (mg/L)	Efisiensi Removal (%)	Langmuir			
							Qe (mg/g)	1/Qe	1/Ce	Qm (mg/g)
TWP	6,161	6,16	10	10	4,19	58,12	2,91	0,34	0,24	45,45
	6,029	6,035	25	25	15,10	39,58	4,95	0,20	0,07	
	6,057	6,069	50	49,93	18,29	63,37	15,82	0,06	0,05	
	6,003	6,02	150	147,43	37,88	74,31	54,77	0,02	0,03	
ATWP	6,165	6,144	10	10	4,24	57,64	2,88	0,35	0,24	16,56
	6,028	6,015	25	25	12,78	48,86	6,11	0,16	0,08	
	6,029	6,016	50	49,93	6,94	86,09	21,49	0,05	0,14	
	6,033	6,022	150	147,43	23,88	83,81	61,78	0,02	0,04	
ATWF	6,163	6,127	10	10	4,33	56,68	2,83	0,35	0,23	24,75
	6,004	5,987	50	49,93	12,87	74,23	18,53	0,05	0,08	
	6,001	5,987	150	147,43	25,47	82,72	60,98	0,02	0,04	
	6,01	5,951	200	196,35	20,25	89,69	88,05	0,01	0,05	

Dari Tabel 4.7 dapat dibuat grafik dengan menghubungkan nilai $1/Q_e$ dan $1/C_e$ pada masing-masing adsorben TWP, ATWP, dan ATWF yang dapat dilihat pada Gambar 4.10.



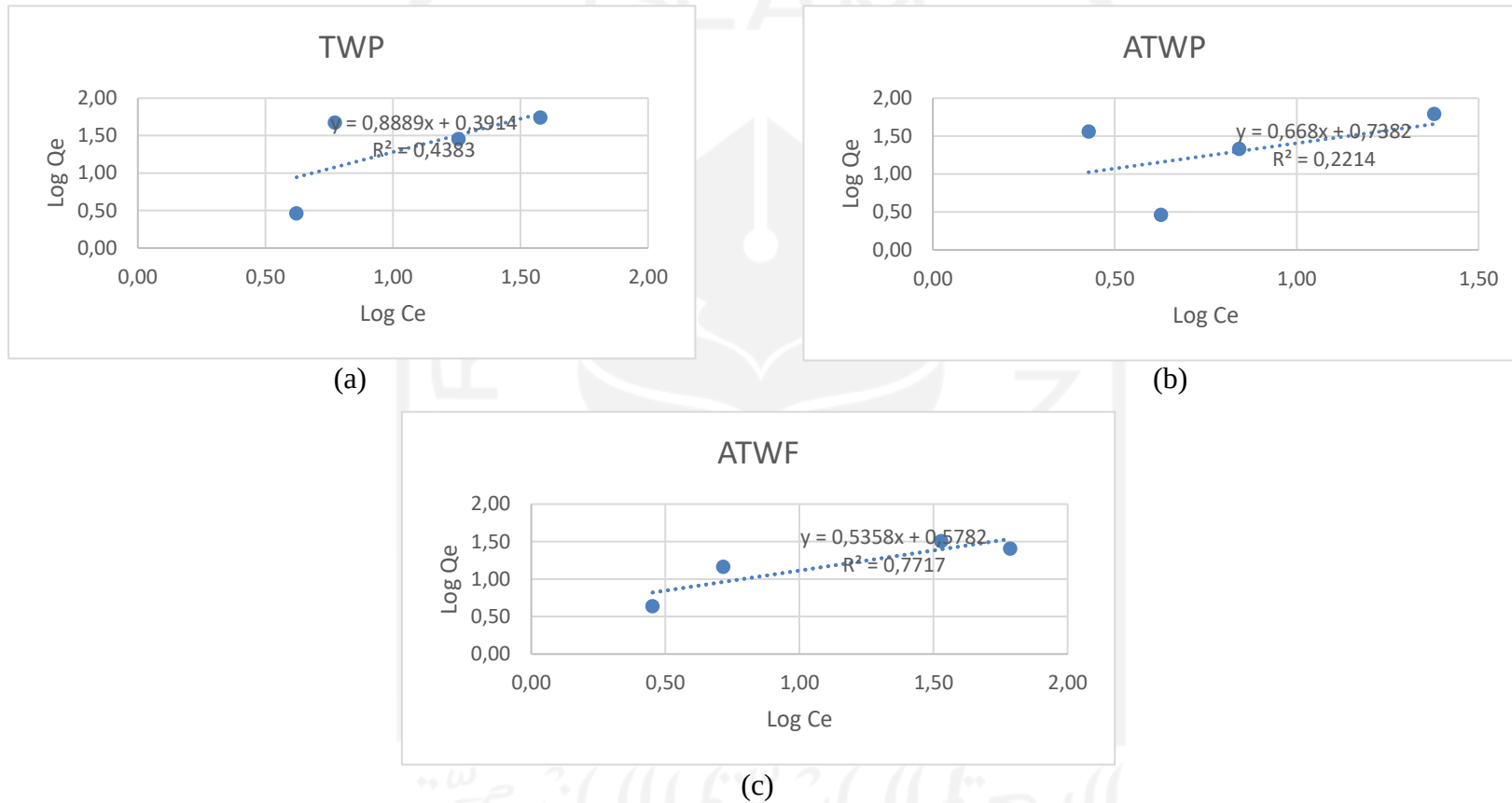
Gambar 4.10. Grafik Isoterm Langmuir pada Adsorben TWP (a), ATWP (b), dan ATWF (c)

Selain Isoterm Langmuir, terdapat analisa kesetimbangan adsorpsi menggunakan Isoterm Freundlich yang hasilnya juga disajikan dalam bentuk grafik dan tabel. Hasil dari perhitungan Isoterm Freundlich dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Data Hasil Perhitungan Isoterm Freundlich

Nama Sampel	pH awal	pH akhir	C uji (mg/L)	C Awal (mg/L)	Ce (mg/L)	Efisiensi Removal (%)	Freundlich		
							Qe (mg/g)	Log Qe	Log Ce
TWP	6,161	6,16	10	10	4,19	58,12	2,91	0,46	0,62
	5,993	6,02	75	74,85	18,10	75,82	28,38	1,45	1,26
	6,016	6,011	100	99,74	5,92	94,06	46,91	1,67	0,77
	6,003	6,02	150	147,43	37,88	74,31	54,77	1,74	1,58
ATWP	6,165	6,144	10	10	4,24	57,64	2,88	0,46	0,63
	6,029	6,016	50	49,93	6,94	86,09	21,49	1,33	0,84
	6,042	6,044	75	74,85	2,68	96,42	36,09	1,56	0,43
	6,033	6,022	150	147,43	23,88	83,81	61,78	1,79	1,38
ATWF	6,163	6,127	10	10	4,33	56,68	2,83	0,45	0,64
	6,027	5,996	25	25	14,61	41,57	5,20	0,72	1,16
	6,012	5,977	100	99,74	32,13	67,79	33,81	1,53	1,51
	6,001	5,987	150	147,43	25,47	82,72	60,98	1,79	1,41

Dari Tabel 4.8 dapat dibuat grafik dengan menghubungkan nilai $1/Q_e$ dan $1/C_e$ pada masing-masing adsorben TWP, ATWP, dan ATWF yang dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Grafik Isoterm Freundlich pada Adsorben TWP (a), ATWP (b), dan ATWF (c)

Dari hasil perhitungan Isoterm Langmuir dan Freundlich didapatkan nilai q_m , K_L , K_f , n , dan R^2 yang dirangkum dan dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Data Hasil Pemodelan Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich

Jenis Adsorben	Langmuir			Freundlich		
	Q_m (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	K_f	n	R^2
TWP	45,45	32,5093	0,8357	2,4626	1,1250	0,4383
ATWP	16,56	36,7347	0,6286	5,4727	1,4970	0,2214
ATWF	24,75	45,6558	0,9927	3,7862	1,8664	0,7717

Dari Tabel 4.9 dapat ditentukan metode isoterm yang digunakan berdasarkan nilai R^2 yang mendekati angka 1. Pada perbandingan kedua isoterm ini, yang mendekati angka 1 adalah hasil dari perhitungan Isoterm Langmuir sehingga Isoterm Langmuir dipilih sebagai model isoterm untuk adsorben ampas teh TWP, ATWP dan ATWF. Selain itu, reaksi antara adsorben dan adsorbat pada model Isoterm Langmuir terjadi pada satu lapisan (monolayer). Pada model Isoterm Langmuir juga dapat melihat kemampuan penyerapan atau kapasitas adsorpsi masing-masing adsorben. Kapasitas adsorpsi dari secara berurut TWP, ATWP, dan ATWF yaitu 45,45 mg/g; 16,56 mg/g; dan 24,75 mg/g.

Setelah diperoleh model isoterm, karakteristik isoterm dapat diketahui menggunakan parameter kesetimbangan (R_L) dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_L = \frac{1}{1+(K_L \times C_0)} \dots \dots \dots (4.8)$$

K_L merupakan konstanta Langmuir dan C_0 merupakan konsentrasi awal ion logam $Cd^{(2+)}$. Parameter kesetimbangan menyatakan karakteristik suatu isoterm berdasarkan kategori seperti:

- $R_L > 1$ Kurang baik
- $R_L = 1$ Linear
- $R_L = 0$ Ireversibel
- $0 < R_L < 1$ Baik

Berdasarkan perhitungan parameter kesetimbangan menggunakan persamaan (4.8) diperoleh nilai R_L yang dapat dihitung untuk konsentrasi

minimum dan maksimum yang digunakan saat pengujian. Nilai R_L untuk konsentrasi 10 mg/L yaitu 0,0031 dan nilai R_L untuk konsentrasi 200 mg/L yaitu 0,0001. Jenis isoterm yang digunakan termasuk kedalam kategori baik untuk adsorpsi karena nilai R_L berada diantara angka 0 dan 1.





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakteristik dari ampas teh yang teraktivasi $C_6H_8O_7$ (ATWP) yaitu mengandung gugus hidroksil dan karboksil. Karakteristik dari *fiber adsorbent* (ATWF) yang merupakan modifikasi dari ampas teh teraktivasi $C_6H_8O_7$ mengandung gugus hidroksil, karboksil, amino dan fosfat. TWP, ATWP, dan ATWF mampu menjadi adsorben yang efektif untuk menyerap logam Cd dalam air karena gugus fungsi yang berperan dalam meningkatkan kemampuan penyerapan adsorben.
2. Dari percobaan variasi massa, pH, waktu kontak, dan konsentrasi didapatkan nilai optimum dari masing-masing variasi. Nilai optimum yang didapat secara berurutan yaitu 100 mg untuk massa dan rentang pH 6 pada 50 mL larutan kadmium 10 mg/L serta waktu pengadukan selama 120 menit. Model isoterm yang digunakan yaitu isoterm Langmuir dengan kapasitas penyerapan secara berturut-turut yaitu 45,45 mg/g, 16,56 mg/g, dan 24,75 mg/g. Efektivitas penyerapan yang diperoleh secara berturut-turut yaitu 53,09%, 49,46%, dan 95,61%. Dalam penelitian ini diperoleh adsorben ampas teh efektif untuk digunakan pada proses adsorpsi setelah membandingkan dengan literatur penelitian terdahulu yang memiliki efisiensi removal pada ampas teh sebesar 6,7% dan kapasitas adsorpsi sebesar 0,4212 mg/g.

5.2. Saran

Pada saat setelah melakukan aktivasi adsorben dilakukan pergantian air cuci dan pemeriksaan rutin agar tidak tumbuh jamur pada adsorben maupun pada airnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Apriliani, A. (2010). Pemanfaatan Arang Ampas Tebu sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu dan Pb dalam Air Limbah. *Repository UIN*, 1–91.
- Ahdiyati, Wida N. (2020). Modifikasi Eceng Gondok Menggunakan Asam Sitrat sebagai Adsorben Limbah Logam Cr dan Cd pada Limbah Cair Laboratorium Kimia. *Repository UIN*, 1-82.
- Abdillah, F. M. (2013). *Evaluasi Pemantauan Pencemaran Air DAS Cisadane, Citarum, Ciliwung, Citanduy Jawa Barat*.
- Amarasinghe, B. M. W. P. K., & Williams, R. A. (2007). Tea waste as a low cost adsorbent for the removal of Cu and Pb from wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 132(1–3), 299–309.
- Asuquo, E. D., & Martin, A. D. (2016). Sorption of cadmium (II) ion from aqueous solution onto sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) peel adsorbent: Characterisation, kinetic and isotherm studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(4), 4207–4228.
- Badarinath, A. V., Ravi Kumar Reddy, J., Mallikarjuna Rao, K., Alagusundaram, M., Gnanaprakash, K., & Madhu Sudhana Chetty, C. (2010). Formulation and characterization of alginate microbeads of flurbiprofen by ionotropic gelation technique. *International Journal of ChemTech Research*, 2(1), 361–367.
- Çelebi, H., Gök, G., & Gök, O. (2020). Adsorption capability of brewed tea waste in waters containing toxic lead(II), cadmium (II), nickel (II), and zinc(II) heavy metal ions. *Scientific Reports*, 10(1), 1–12.
- Chowdhury, S., & Saha, P. Das. (2013). Citric acid modified wheat bran as a potential adsorbent for removal of Cu(II) and Malachite Green from aqueous solutions. *Desalination and Water Treatment*, 51(31–33), 6038–6048.
- De Gisi, S., Lofrano, G., Grassi, M., & Notarnicola, M. (2016). Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, 9, 10–40.
- Emam, A. A., Abo Faraha, S. A., Kamal, F. H., Gamal, A. M., & Basseem, M. (2020). Modification and characterization of Nano cellulose crystalline from *Eichhornia crassipes* using citric acid: An adsorption study. *Carbohydrate Polymers*, 240(April), 116202.
- Farrukh, M. A. (2012). *Atomic Absorption Spectroscopy*. Intech: Croatia.
- Festri, I. & Ellina, S. P. (2014). Studi Dampak Arsen (As) dan Kadmium (Cd) terhadap Penurunan Kualitas Lingkungan. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(1), 1–6.

- Gao, X., Guo, C., Hao, J., Zhao, Z., Long, H., & Li, M. (2020). Adsorption of heavy metal ions by sodium alginate based adsorbent-a review and new perspectives. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 4423–4434.
- Ibnu Hajar, E. W., Sitorus, R. S., Mulianingtias, N., & Welan, F. J. (2018). Efektivitas Adsorpsi Logam Pb^{2+} dan Cd^{2+} Menggunakan Media Adsorben Cangkang Telur Ayam. *Konversi*, 5(1), 1.
- Khan, S. A., Khan, S. B., Khan, L. U., Farooq, A., Akhtar, K., & Asiri, A. M. (2018). Fourier transform infrared spectroscopy: Fundamentals and application in functional groups and nanomaterials characterization. *Handbook of Materials Characterization*, 317–344.
- Mondal, M. K. (2010). Removal of Pb(II) from Aqueous Solution by Adsorption Using Activated Tea Waste. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 27(1), 144–151.
- Mouni, L., Belkhir, L., Bollinger, J. C., Bouzaza, A., Assadi, A., Tirri, A., Dahmoune, F., Madani, K., & Remini, H. (2018). Removal of Methylene Blue from aqueous solutions by adsorption on Kaolin: Kinetic and equilibrium studies. *Applied Clay Science*, 153(December 2017), 38–45.
- Nigam, M., Rajoriya, S., Rani Singh, S., & Kumar, P. (2019). Adsorption of Cr (VI) ion from tannery wastewater on tea waste: Kinetics, equilibrium and thermodynamics studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(3), 103188.
- Pratama, D. A. (2017). Efektivitas Ampas Teh sebagai Adsorben Alternatif Logam Fe dan Cu pada Air Sungai Mahakam. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(3), 131–138.
- Qiao, H., Mei, L., Chen, G., Liu, H., Peng, C., Ke, F., Hou, R., Wan, X., & Cai, H. (2019). Adsorption of nitrate and phosphate from aqueous solution using amine cross-linked tea wastes. *Applied Surface Science*, 483(December 2018), 114–122.
- Ren, H., Gao, Z., Wu, D., Jiang, J., Sun, Y., & Luo, C. (2016). Efficient Pb(II) removal using sodium alginate-carboxymethyl cellulose gel beads: Preparation, characterization, and adsorption mechanism. *Carbohydrate Polymers*, 137(Ii), 402–409.
- Rizanti, F. A. & Taufik, M. (2020). Bio-Adsorben Berbahan Dasar Limbah Ampas Teh (*Camellia Sinensis*) sebagai Agent Penyerap Logam Berat Fe dan Pb pada Air Sungai. *Jurnal Kinetika*, 11(1), 1-6.
- Rodrigues, A. E., Daniel Tondeur, Levan, D. M. (2012). *Adsorption: Science and Technology*. Belanda: Springer Netherlands.

- Sedyanto, A. P. (2018). *Pemanfaatan Kulit Singkong Sebagai Fiber Adsorben Terenkapsulasi Na-Alginat Penyerap Logam Berat Pb (II) dalam Air*. Tugas Akhir. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
- Siswoyo, E., Adrian, A. R., & Tanaka, S. (2018). Bioadsorbent based on water hyacinth modified with citric acid for adsorption of methylene blue in water. *MATEC Web of Conferences*, 154, 2–5.
- Siswoyo, E., Mihara, Y., & Tanaka, S. (2014). Determination of key components and adsorption capacity of a low cost adsorbent based on sludge of drinking water treatment plant to adsorb cadmium ion in water. *Applied Clay Science*, 97–98, 146–152.
- Thabede, P. M., Shooto, N. D., Xaba, T., & Naidoo, E. B. (2020). Adsorption studies of toxic cadmium(II) and chromium(VI) ions from aqueous solution by activated black cumin (*Nigella sativa*) seeds. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(4), 104045.
- Ul-Hamid, A. (2018). *A Beginners' Guide to Scanning Electron Microscopy*. Jerman: Springer International Publishing.
- Utama, T. T. (2015). *Biosorpsi Krom Heksavalen Menggunakan Mikroalga Amobil dalam Sistem Kontinyu*. Tesis. Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung.
- Widyatno, T., Yuliatwati, T., & Susilo, A. A., (2017). Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, 1(1), 1-6.
- Widowati, W., Sastiono, A & Yusuf, R. (2008). *Efek Toksik Logam*. Yogyakarta.
- Yang, S., Wu, Y., Aierken, A., Zhang, M., Fang, P., Fan, Y., & Ming, Z. (2016). Mono/competitive adsorption of Arsenic(III) and Nickel(II) using modified green tea waste. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 60, 213–221.
- Zhuang, Y., Yu, F., Chen, H., Zheng, J., Ma, J., & Chen, J. (2016). Alginate/graphene double-network nanocomposite hydrogel beads with low-swelling, enhanced mechanical properties, and enhanced adsorption capacity. *Journal of Materials Chemistry A*, 4(28), 10885–10892.
- Zulaikha. (2012). *Adsorpsi Methylene Blue Menggunakan Adsorben Lumpur Hasil Pengolahan Air Minum Yang Dienkapsulasi dalam Agar dan Alginate Gel*. Tugas Akhir. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan

1. Pembuatan 1000 mL larutan baku kadmium 1000 mg/L dari CdNO_3

$$\text{Ar Cd} = 112,4$$

$$\text{Ar N} = 14$$

$$\text{Ar O} = 16$$

$$\begin{aligned}\text{Mr CdNO}_3 &= 112,4 + 14 + (16 \times 3) \\ &= 308,47 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa CdNO}_3 &= \text{konsentrasi} \times \text{volume} \times \frac{\text{Mr CdNO}_3}{\text{Ar Cd}} \\ &= 1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1000 \text{ mL} \times \frac{308,47}{112,4} \\ &= 275 \text{ mg} \\ &= 0,275 \text{ g}\end{aligned}$$

Untuk membuat 1000 mL larutan baku kadmium 1000 mg/L, dibutuhkan CdNO_3 sebanyak 0,275 gram yang dilarutkan kedalam 1000 mL aquades.

2. Pembuatan larutan 100 mL $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ 1,3 M sebagai aktivasi adsorben

$$\text{Ar C} = 12$$

$$\text{Ar H} = 1$$

$$\text{Ar O} = 16$$

$$\begin{aligned}\text{Mr C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O} &= (12 \times 6) + (1 \times 8) + (16 \times 7) \\ &= 192,059 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

$$\text{Massa C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$$

$$M = \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} \times \frac{1000}{v}$$

$$1,3 \text{ M} = \frac{\text{massa}}{192,059} \times \frac{1000}{100}$$

$$\text{massa} = 24,96767 \text{ g}$$

Untuk membuat 100 mL $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ 1,3 M diperlukan 24,96767 gram $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ yang dilarutkan ke dalam 100 mL aquades.

3. Pembuatan larutan uji kadmium

- a. Larutan uji 100 mg/L

$$V_1 \times C_1 = V_2 \times C_2$$

$$V_1 = \frac{V_2 \times C_2}{C_1} = \frac{100 \text{ mL} \times 100 \text{ mg/L}}{1000 \text{ mg/L}} = 10 \text{ mL}$$

b. Larutan uji 10 mg/L

$$V_1 = \frac{V_2 \times C_2}{C_1} = \frac{100 \text{ mL} \times 10 \text{ mg/L}}{100 \text{ mg/L}} = 10 \text{ mL}$$

4. Pembuatan larutan 1000 mL KHP 0,1 M

$$\text{Ar K} = 39,098$$

$$\text{Ar H} = 1$$

$$\text{Ar P} = 30,974$$

$$\text{Mr KHP} = 39,098 + 1 + 30,974 = 71,08 \text{ g/mol}$$

$$0,1 \text{ M} = \frac{\text{massa}}{71,08} \times \frac{1000}{1000}$$

$$\text{massa} = 7,108 \text{ g}$$

5. Pembuatan larutan 350 mL HCl 0,1 M

$$V_1 = \frac{V_2 \times C_2}{C_1} = \frac{350 \text{ mL} \times 0,1 \text{ M}}{1 \text{ M}} = 35 \text{ mL}$$

6. Pembuatan larutan 1000 mL KH_2PO_4 0,1 M

$$\text{Ar K} = 39,098$$

$$\text{Ar H} = 1$$

$$\text{Ar P} = 30,974$$

$$\text{Ar O} = 16$$

$$\begin{aligned} \text{Mr KH}_2\text{PO}_4 &= 39,098 + (1,008 \times 2) + 30,974 + (16 \times 4) \\ &= 136,084 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

$$0,1 \text{ M} = \frac{\text{massa}}{136,084} \times \frac{1000}{1000}$$

$$\text{massa} = 13,6084 \text{ g}$$

7. Pembuatan larutan 1000 mL NaOH 0,1 M

$$\text{Ar Na} = 22,99$$

$$\text{Ar O} = 15,999$$

$$\text{Ar H} = 1,008$$

$$\text{Mr NaOH} = 22,99 + 15,999 + 1,008 = 39,997 \text{ g/mol}$$

$$0,1 \text{ M} = \frac{\text{massa}}{39,997} \times \frac{1000}{1000}$$

$$massa = 39,997 \text{ g}$$

8. Perhitungan Isoterm Adsorpsi

a. Perhitungan Grafik Isoterm Langmuir dan Freundlich TWP

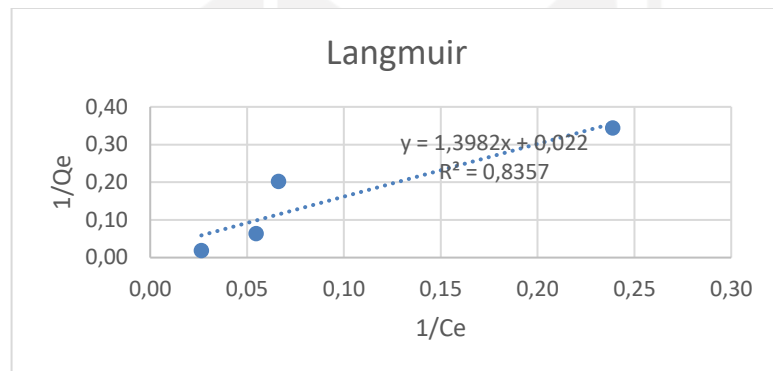
- $\Delta C = C_0 - C_e$

$$\Delta C = 10 \text{ mg/L} - 4,19 \text{ mg/L} = 5,81 \text{ mg/L}$$

- $Q_e = \frac{\Delta C \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times (\text{Volume (mL)}) \times \left(\frac{1\text{L}}{1000}\right)}{(\text{massa (mg)}) \times \left(\frac{1\text{g}}{1000\text{mg}}\right)}$

$$Q_e = \frac{5,81 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times (50 \text{ mL}) \times \left(\frac{1\text{L}}{1000}\right)}{(100 \text{ mg}) \times \left(\frac{1\text{g}}{1000\text{mg}}\right)}$$

$$Q_e = 2,905 \text{ mg/g}$$



$$y = bx + a$$

$$y = 1,3982x + 0,022$$

- Perhitungan regresi linier Langmuir TWP

No.	$1/C_e (x)$	$1/Q_e (y)$	xy	X^2	Y^2
1	0,2388	0,3441	0,0822	0,0570	0,1184
2	0,0662	0,2021	0,0134	0,0044	0,0408
3	0,0547	0,0632	0,0035	0,0030	0,0040
4	0,0264	0,0183	0,0005	0,0007	0,0003
Σ	0,3861	0,6277	0,0995	0,0651	0,1636

$$a = \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)(\Sigma XY)}{n(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2}$$

$$a = \frac{(0,6277)(0,0651) - (0,3861)(0,0995)}{4(0,0651) - (0,3861)^2}$$

$$a = 0,02197$$

$$b = \frac{n(\Sigma XY) - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{n(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2}$$

$$b = \frac{4(0,0995) - (0,3861)(0,6277)}{4(0,0651) - (0,3861)^2}$$

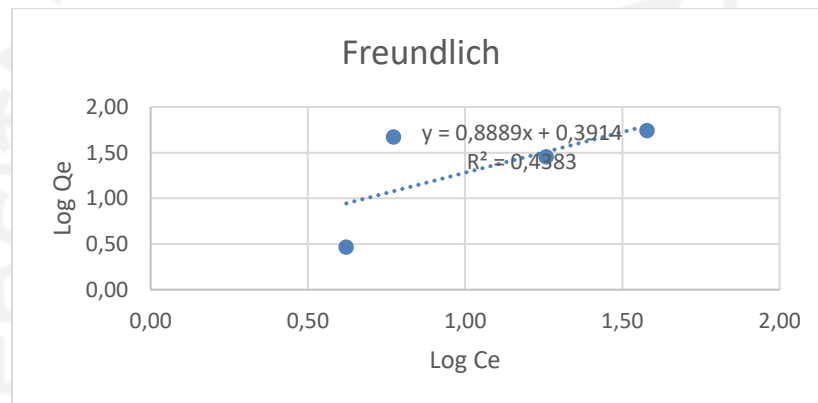
$$b = 1,3982$$

- $Q_m = 1/a$

$$Q_m = \frac{1}{0,02197} = 45,51 \text{ mg/g}$$

- $K_L = \frac{1}{(b \times Q_m)}$

$$K_L = \frac{1}{(1,3982 \times 45,51)} = 0,0157$$



$$y = bx + a$$

$$y = 0,8889x + 0,3914$$

- $K_f = 10^a$

$$K_f = 10^{0,3914} = 2,4626$$

- $n = 1/b$

$$n = \frac{1}{0,8889} = 1,1250$$

b. Perhitungan Grafik Isoterm Langmuir dan Freundlich ATWP

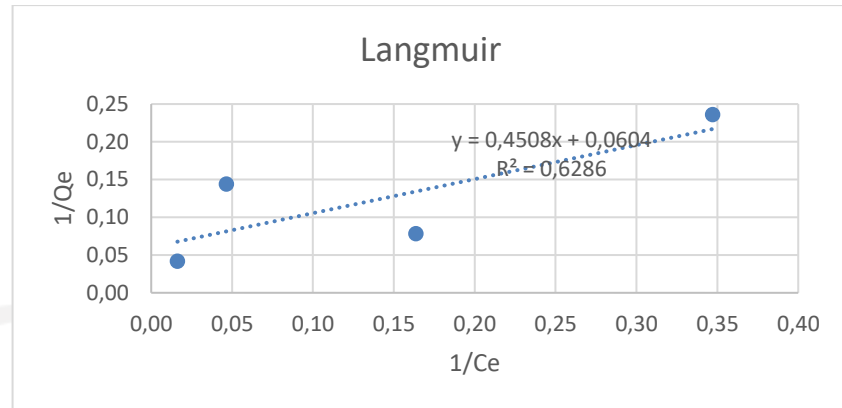
- $\Delta C = C_0 - C_e$

$$\Delta C = 10 \text{ mg/L} - 4,24 \text{ mg/L} = 5,76 \text{ mg/L}$$

- $Q_e = \frac{\Delta C \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times (\text{Volume (mL)} \times (\frac{1\text{L}}{1000} \text{ mL}))}{(\text{massa (mg)} \times (\frac{1\text{g}}{1000\text{mg}}))}$

$$Q_e = \frac{5,76 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times (50 \text{ mL} \times (\frac{1\text{L}}{1000} \text{ mL}))}{(100 \text{ mg} \times (\frac{1\text{g}}{1000\text{mg}}))}$$

$$Q_e = 2,88 \text{ mg/g}$$



$$y = bx + a$$

$$y = 0,4508x + 0,0604$$

- Perhitungan regresi linier Langmuir TWP

No.	1/Ce (x)	1/Qe (y)	xy	X ²	Y ²
1	0,2361	0,3470	0,0819	0,0557	0,1204
2	0,0782	0,1637	0,0128	0,0061	0,0268
3	0,1440	0,0465	0,0067	0,0207	0,0022
4	0,0419	0,0162	0,0007	0,0018	0,0003
Σ	0,5002	0,5734	0,1021	0,0843	0,1496

$$a = \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)(\Sigma XY)}{n(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2}$$

$$a = \frac{(0,5734)(0,0843) - (0,5002)(0,1021)}{4(0,0843) - (0,5002)^2}$$

$$a = 0,0604$$

$$b = \frac{n(\Sigma XY) - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{n(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2}$$

$$b = \frac{4(0,1021) - (0,5002)(0,5734)}{4(0,0843) - (0,5002)^2}$$

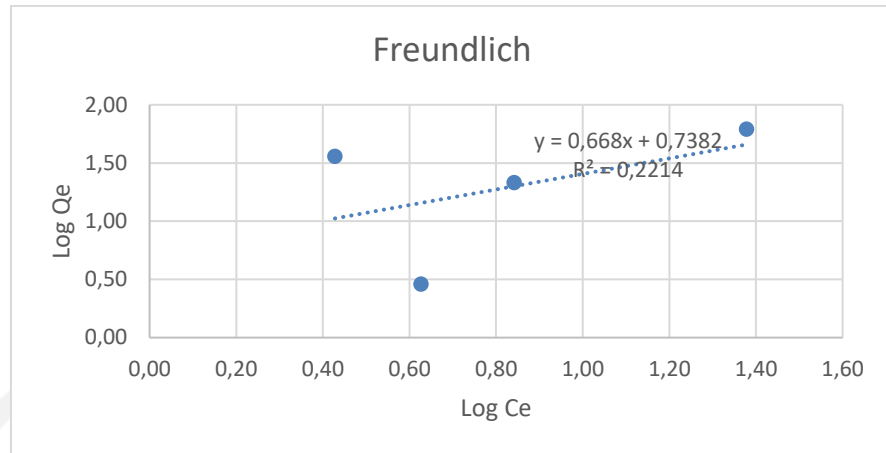
$$b = 0,4508$$

- $Q_m = 1/a$

$$Q_m = \frac{1}{0,0604} = 16,56 \text{ mg/g}$$

- $K_L = \frac{1}{(b \times Q_m)}$

$$K_L = \frac{1}{(0,4508 \times 16,56)} = 0,1340$$



$$y = bx + a$$

$$y = 0,668x + 0,7382$$

- $K_f = 10^a$

$$K_f = 10^{0,7382} = 5,4727$$

- $n = 1/b$

$$n = \frac{1}{0,668} = 1,4970$$

c. Perhitungan Grafik Isoterm Langmuir dan Freundlich ATWF

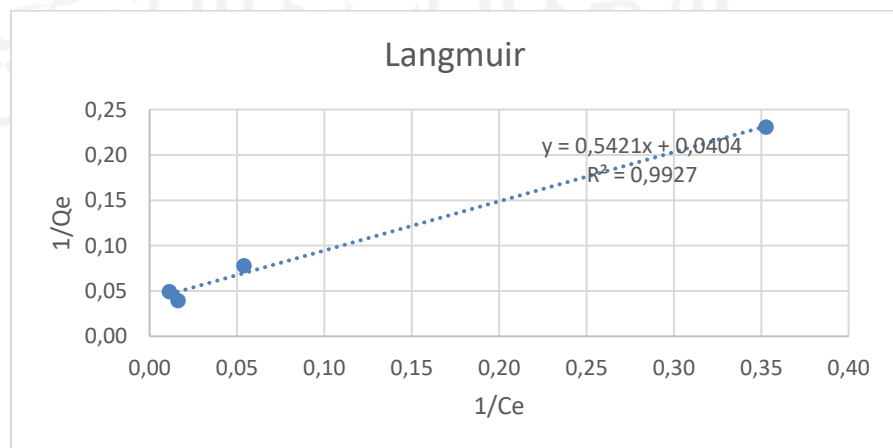
- $\Delta C = C_0 - C_e$

$$\Delta C = 10 \text{ mg/L} - 4,33 \text{ mg/L} = 5,67 \text{ mg/L}$$

- $Q_e = \frac{\Delta C \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times (\text{Volume (mL)} \times (\frac{1\text{L}}{1000} \text{mL}))}{(\text{massa (mg)} \times (\frac{1\text{g}}{1000\text{mg}}))}$

$$Q_e = \frac{5,67 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times (50 \text{ mL} \times (\frac{1\text{L}}{1000} \text{mL}))}{(100 \text{ mg} \times (\frac{1\text{g}}{1000\text{mg}}))}$$

$$Q_e = 2,835 \text{ mg/g}$$



$$y = bx + a$$

$$y = 0,5421x + 0,0404$$

- Perhitungan regresi linier Langmuir TWP

No.	1/Ce (x)	1/Qe (y)	xy	X ²	Y ²
1	0,2308	0,3529	0,0815	0,0533	0,1245
2	0,0777	0,0540	0,0042	0,0060	0,0029
3	0,0393	0,0164	0,0006	0,0015	0,0003
4	0,0494	0,0114	0,0006	0,0024	0,0001
Σ	0,3972	0,4346	0,0869	0,0633	0,1278

$$a = \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)(\Sigma XY)}{\eta(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2}$$

$$a = \frac{(0,4346)(0,0633) - (0,3972)(0,0869)}{4(0,0633) - (0,3972)^2}$$

$$a = 0,0404$$

$$b = \frac{\eta(\Sigma XY) - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{\eta(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2}$$

$$b = \frac{4(0,0869) - (0,3972)(0,4346)}{4(0,0633) - (0,0633)^2}$$

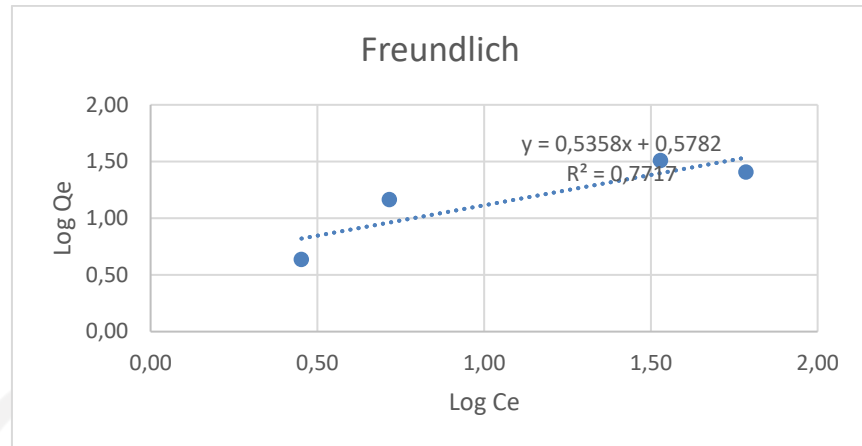
$$b = 0,5421$$

- $Q_m = 1/a$

$$Q_m = \frac{1}{0,0404} = 24,75 \text{ mg/g}$$

- $K_L = \frac{1}{(b \times Q_m)}$

$$K_L = \frac{1}{(0,5421 \times 24,75)} = 0,0745$$



$$y = bx + a$$

$$y = 0,5358x + 0,5782$$

- $K_f = 10^a$

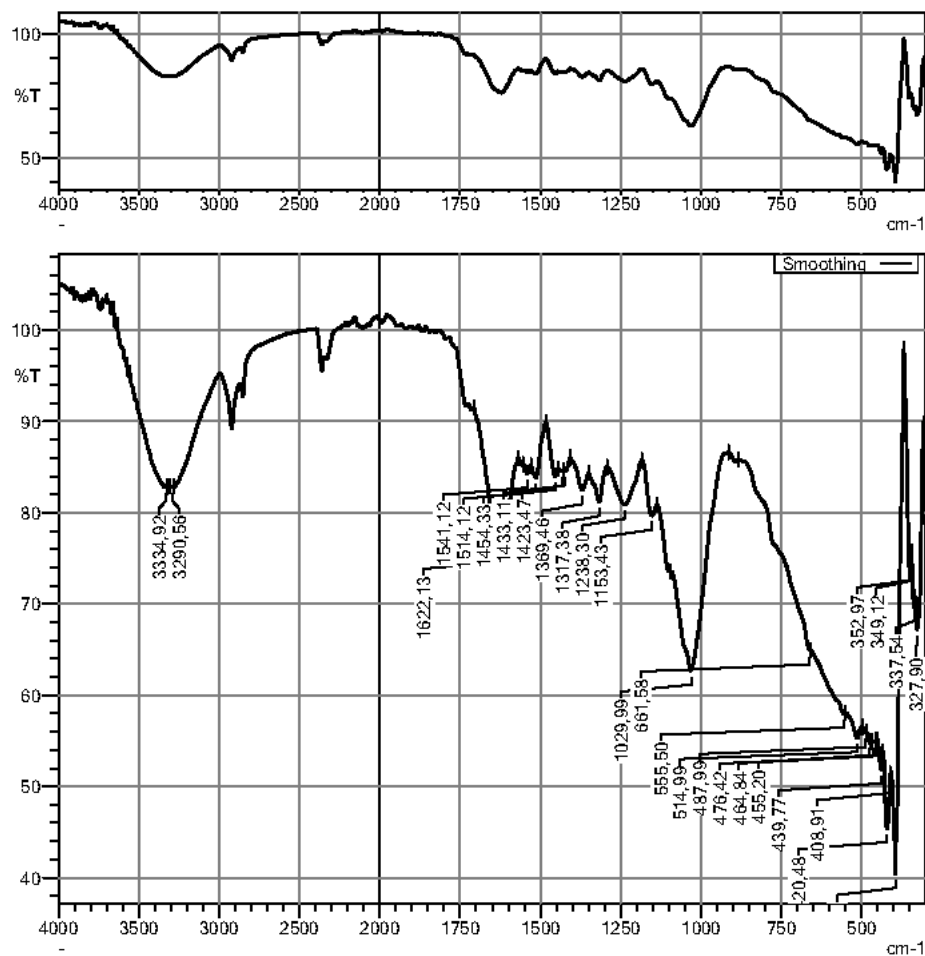
$$K_f = 10^{0,5782} = 3,7862$$

- $n = 1/b$

$$n = \frac{1}{0,5358} = 1,8664$$

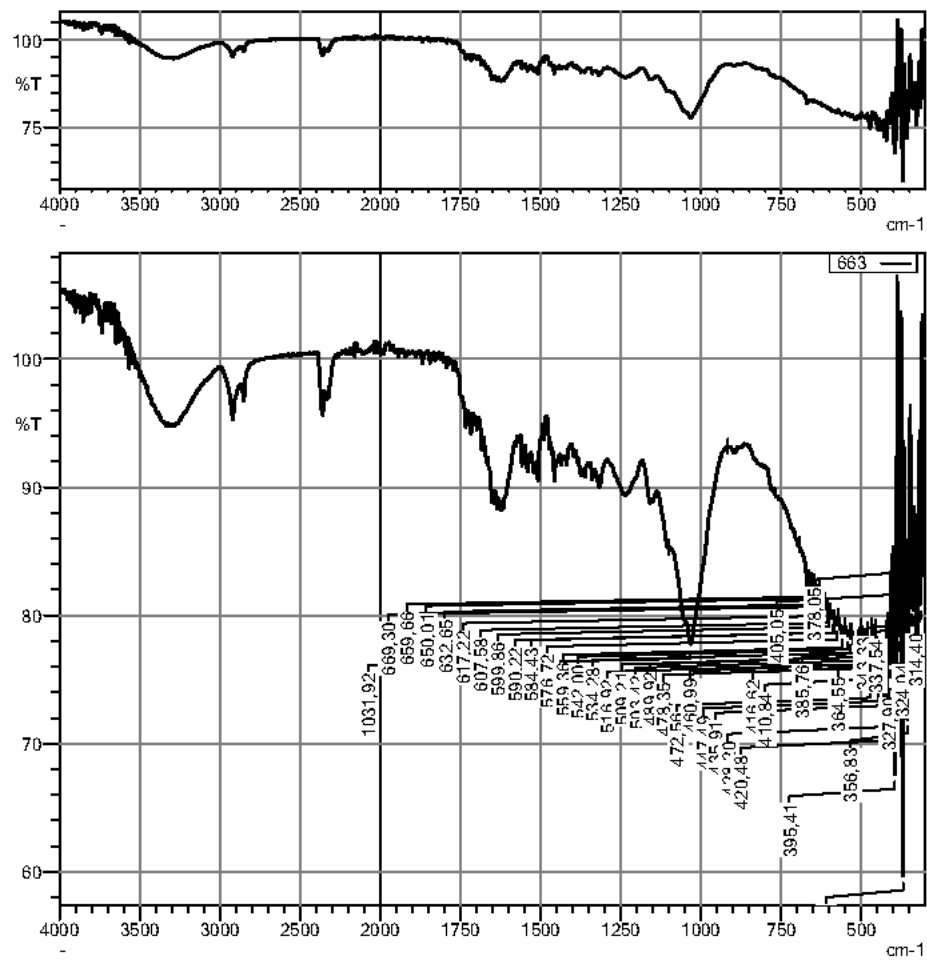
Lampiran 2 Data Karakterisasi FTIR

1. Serbuk Ampas Teh Awal



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	327.90	67.23	2.18	333.69	324.04	306.975	14.082	
2	337.54	69.68	2.72	345.26	333.69	327.126	17.267	
3	349.12	74.06	0.61	351.04	345.26	146.648	1.593	
4	352.97	74.13	2.66	368.40	351.04	253.637	11.126	
5	395.41	40.43	24.55	408.98	368.40	1453.278	465.253	
6	408.91	50.83	0.30	410.84	406.98	189.101	0.583	
7	420.48	45.44	6.94	433.98	410.84	1185.437	87.863	
8	439.77	51.88	2.33	451.34	433.98	809.396	18.604	
9	455.20	54.99	0.08	457.13	451.34	260.117	0.219	
10	464.84	54.84	0.16	468.70	457.13	521.913	1.269	
11	476.42	54.83	0.40	488.06	472.56	603.310	1.697	
12	487.99	55.88	0.16	497.63	486.06	508.157	1.624	
13	514.99	55.32	1.68	551.64	497.63	2338.415	31.238	
14	555.50	57.99	0.31	657.73	551.64	4108.036	24.260	
15	661.58	64.91	0.40	883.40	657.73	5227.032	-324.604	
16	1029.99	62.70	15.49	1093.64	914.26	4724.612	1153.712	
17	1153.43	79.67	2.92	1184.29	1136.07	874.777	68.079	
18	1238.30	80.88	4.47	1292.31	1184.29	1843.042	260.688	
19	1317.38	81.18	3.53	1350.17	1292.31	976.255	89.099	
20	1369.46	82.49	2.45	1406.11	1350.17	892.604	64.576	
21	1423.47	84.52	0.42	1429.25	1406.11	346.901	6.803	
22	1433.11	84.47	0.16	1444.68	1429.25	237.778	1.568	
23	1454.33	84.02	2.07	1483.26	1444.68	530.519	43.173	
24	1514.12	83.83	2.91	1529.55	1483.26	642.221	65.166	
25	1541.12	84.28	0.93	1552.70	1529.55	352.164	9.947	
26	1622.13	76.14	12.00	1707.00	1568.13	2448.979	887.563	
27	3290.56	82.82	0.04	3304.08	3284.77	330.829	0.294	
28	3334.92	82.74	0.70	3556.74	3323.35	2901.560	340.586	

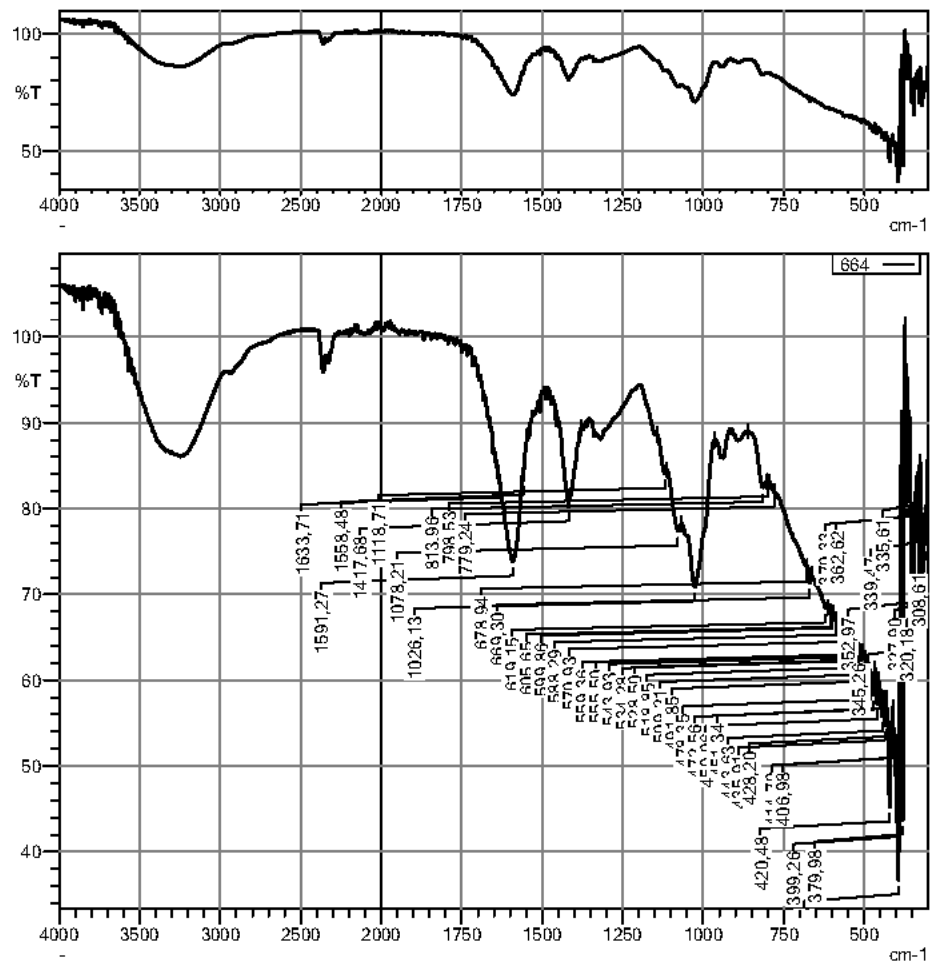
2. Ampas Teh Teraktivasi Awal



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	314.40	80.90	17.50	318.25	310.54	80.032	67.886	
2	324.04	78.52	6.77	325.97	318.25	114.888	23.484	
3	327.90	75.90	7.90	333.69	325.97	150.390	35.980	
4	337.54	80.41	6.90	341.40	333.69	127.729	29.850	
5	343.33	80.62	9.12	347.19	341.40	86.530	35.930	
6	356.83	71.92	16.42	360.69	347.19	253.460	126.332	
7	364.55	77.45	13.03	366.48	360.69	97.751	35.264	
8	370.33	59.71	37.39	376.12	366.48	207.098	188.833	
9	378.05	84.51	16.43	381.91	376.12	60.009	58.967	
10	385.76	78.44	24.34	387.69	381.91	55.213	62.164	
11	395.41	67.60	27.76	403.12	387.69	342.503	270.998	
12	405.05	82.76	1.32	406.98	403.12	63.961	2.553	
13	410.84	76.29	3.41	412.77	406.98	126.452	14.306	
14	416.62	77.25	1.78	418.55	412.77	127.865	4.815	
15	420.48	71.38	6.99	424.34	418.55	151.451	22.665	
16	428.20	72.45	3.96	432.05	424.34	195.588	13.596	
17	435.91	74.09	3.02	443.63	432.05	284.680	20.800	
18	447.49	74.44	3.50	457.13	443.63	317.968	24.933	
19	460.99	77.35	1.82	466.77	457.13	210.116	9.345	
20	472.56	74.71	3.33	476.42	466.77	225.492	15.644	
21	478.35	77.05	0.74	482.20	476.42	128.648	1.711	
22	489.92	77.89	1.11	499.56	482.20	377.669	13.998	
23	503.42	77.62	1.05	505.35	499.56	126.725	4.007	
24	509.21	77.87	0.45	511.14	505.35	126.879	1.603	
25	516.92	77.31	1.10	530.42	511.14	427.134	12.720	
26	534.28	78.22	0.57	536.21	530.42	124.819	2.071	
27	542.00	78.47	0.49	549.71	536.21	287.355	3.716	
28	559.36	78.63	0.84	572.86	549.71	484.078	10.294	
29	576.72	79.27	0.60	582.50	572.86	196.533	2.304	
30	584.43	79.77	0.06	586.36	582.50	77.903	0.118	
31	590.22	79.77	0.25	597.93	586.36	231.482	1.353	
32	599.86	80.23	0.27	603.72	597.93	113.226	0.727	
33	607.58	80.56	0.34	613.36	603.72	185.197	1.338	
34	617.22	81.10	0.25	630.72	613.36	320.660	1.393	
35	632.65	82.00	0.15	646.15	630.72	273.957	1.586	
36	650.01	82.44	0.22	655.80	646.15	168.073	0.961	
37	659.66	82.58	0.22	665.44	655.80	166.208	0.573	
38	669.30	81.79	1.49	694.37	665.44	458.011	1.890	
39	1031.92	77.78	10.44	1099.43	916.19	2753.208	783.969	

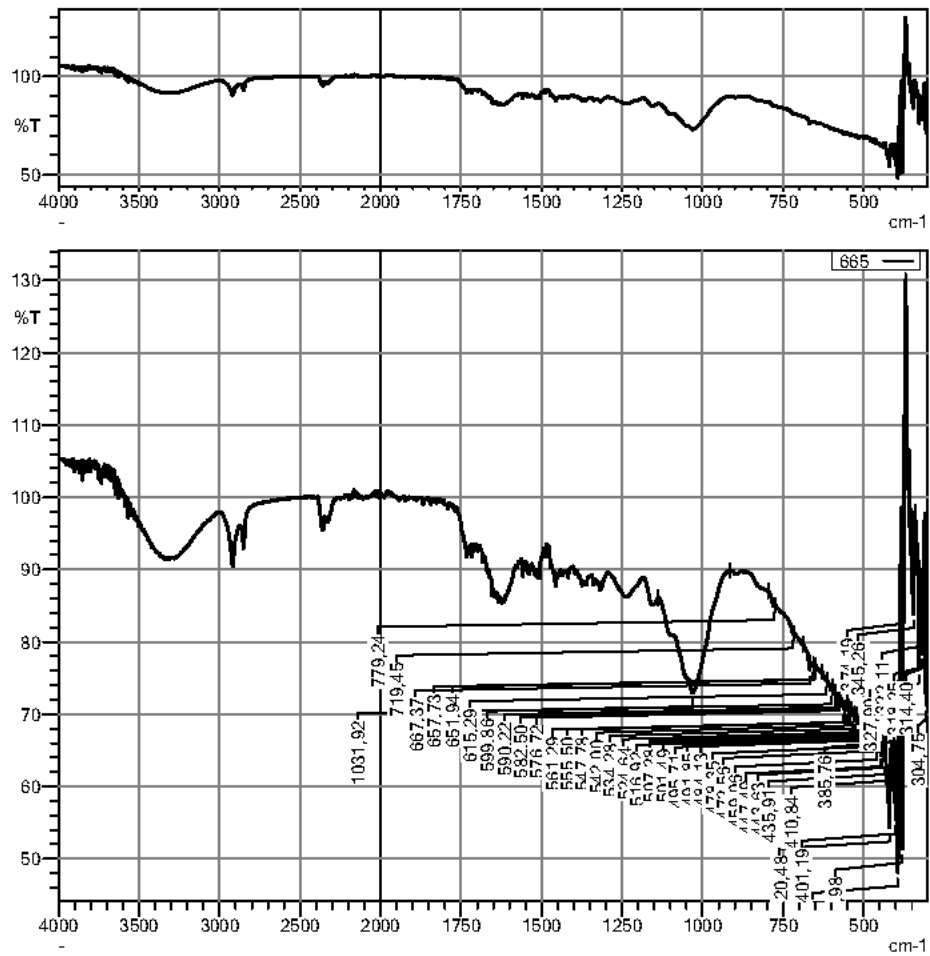


3. Fiber Adsorbent Awal



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	308.61	75.81	6.10	312.47	302.82	206,115	37,579	
2	320.18	69.52	13.31	325.97	312.47	304,047	66,446	
3	327.90	70.67	14.30	331.76	325.97	132,304	44,171	
4	335.61	82.28	1.03	337.54	331.76	96,992	1,624	
5	339.47	77.75	4.26	341.40	337.54	77,631	8,220	
6	345.26	65.38	13.43	351.04	341.40	261,266	51,326	
7	352.97	70.79	8.36	358.76	351.04	163,104	31,618	
8	362.62	80.80	12.09	368.48	358.76	105,648	50,823	
9	370.33	80.71	18.64	372.26	368.48	67,365	57,617	
10	379.98	43.74	50.45	383.83	372.26	331,953	285,620	
11	393.48	36.79	25.40	397.34	383.83	578,037	182,464	
12	399.26	43.43	8.10	405.05	397.34	392,390	23,737	
13	406.98	52.66	2.00	410.84	405.05	268,117	8,843	
14	414.70	52.62	1.89	416.62	410.84	263,503	3,583	
15	420.48	45.26	9.10	426.27	416.62	485,211	47,449	
16	428.20	55.14	1.39	432.05	426.27	253,926	4,368	
17	435.91	54.68	3.19	439.77	432.05	337,763	12,719	
18	443.63	55.80	2.44	449.41	439.77	414,572	12,701	
19	451.34	58.40	0.83	455.20	449.41	237,452	2,737	
20	459.06	57.20	3.28	466.77	455.20	472,570	17,654	
21	472.58	58.30	2.29	476.42	466.77	388,633	9,759	
22	478.35	59.49	0.93	487.99	476.42	455,789	4,991	
23	491.85	61.54	0.74	495.71	487.99	293,686	2,709	
24	509.21	62.36	1.05	514.99	503.42	428,602	5,069	
25	518.85	63.17	0.59	524.64	514.99	351,798	3,030	
26	528.50	64.03	0.32	532.35	524.64	276,045	0,953	
27	534.28	63.95	0.64	538.14	532.35	206,385	1,829	
28	543.93	64.42	0.55	549.71	538.14	409,747	4,386	
29	555.50	64.69	0.20	557.43	549.71	270,846	0,531	
30	559.36	64.67	0.38	569.00	557.43	402,495	3,422	
31	570.93	66.15	0.15	586.36	569.00	579,365	0,029	
32	588.29	66.98	0.19	597.93	586.36	377,780	0,826	
33	599.66	67.74	0.12	603.72	597.93	186,269	0,399	
34	605.65	67.88	0.17	613.36	603.72	306,654	0,128	
35	619.15	68.41	0.53	663.51	613.36	1492,902	9,476	
36	669.30	71.34	1.39	677.01	663.51	373,356	5,955	
37	678.94	73.19	0.21	777.31	677.01	2256,891	7,199	
38	779.24	81.89	0.14	796.60	777.31	337,489	0,106	
39	798.53	83.08	0.04	802.39	796.60	97,724	0,088	
40	813.96	82.47	1.82	862.18	802.39	839,553	7,516	
41	1026.13	70.91	11.19	1066.64	964.41	2309,111	582,909	
42	1078.21	77.39	2.42	1112.93	1066.64	919,017	56,662	
43	1118.71	84.08	1.20	1143.79	1112.93	432,140	17,846	
44	1417.68	80.24	9.82	1452.40	1377.17	1097,527	346,275	
45	1558.48	83.33	1.20	1560.41	1546.91	190,502	3,634	
46	1591.27	73.87	9.67	1631.78	1560.41	1582,549	404,380	
47	1633.71	83.01	0.53	1643.35	1631.78	181,773	1,043	

4. Serbuk Ampas Teh Terpakai

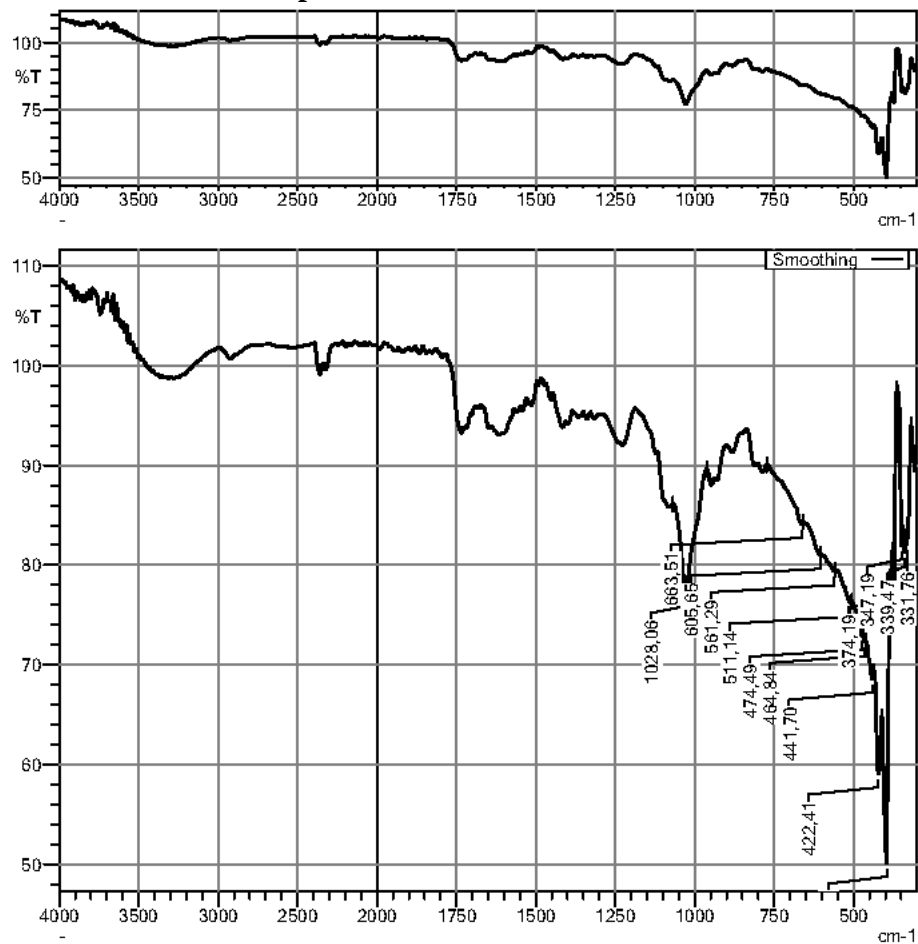


	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	304,75	71,31	23,39	310,54	300,90	170,701	122,995	
2	314,40	78,40	8,14	316,33	310,54	88,062	25,053	
3	318,25	78,42	3,73	320,18	316,33	76,059	7,194	
4	322,11	81,34	3,96	325,97	320,18	84,661	6,562	
5	327,90	76,24	14,75	331,76	325,97	99,776	50,135	
6	345,26	83,88	13,83	351,04	341,40	100,771	78,178	
7	374,19	84,50	24,26	376,12	370,33	-32,335	49,077	
8	379,98	51,38	46,52	383,83	376,12	231,169	214,984	
9	385,76	68,26	25,45	387,69	383,83	73,334	49,091	
10	393,48	48,17	26,91	397,34	387,69	373,401	156,664	
11	401,19	55,39	10,07	406,98	397,34	382,814	50,172	
12	410,84	62,77	2,69	414,70	406,98	276,800	10,313	
13	420,48	54,33	11,08	432,05	414,70	692,426	93,853	
14	435,91	63,62	2,30	439,77	432,05	271,398	8,423	
15	443,63	64,52	0,90	445,56	439,77	201,473	2,181	
16	447,49	64,71	0,75	453,27	445,56	268,547	4,523	
17	459,06	65,66	1,71	464,84	453,27	389,243	11,621	
18	472,56	66,83	1,48	474,49	464,84	312,048	6,476	
19	478,35	67,47	1,04	482,20	474,49	246,347	3,354	
20	484,13	68,58	0,35	487,99	482,20	180,069	0,871	
21	491,85	68,62	0,30	493,78	487,99	180,250	1,018	
22	495,71	68,34	0,61	499,56	493,78	180,610	1,687	
23	501,49	69,07	0,49	505,35	499,56	177,139	1,310	
24	507,28	69,21	0,45	511,14	505,35	177,189	1,303	
25	516,92	68,69	0,98	522,71	511,14	358,069	7,085	
26	524,64	69,44	0,51	528,50	522,71	175,309	1,594	
27	534,28	69,94	0,50	538,14	528,50	287,900	2,152	
28	542,00	70,35	0,49	545,85	538,14	226,653	1,698	
29	547,78	70,81	0,37	551,64	545,85	167,059	0,842	
30	555,50	70,85	0,29	557,43	551,64	167,166	0,741	
31	561,29	70,78	0,49	574,79	557,43	494,627	3,567	
32	576,72	72,42	0,14	580,57	574,79	158,834	0,251	
33	582,50	72,55	0,23	588,29	580,57	210,217	0,879	
34	590,22	72,87	0,33	596,00	588,29	206,836	1,391	
35	599,86	73,32	0,61	613,36	596,00	451,971	4,618	
36	615,29	74,71	0,19	628,79	613,36	383,625	2,393	
37	651,94	76,71	0,08	655,80	650,01	134,437	0,206	
38	657,73	76,74	0,17	665,44	655,80	222,624	0,576	
39	667,37	76,17	1,14	688,59	665,44	501,501	1,240	
40	719,45	81,04	0,45	773,46	715,59	961,263	-12,286	
41	779,24	84,98	0,62	796,60	773,46	327,068	4,998	
42	1031,92	73,01	14,90	1138,00	916,19	4189,806	1524,646	

68

	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	304.75	69.83	21.09	310.54	300.90	171.705	100.961	
2	314.40	77.91	11.28	316.33	310.54	87.092	42.210	
3	324.04	65.77	19.25	329.83	316.33	350.958	145.426	
4	333.69	72.25	9.64	337.54	329.83	183.209	43.493	
5	339.47	74.38	4.14	343.33	337.54	129.620	8.868	
6	345.26	73.05	6.99	347.19	343.33	90.493	13.486	
7	349.12	73.45	7.51	352.97	347.19	128.000	23.172	
8	356.83	68.44	16.98	360.69	352.97	176.271	63.582	
9	364.55	83.18	8.44	368.40	360.69	93.448	28.802	
10	374.19	76.00	16.82	376.12	368.40	87.230	42.841	
11	379.98	38.40	59.06	383.83	376.12	280.269	260.688	
12	393.48	45.33	16.64	395.41	383.83	428.769	181.023	
13	401.19	35.61	16.84	412.77	395.41	998.861	162.715	
14	420.48	45.51	1.66	422.41	412.77	509.678	10.429	
15	424.34	45.86	1.86	432.05	422.41	490.674	4.612	
16	435.91	49.00	3.69	439.77	432.05	381.641	16.617	
17	443.63	49.54	3.64	451.34	439.77	561.691	23.024	
18	457.13	50.07	5.23	464.84	451.34	626.416	25.191	
19	472.56	52.22	4.54	482.20	464.84	789.436	39.008	
20	486.06	55.85	0.63	487.99	482.20	253.180	1.893	
21	491.85	55.39	0.99	503.42	487.99	676.924	5.626	
22	507.28	55.91	0.61	511.14	503.42	337.541	2.117	
23	518.85	55.62	0.96	522.71	511.14	509.528	6.244	
24	524.64	56.66	0.23	530.42	522.71	331.852	0.754	
25	532.35	57.41	0.23	538.14	530.42	325.951	0.473	
26	542.00	58.05	0.37	547.78	538.14	401.962	1.568	
27	549.71	58.76	0.08	553.57	547.78	238.356	0.279	
28	557.43	58.80	0.20	559.36	553.57	238.050	0.652	
29	561.29	58.95	0.29	572.86	559.36	546.209	2.112	
30	574.79	60.33	0.23	580.57	572.86	303.509	0.745	
31	584.43	61.08	0.34	597.93	580.57	666.765	2.948	
32	599.86	62.21	0.27	605.65	597.93	289.714	1.059	
33	607.58	62.78	0.19	655.80	605.65	1760.153	-4.045	
34	659.66	66.74	0.25	665.44	655.80	319.336	1.310	
35	669.30	66.50	1.14	715.59	665.44	1490.896	-15.128	
36	719.45	72.54	0.52	777.31	715.59	1489.904	-23.708	
37	779.24	78.14	0.25	866.04	777.31	1565.226	-47.366	
38	1031.92	62.58	14.98	1095.57	916.19	4871.121	1180.731	
39	1155.36	78.85	3.05	1184.29	1136.07	928.408	75.258	
40	1236.37	80.73	4.14	1294.24	1184.29	1897.200	235.742	
41	1317.38	81.99	2.54	1332.81	1294.24	630.541	39.494	
42	1338.60	83.29	1.02	1346.31	1332.81	215.654	4.547	
43	1363.67	83.18	0.54	1365.60	1346.31	305.718	0.752	
44	1369.46	83.31	0.11	1371.39	1365.60	96.023	0.357	
45	1373.32	83.06	0.49	1384.89	1371.39	217.099	2.659	
46	1386.82	84.73	0.47	1390.68	1384.89	86.120	1.288	
47	1417.68	84.90	1.08	1421.54	1408.04	191.912	4.978	
48	1448.54	84.96	0.24	1450.47	1440.83	141.429	0.773	
49	1456.26	83.28	2.04	1462.04	1450.47	179.684	9.855	
50	1508.33	84.78	2.12	1512.19	1492.90	241.028	12.351	
51	1516.05	84.95	0.77	1519.91	1512.19	112.572	2.337	
52	1616.35	78.75	0.55	1618.28	1579.70	680.351	14.635	
53	1622.13	78.57	0.51	1631.78	1618.28	284.386	3.532	
54	1635.64	78.90	0.95	1641.42	1631.78	196.713	3.321	

6. Fiber Adsorbent Terpakai



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	331.76	82.12	2.11	333.69	318.25	204.413	25.866	
2	339.47	81.28	1.75	345.26	333.69	207.775	11.406	
3	347.19	81.98	3.26	358.76	345.26	154.313	22.724	
4	374.19	77.87	7.64	378.05	362.62	204.591	43.581	
5	395.41	50.15	22.49	410.84	378.05	1156.005	275.069	
6	422.41	59.11	7.80	435.91	410.84	925.748	100.339	
7	441.70	68.61	1.39	462.92	435.91	800.575	13.923	
8	464.84	72.30	0.25	470.63	462.92	210.844	0.388	
9	474.49	72.94	0.48	505.35	470.63	877.111	-1.431	
10	511.14	76.24	0.47	555.50	505.35	1109.896	3.038	
11	561.29	79.38	0.32	603.72	555.50	952.117	1.718	
12	605.65	81.05	0.13	657.73	603.72	926.350	-8.321	
13	663.51	84.14	0.47	773.46	657.73	1453.952	-28.176	
14	1028.06	77.31	10.15	1068.56	962.48	1760.170	473.152	

Lampiran 3 Tabel Korelasi FTIR

Functional group/assignment	Wavenumber (cm ⁻¹)
1. Saturated Aliphatic (alkene/alkyl)	
a) Methyl (–CH₃)	
Methyl C-H asym./sym. Stretch	2970–2950/2880–2860
Methyl C-H asym./sym. Bend	1470–1430/1380–1370
gem-Dimethyl or “iso”- (doublet)	1385–1380/1370–1365
Trimethyl or “tert-butyl” (multiplet)	1395–1385/1365
b) Methylene (>CH₂)	
Methylene C-H asym./sym. Stretch	2935–2915/2865–2845
Methylene C-H bend	1485–1445
Methylene —(CH ₂) _n — rocking (n ≥ 3)	750–720
Cyclohexane ring vibrations	1055–1000/1005–925
c) Methyne (>CH–)	
Methyne C-H stretch	2900–2880
Methyne C-H bend	1350–1330
Skeletal C-C vibrations	1300–700
d) Special methyl (–CH₃) frequencies	
Methoxy, methyl ether O-CH ₃ , C-H stretch	2850–2815
Methylamino, N-CH ₃ , C-H stretch	2820–2780
Functional group/assignment	Wavenumber (cm ⁻¹)
2. Olefinic (alkene)	
Alkenyl C=C stretch	1680–1620
Aryl-substituted C=C	1625
Conjugated C=C	1600
Terminal (vinyl) C-H stretch	3095–3075
	3040–3010
Pendant (vinylidene) C-H stretch	3095–3075
Medial, cis- or trans-C-H stretch	3040–3010
Table 1 (continue). Functional group and its quantified frequencies. Data was adopted from reference (Coates, 2000)	
Functional group/assignment	Wavenumber (cm ⁻¹)
Vinyl C-H in-plane bend	1420–1410
Vinylidene C-H in-plane bend	1310–1290
Vinyl C-H out-of-plane bend	995–985 + 915–890
Vinylidene C-H out-of-plane bend	895–885
trans-C-H out-of-plane bend	970–960
cis-C-H out-of-plane bend	700 (broad)
3. Olefinic (alkene)	
Alkenyl C=C stretch	1680–1620
Aryl-substituted C=C	1625
Conjugated C=C	1600
Terminal (vinyl) C-H stretch	3095–3075
	3040–3010
Pendant (vinylidene) C-H stretch	3095–3075
Medial, cis- or trans-C-H stretch	3040–3010
Vinyl C-H in-plane bend	1420–1410
Vinylidene C-H in-plane bend	1310–1290
Vinyl C-H out-of-plane bend	995–985 + 915–890
Vinylidene C-H out-of-plane bend	895–885
trans-C-H out-of-plane bend	970–960
cis-C-H out-of-plane bend	700 (broad)
4. Aromatic ring (aryl)	
C=C-C Aromatic ring stretch	1615–1580
	1510–1450
Aromatic C-H stretch	3130–3070
Aromatic C-H in-plane bend	1225–950 (several)
Aromatic C-H out-of-plane bend	900–670 (several)
C-H Monosubstitution (phenyl)	770–730 + 710–690
C-H 1,2-Disubstitution (ortho)	770–735
C-H 1,3-Disubstitution (meta)	810–750 + 900–860
C-H 1,4-Disubstitution (para)	860–800
Aromatic combination bands	2000–1660 (several)

Functional group/assignment	Wavenumber (cm ⁻¹)
5. Acetylenic(alkyne)	
C≡C Terminal alkyne (monosubstituted)	2140–2100
C≡C Medial alkyne (disubstituted)	2260–2190
Alkyne C-H stretch	3320–3310
Alkyne C-H bend	680–610
Alkyne C-H bend	630 (typical)
6. Aliphatic organohalogen compound	
Aliphatic fluoro compounds, C-F stretch	1150–1000
Aliphatic chloro compounds, C-Cl stretch	800–700
Aliphatic bromo compounds, C-Br stretch	700–600
Aliphatic iodo compounds, C-I stretch	600–500
7. Alcohol and hydroxy compound	
Hydroxy group, H-bonded OH stretch	3570–3200 (broad)
Normal "polymeric" OH stretch	3400–3200
Dimeric OH stretch	3550–3450
Internally bonded OH stretch	3570–3540
Nonbonded hydroxy group, OH stretch	3645–3600 (narrow)
Primary alcohol, OH stretch	3645–3630
Secondary alcohol, OH stretch	3635–3620
Tertiary alcohol, OH stretch	3620–3540
Phenols, OH stretch	3640–3530
Primary or secondary, OH in-plane bend	1350–1260
Phenol or tertiary alcohol, OH bend	1410–1310
Alcohol, OH out-of-plane bend	720–590
Primary alcohol, C-O stretch	~1050
Secondary alcohol, C-O stretch	~1100
Tertiary alcohol, C-O stretch	~1150
Phenol, C-O stretch	~1200
8. Ether and oxy compound	
Methoxy, C-H stretch (CH ₃ -O-)	2820–2810
Alkyl-substituted ether, C-O stretch	1150–1050
Cyclic ethers, large rings, C-O stretch	1140–1070
Aromatic ethers, aryl -O stretch	1270–1230
Epoxy and oxirane rings	~1250 + 890–800 ⁴¹
Peroxides, C-O-O- stretch	890–820 ⁴¹



Functional group/assignment	Wavenumber (cm ⁻¹)
9. Ether and oxy compound	
Methoxy, C-H stretch (CH ₃ -O-)	2820–2810
Alkyl-substituted ether, C-O stretch	1150–1050
Cyclic ethers, large rings, C-O stretch	1140–1070
Aromatic ethers, aryl -O stretch	1270–1230
Epoxy and oxirane rings	~1250 + 890–800 ⁴¹
Peroxides, C-O-O- stretch	890–820 ⁴¹
a) Primary amino	
Aliphatic primary amine, NH stretch	3400–3380 + 3345–3325
Aromatic primary amine, NH stretch	3510–3460 + 3415–3380
Primary amine, NH bend	1650–1590
Primary amine, CN stretch	1090–1020
b) Secondary amino	
Aliphatic secondary amine, >N-H stretch	3360–3310
Aromatic secondary amine, >N-H stretch	~3450
Heterocyclic amine, >N-H stretch	3490–3430
Imino compounds, =N-H stretch	3350–3320
Secondary amine, >N-H bend	1650–1550
Secondary amine, CN stretch	1190–1130
c) Tertiary amino	
Tertiary amine, CN stretch	1210–1150
d) Aromatic amino	
Aromatic primary amine, CN stretch	1340–1250
Aromatic secondary amine, CN stretch	1350–1280
Aromatic tertiary amine, CN stretch	1360–1310
10. Carbonyl compound	
Carboxylate (carboxylic acid salt)	1610–1550/1420–1300
Amide	1680–1630
Quinone or conjugated ketone	1690–1675/(1650–1600) ²¹
Carboxylic acid	1725–1700
Ketone	1725–1705
Aldehyde	1740–1725/(2800–2700) ³¹
Ester	1750–1725
Six-membered ring lactone	1735
Alkyl carbonate	1760–1740
Acid (acyl) halide	1815–1770
Aryl carbonate	1820–1775
Five-membered ring anhydride	1870–1820/1800–1775
Transition metal carbonyls	2100–1800

Functional group/assignment	Wavenumber (cm ⁻¹)
11. Nitrogen multiple and cumulated double bond compound	
Aliphatic cyanide/nitrile	2280–2240
Aromatic cyanide/nitrile	2240–2220
Cyanate (-OCN and C-OCN stretch)	2260–2240/1190–1080
Isocyanate (-N=C=O asym. stretch)	2276–2240
Thiocyanate (-SCN)	2175–2140
Isothiocyanate (-NCS)	2150–1990
Open-chain imino (-C=N-)	1690–1590
Open-chain azo (-N=N-)	1630–1575
12. Simple hetero-oxy compounds	
a) Nitrogen-oxy compounds	
Aliphatic nitro compounds	1560–1540/1380–1350 ^{4l}
Organic nitrates	1640–1620/1285–1270 ^{4l}
Aromatic nitro compounds	1555–1485/1355–1320 ^{4l}
b) Phosphorus-oxy compounds	
Organic phosphates (P=O stretch)	1350–1250
Aliphatic phosphates (P-O-C stretch)	1050–990
Aromatic phosphates (P-O-C stretch)	1240–1190/995–850
c) Sulfur-oxy compounds	
Dialkyl/aryl sulfones	1335–1300/1170–1135 ^{4l}
Organic sulfates	1420–1370/1200–1180 ^{4l}
Sulfonates	1365–1340/1200–1100 ^{4l}
d) Silicon-oxy compounds	
Organic siloxane or silicone (Si-O-Si)	1095–1075/1055–1020
Organic siloxane or silicone (Si-O-C)	1110–1080
13. Thiols and thio-substituted compounds	
Thiols (S-H stretch)	2600–2550
Thiol or thioether, CH ₂ -S-(C-S stretch)	710–685
Thioethers, CH ₃ -S-(C-S stretch)	660–630
Aryl thioethers, ϕ -S-(C-S stretch)	715–670
Disulfides (C-S stretch)	705–570
Disulfides (S-S stretch)	620–600
Aryl disulfides (S-S stretch)	500–430
Polysulfides (S-S stretch)	500–470
14. Common inorganic ions	
Carbonate ion	1490–1410/880–860 ^{5l}
Sulfate ion	1130–1080/680–610 ^{5l}
Nitrate ion	1380–1350/840–815 ^{5l}
Phosphate ion	1100–1000
Ammonium ion	3300–3030/1430–1390 ^{5l}
Cyanide ion, thiocyanate ion, and related ions	2200–2000
Silicate ion	1100–900

المعهد العالي للتكنولوجيا
جامعة البليدة 2

TABLE 7-3 A Numerical Listing of Wavenumber Ranges in Which Some Functional Groups and Classes of Compounds Absorb in the Infrared

Range (cm ⁻¹) and Intensity ^a	Group and Class	Assignment and Remarks
3700–3600 (s)	—OH in alcohols and phenols	OH stretch (dil soln)
3520–3320 (m–s)	—NH ₂ in aromatic amines, primary amines and amides	NH stretch (dil soln)
3420–3250 (s)	—OH in alcohols and phenols	OH stretch (solids & liquids)
3360–3340 (m)	—NH ₂ in primary amides	NH ₂ antisym stretch (solids)
3320–3250 (m)	—OH in oximes	O—H stretch
3300–3250 (m–s)	≡CH in acetylenes	≡CH—H stretch
3300–3280 (s)	—NH in secondary amides	NH stretch (solids); also in polypeptides and proteins
3200–3180 (s)	—NH ₂ in primary amides	NH ₂ sym stretch (solids)
3200–3000 (v br)	—NH ₃ ⁺ in amino acids	NH ₃ ⁺ antisym stretch
3100–2400 (v br)	—OH in carboxylic acids	H-bonded OH stretch
3100–3000 (m)	≡CH in aromatic and unsaturated hydrocarbons	≡C—H stretch
2990–2850 (m–s)	—CH ₃ and —CH ₂ — in aliphatic compounds	CH antisym and sym stretching
2850–2700 (m)	—CH ₃ attached to O or N	CH stretching modes
2750–2650 (w–m)	—CHO in aldehydes	overtone of CH bending (Fermi resonance)
2750–2350 (br)	—NH ₃ ⁺ in amine hydrohalides	NH stretching modes
2720–2560 (m)	—OH in phosphorus oxyacids	associated OH stretching
2600–2540 (w)	—SH in alkyl mercaptans	S—H stretch; strong in Raman
2410–2280 (m)	—PH in phosphines	P—H stretch; sharp peak
2300–2230 (m)	N≡N in diazonium salts	N≡N stretch, aq soln
2285–2250 (s)	N=C=O in isocyanates	N=C=O antisym stretch
2260–2200 (m–s)	C≡N in nitriles	C≡N stretch
2260–2190 (w–m)	C≡C in alkynes (disubst)	C≡C stretch; strong in Raman
2190–2130 (m)	C≡N in thiocyanates	C≡N stretch
2175–2115 (s)	N≡C in isonitriles	N≡C stretch
2160–2080 (m)	N=N=N in azides	N=N=N antisym stretch
2140–2100 (w–m)	C≡C in alkynes (monosubst)	C≡C stretch
2000–1650 (w)	substituted benzene rings	several bands from overtone and combination bands
1980–1950 (s)	C=C=C in allenes	C=C=C antisym stretch
1870–1650 (vs)	C=O in carbonyl compounds	C=O stretch
1870–1830 (s)	C=O in β-lactones	C=O stretch
1870–1790 (vs)	C=O in anhydrides	C=O antisym stretch; part of doublet
1820–1800 (s)	C=O in acid halides	C=O stretch; lower for aromatic acid halides
1780–1760 (s)	C=O in γ-lactones	C=O stretch
1765–1725 (vs)	C=O in anhydrides	C=O sym stretch; part of doublet
1760–1740 (vs)	C=O in α-keto esters	C=O stretch; enol form
1750–1730 (s)	C=O in δ-lactones	C=O stretch
1750–1740 (vs)	C=O in esters	C=O stretch; 20 cm ⁻¹ lower if unsaturated
1740–1720 (s)	C=O in aldehydes	C=O stretch; 30 cm ⁻¹ lower if unsaturated
1720–1700 (s)	C=O in ketones	C=O stretch; 20 cm ⁻¹ lower if unsaturated
1710–1690 (s)	C=O in carboxylic acids	C=O stretch; fairly broad
1690–1640 (s)	C=N in oximes	C=N stretch; also imines
1680–1620 (s)	C=O and NH ₂ in primary amides	two bands from C=O stretch and NH ₂ deformation
1680–1635 (s)	C=O in ureas	C=O stretch; broad band
1680–1630 (m–s)	C=C in alkenes, etc.	C=C stretch
1680–1630 (vs)	C=O in secondary amides	C=O stretch (Amide I band)

^av = very, s = strong, m = medium, w = weak, br = broad.

TABLE 7-3 (Continued)

Range (cm ⁻¹) and Intensity*	Group and Class	Assignment and Remarks
1670–1640 (s–vs)	C=O in benzophenones	C=O stretch
1670–1650 (vs)	C=O in primary amides	C=O stretch (Amide I band)
1670–1630 (vs)	C=O in tertiary amides	C=O stretch
1655–1635 (vs)	C=O in β -ketone esters	C=O stretch; enol form
1650–1620 (w–m)	N–H in primary amides	NH deformation (Amide II band)
1650–1580 (m–s)	NH ₂ in primary amines	NH ₂ deformation
1640–1580 (s)	NH ₃ ⁺ in amino acids	NH ₃ deformation
1640–1580 (vs)	C=O in β -diketones	C=O stretch; doublet
1620–1610 (s)	C=C in vinyl ethers	C=C stretch; doublet due to rotational isomerism
1615–1590 (m)	benzene ring in aromatic compounds	ring stretch; sharp peak
1615–1565 (s)	pyridine derivatives	ring stretch; doublet
1610–1580 (s)	NH ₂ in amino acids	NH ₂ deformation; broad band
1610–1560 (vs)	COO ⁻ in carboxylic acid salts	 antisym stretch
1590–1580 (m)	NH ₂ primary alkyl amide	NH ₂ deformation (Amide II band)
1575–1545 (vs)	NO ₂ in aliphatic nitro compounds	NO ₂ antisym stretch
1565–1475 (vs)	NH in secondary amides	NH deformation (Amide II band)
1560–1510 (s)	triazine compounds	ring stretch; sharp band
1550–1490 (s)	NO ₂ in aromatic nitro compounds	NO ₂ antisym stretch
1530–1490 (s)	NH ₃ ⁺ in amino acids or hydrochlorides	NH ₃ ⁺ deformation
1530–1450 (m–s)	N=N–O in azoxy compounds	N=N–O antisym stretch
1515–1485 (m)	benzene ring in aromatic compounds	ring stretch, sharp band
1475–1450 (vs)	CH ₂ in aliphatic compounds	CH ₂ scissors vibration
1465–1440 (vs)	CH ₃ in aliphatic compounds	CH ₃ antisym deformation
1440–1400 (m)	OH in carboxylic acids	in-plane OH bending
1420–1400 (m)	C–N in primary amides	C–N stretch (Amide III band)
1400–1370 (m)	<i>t</i> -butyl group	CH ₃ deformations (two bands)
1400–1310 (s)	COO ⁻ group in carboxylic acid salts	 sym stretch; broad band
1390–1360 (vs)	SO ₂ in sulfonyl chlorides	SO ₂ antisym stretch
1380–1370 (s)	CH ₃ in aliphatic compounds	CH ₃ sym deformation
1380–1360 (m)	isopropyl group	CH ₃ deformations (two bands)
1375–1350 (s)	NO ₂ in aliphatic nitro compounds	NO ₂ sym stretch
1360–1335 (vs)	SO ₂ in sulfonamides	SO ₂ antisym stretch
1360–1320 (vs)	NO ₂ in aromatic nitro compounds	NO ₂ sym stretch
1350–1280 (m–s)	N=N–O in azoxy compounds	N=N–O sym stretch
1335–1295 (vs)	SO ₂ in sulfones	SO ₂ antisym stretch
1330–1310 (m–s)	CF ₃ attached to a benzene ring	CF ₃ antisym stretch
1300–1200 (vs)	$\text{N}^+\text{--}\bar{\text{O}}$ in pyridine <i>N</i> -oxides	N–O stretch
1300–1175 (vs)	P=O in phosphorus oxyacids and phosphates	P=O stretch
1300–1000 (vs)	C–F in aliphatic fluoro compounds	C–F stretch
1285–1240 (vs)	Ar–O in alkyl aryl ethers	C–O stretch
1280–1250 (vs)	Si–CH ₃ in silanes	CH ₃ sym deformation
1280–1240 (m–s)	 C–O stretch	C–O stretch
1280–1180 (s)	C–N in aromatic amines	C–N stretch
1280–1150 (vs)	C–O–C in esters, lactones	C–O–C antisym stretch

TABLE 7-3 (Continued)

Range (cm ⁻¹) and Intensity ^a	Group and Class	Assignment and Remarks
1255-1240 (m)	<i>t</i> -butyl in hydrocarbons	skeletal vibration; second band near 1200 cm ⁻¹
1245-1155 (vs)	SO ₃ H in sulfonic acids	S=O stretch
1240-1070 (s-vs)	C—O—C in ethers	C—O—C stretch; also in esters
1230-1100 (s)	C—C—N in amines	C—C—N bending
1225-1200 (s)	C—O—C in vinyl ethers	C—O—C antisym stretch
1200-1165 (s)	SO ₂ Cl in sulfonyl chlorides	SO ₂ sym stretch
1200-1015 (vs)	C—OH in alcohols	C—O stretch
1170-1145 (s)	SO ₂ NH ₂ in sulfonamides	SO ₂ sym stretch
1170-1140 (s)	SO ₂ — in sulfones	SO ₂ sym stretch
1160-1100 (m)	C=S in thiocarbonyl compounds	C=S stretch; strong in Raman
1150-1070 (vs)	C—O—C in aliphatic ethers	C—O—C antisym stretch
1120-1080 (s)	C—O—H in secondary or tertiary alcohols	C—O stretch
1120-1030 (s)	C—NH ₂ in primary aliphatic amines	C—N stretch
1100-1000 (vs)	Si—O—Si in siloxanes	Si—O—Si antisym stretch
1080-1040 (s)	SO ₃ H in sulfonic acids	SO ₃ sym stretch
1065-1015 (s)	CH—O—H in cyclic alcohols	C—O stretch
1060-1025 (vs)	CH ₂ —O—H in primary alcohols	C—O stretch
1060-1045 (vs)	S=O in alkyl sulfoxides	S=O stretch
1055-915 (vs)	P—O—C in organophosphorus compounds	P—O—C antisym stretch
1030-950 (w)	carbon ring in cyclic compounds	ring breathing mode; strong in Raman
1000-950 (s)	CH=CH ₂ in vinyl compounds	=CH out-of-plane deformation
980-960 (vs)	CH=CH— in trans disubstituted alkenes	=CH out-of-plane deformation
950-900 (vs)	CH=CH ₂ in vinyl compounds	CH ₂ out-of-plane wag
900-865 (vs)	$\begin{array}{c} \text{R} \\ \\ \text{CH}_2=\text{C} \\ \\ \text{R}' \end{array}$ in vinylidenes	CH ₂ out-of-plane wag
890-805 (vs)	1,2,4-trisubst benzenes	CH out-of-plane deformation (two bands)
860-760 (vs, br)	R—NH ₂ primary amines	NH ₂ wag
860-720 (vs)	Si—C in organosilicon compounds	Si—C stretch
850-830 (vs)	1,3,5-trisubst benzenes	CH out-of-plane deformation
850-810 (vs)	Si—CH ₃ in silanes	Si—CH ₃ rocking
850-790 (m)	$\begin{array}{c} \text{R} \\ \\ \text{CH}=\text{C} \\ \\ \text{R}' \end{array}$ in trisubst alkenes	CH out-of-plane deformation
850-550 (m)	C—Cl in chloro compounds	C—Cl stretch
830-810 (vs)	<i>p</i> -disubst benzenes	CH out-of-plane deformation
825-805 (vs)	1,2,4-trisubst benzenes	CH out-of-plane deformation
820-800 (s)	triazines	CH out-of-plane deformation
815-810 (s)	CH=CH ₂ in vinyl ethers	CH ₂ out-of-plane wag
810-790 (vs)	1,2,3,4-tetrasubst benzenes	CH out-of-plane deformation
800-690 (vs)	<i>m</i> -disubst benzenes	CH out-of-plane deformation (two bands)
785-680 (vs)	1,2,3-trisubst benzenes	CH out-of-plane deformation (two bands)
775-650 (m)	C—S in sulfonyl chlorides	C—S stretch; strong in Raman
770-690 (vs)	monosubst benzenes	CH out-of-plane deformation (two bands)
760-740 (s)	<i>o</i> -disubst benzenes	CH out-of-plane deformation
760-510 (s)	C—Cl alkyl chlorides	C—Cl stretch
740-720 (w-m)	—(CH ₂) _n — in hydrocarbons	CH ₂ rocking in methylene chains; intensity depends on chain length
730-665 (s)	CH=CH in cis disubst alkenes	CH out-of-plane deformation
720-600 (s, br)	Ar—OH in phenols	OH out-of-plane deformation

TABLE 7-3 (Continued)

Range (cm ⁻¹) and Intensity ^a	Group and Class	Assignment and Remarks
710–570 (m)	C—S in sulfides	C—S stretch; strong in Raman
700–590 (s)	O—C=O in carboxylic acids	O—C=O bending
695–635 (s)	C—C—CHO in aldehydes	C—C—CHO bending
680–620 (s)	C—OH in alcohols	C—O—H bending
680–580 (s)	C≡C—H in alkynes	C≡C—H bending
650–600 (w)	S—C≡N in thiocyanates	S—C stretch; strong in Raman
650–600 (s)	NO ₂ in aliphatic nitro compounds	NO ₂ deformation
650–500 (s)	Ar—CF ₃ in aromatic trifluoro-methyl compounds	CF ₃ deformation (two or three bands)
650–500 (s)	C—Br in bromo compounds	C—Br stretch
645–615 (m-s)	naphthalenes	in-plane ring deformation
645–575 (s)	O—C—O in esters	O—C—O bend
640–630 (s)	=CH ₂ in vinyl compounds	=CH ₂ twisting
635–605 (m-s)	pyridines	in-plane ring deformation
630–570 (s)	N—C=O in amides	N—C=O bend
630–565 (s)	C—CO—C in ketones	C—CO—C bend
615–535 (s)	C=O in amides	C=O out-of-plane bend
610–565 (vs)	SO ₂ in sulfonyl chlorides	SO ₂ deformation
610–545 (m-s)	SO ₂ in sulfones	SO ₂ scissoring
600–465 (s)	C—I in iodo compounds	C—I stretch
580–530 (m-s)	C—C—CN in nitriles	C—C—CN bend
580–520 (m)	NO ₂ in aromatic nitro compounds	NO ₂ deformation
580–430 (s)	ring in cycloalkanes	ring deformation
580–420 (m-s)	ring in benzene derivatives	in-plane and out-of-plane ring deformations (two bands)
570–530 (vs)	SO ₂ in sulfonyl chlorides	SO ₂ rocking
565–520 (s)	C—C=O in aldehydes	C—C=O bend
565–440 (w-m)	C _n H _{2n+1} in alkyl groups	chain deformation modes (two bands)
560–510 (s)	C—C=O in ketones	C—C=O bend
560–500 (s)	 in amino acids	 rocking
555–545 (s)	=CH ₂ in vinyl compounds	=CH ₂ twisting
550–465 (s)	C—C=O in carboxylic acids	C—C=O bend
545–520 (s)	naphthalenes	in-plane ring deformation
530–470 (m-s)	NO ₂ in nitro compounds	NO ₂ rocking
520–430 (m-s)	C—O—C in ethers	C—O—C bend
510–400 (s)	C—N—C in amines	C—N—C bend
490–465 (variable)	naphthalenes	out-of-plane ring bending
440–420 (s)	Cl—C=O in acid chlorides	Cl—C=O in-plane deformation
405–400 (s)	S—C≡N in thiocyanates	S—C≡N bend

Lampiran 4 Dokumentasi

1. Preparasi TWP



Ampas teh sebelum dikeringkan

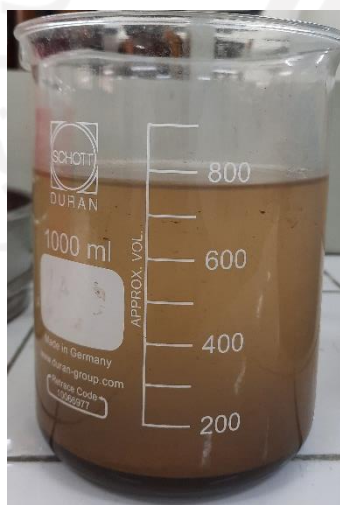


Ampas teh setelah dikeringkan

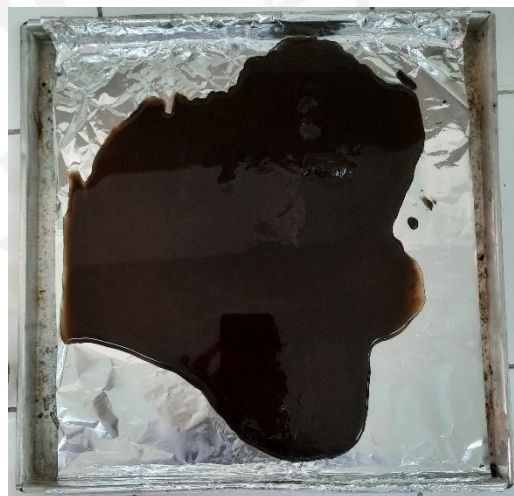


Ampas teh dihaluskan dengan ayakan 100 mesh

2. Preparasi ATWP



TWP diaktivasi dengan $C_6H_8O_7$



TWP teraktivasi dikeringkan dengan oven

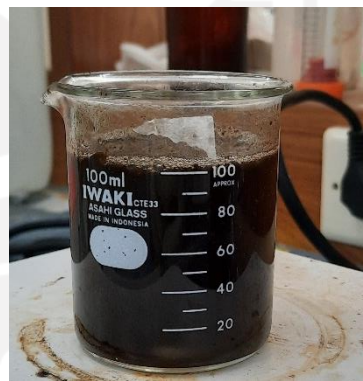


Hasil ATWP setelah dihaluskan dengan 100 mesh

3. Preparasi ATWF



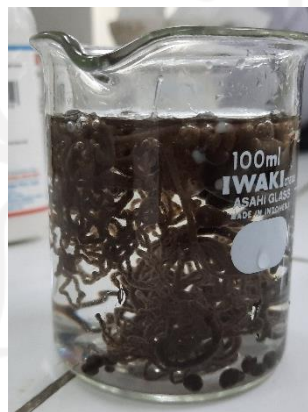
Natrium alginat



ATWP dilarutkan dalam Natrium alginat



Larutan CaCl_2



ATWP Natrium alginat setelah disuntikkan kedalam larutan CaCl_2



Hasil ATWF

4. Pengujian Variasi



Uji variasi massa



Setelah uji menggunakan orbital shaker



Setelah penyaringan adsorben



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran 5 SNI Air dan air limbah – Bagian 16: Cara Uji Kadmium (Cd) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) - Nyala

SNI 6989.16:2009

Air dan air limbah – Bagian 16: Cara uji kadmium (Cd) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – nyala

1 Ruang lingkup

Metode ini digunakan untuk penentuan logam kadmium (Cd) total dan terlarut dalam air dan air limbah secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala pada kisaran kadar Cd 0,05 mg/L sampai dengan 2 mg/L dengan panjang gelombang 228,8 nm.

2 Istilah dan definisi

2.1

air bebas mineral

air yang diperoleh dengan cara penyulingan ataupun proses demineralisasi sehingga diperoleh air dengan konduktivitas lebih kecil dari 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2.2

blind sample

larutan dengan kadar analit tertentu yang diperlakukan seperti contoh uji.

2.3

kadmium terlarut

kadmium dalam air yang dapat lolos melalui saringan membran berpori 0,45 μm .

2.4

kadmium total

kadmium yang terlarut dan tersuspensi dalam air setelah dilakukan proses pemanasan dengan asam kuat.

2.5

kurva kalibrasi

kurva yang menyatakan hubungan kadar larutan kerja dengan hasil pembacaan serapan yang merupakan garis lurus.

2.6

larutan induk kadmium

larutan yang mempunyai kadar logam kadmium 100 mg Cd/L yang digunakan untuk membuat larutan baku dengan kadar yang lebih rendah.

2.7

larutan baku logam kadmium (Cd)

larutan induk logam kadmium yang diencerkan dengan air bebas mineral sampai kadar tertentu.

2.8

larutan kerja logam kadmium (Cd)

larutan baku logam kadmium yang diencerkan, digunakan untuk membuat kurva kalibrasi.

2.9

larutan blanko

air bebas mineral yang diasamkan atau perlakuannya sama dengan contoh uji.

SNI 6989.16:2009

2.10

larutan pengencer

larutan yang digunakan untuk mengencerkan larutan kerja, yang dibuat dengan cara menambahkan asam nitrat pekat ke dalam air bebas mineral hingga $\text{pH} \leq 2$.

2.11

larutan pencuci

larutan yang digunakan untuk mencuci semua peralatan gelas dan plastik.

2.12

matrix modifier

bahan yang digunakan untuk mengurangi gangguan matriks contoh uji.

2.13

spike matrix

contoh uji yang diperkaya dengan larutan baku dengan kadar tertentu

3 Cara uji

3.1 Prinsip

Analit logam kadmium dalam nyala udara-asetilen diubah menjadi bentuk atomnya, menyerap energi radiasi elektromagnetik yang berasal dari lampu katoda dan besarnya serapan berbanding lurus dengan kadar analit.

3.2 Bahan

- Air bebas mineral.
- Asam nitrat (HNO_3) pekat p.a.
- Logam kadmium (Cd) dengan kemurnian minimum 99,5 %.
- Gas asetilen (C_2H_2) HP dengan tekanan minimum 100 psi.
- Larutan pengencer HNO_3 0,05 M.
Larutkan 3,5 mL HNO_3 pekat ke dalam 1000 mL air bebas mineral dalam gelas piala.
- Larutan pencuci HNO_3 5% (v/v).
Tambahkan 50 mL asam nitrat pekat ke dalam 800 mL air bebas mineral ke dalam gelas piala 1000 mL, lalu tambahkan air bebas mineral hingga 1000 mL dan homogenkan.
- Udara tekan HP atau udara tekan dari kompresor.

3.3 Peralatan

- Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-nyala.
- Lampu katoda berongga (*Hollow Cathode Lamp/HCL*) kadmium.
- Gelas piala 100 mL dan 250 mL.
- Pipet volumetrik 10,0 mL dan 50,0 mL.
- Labu ukur 50,0 mL; 100,0 mL; dan 1000,0 mL.
- Erlenmeyer 100 mL.
- Corong gelas.
- Kaca arloji.
- Pemanas listrik.
- Seperangkat alat saring vakum.
- Saringan membran dengan ukuran pori 0,45 μm .
- Timbangan analitik dengan ketelitian 0,0001 g.
- Labu semprot.

2 dari 8

3.4 Pengawetan contoh uji

Bila contoh uji tidak dapat segera diuji, maka contoh uji diawetkan sesuai petunjuk di bawah ini:

- | | | |
|---------------------|---|---|
| Wadah | : | Botol plastik (<i>polyethylene</i>) atau botol gelas |
| Pengawet | : | a) Untuk logam terlarut, saring dengan saringan membran berpori 0,45 μm dan diasamkan dengan HNO_3 hingga $\text{pH} < 2$
b) Untuk logam total, asamkan dengan HNO_3 hingga $\text{pH} < 2$ |
| Lama Penyimpanan | : | 6 bulan |
| Kondisi Penyimpanan | : | Suhu ruang |

3.5 Persiapan pengujian

3.5.1 Persiapan contoh uji kadmium terlarut

Siapkan contoh uji yang telah disaring dengan saringan membran berpori 0,45 μm dan diawetkan. Contoh uji siap diukur.

3.5.2 Persiapan contoh uji kadmium total

Siapkan contoh uji untuk pengujian kadmium total, dengan tahapan sebagai berikut:

- Homogenkan contoh uji, pipet 50,0 mL contoh uji dan masukkan ke dalam gelas piala 100 mL atau *Erlenmeyer* 100 mL.
- Tambahkan 5 mL HNO_3 pekat, bila menggunakan gelas piala, tutup dengan kaca arloji dan bila dengan *Erlenmeyer* gunakan corong sebagai penutup.
- Panaskan perlahan-lahan sampai sisa volumenya 15 mL sampai dengan 20 mL.
- Jika destruksi belum sempurna (tidak jernih), maka tambahkan lagi 5 mL HNO_3 pekat, kemudian tutup gelas piala dengan kaca arloji atau tutup *Erlenmeyer* dengan corong dan panaskan lagi (tidak mendidih). Lakukan proses ini secara berulang sampai semua logam larut, yang terlihat dari warna endapan dalam contoh uji menjadi agak putih atau contoh uji menjadi jernih.

CATATAN Jika destruksi tidak sempurna, lihat Lampiran B.

- Bilas kaca arloji dan masukkan air bilasannya ke dalam gelas piala.
- Pindahkan contoh uji ke dalam labu ukur 50,0 mL (saring bila perlu) dan tambahkan air bebas mineral sampai tepat tanda tera dan dihomogenkan.
- Contoh uji siap diukur serapannya.

3.5.3 Pembuatan larutan induk logam kadmium 100 mg Cd/L

- Timbang $\pm 0,100$ g logam kadmium, masukkan ke dalam labu ukur 1000,0 mL. Tambahkan 4 mL HNO_3 pekat sampai larut (≈ 100 mg Cd/L).
- Tambahkan 8 mL HNO_3 pekat dan air bebas mineral hingga tepat tanda tera dan homogenkan.
- Hitung kadar kadmium berdasarkan hasil penimbangan.

CATATAN Larutan ini dapat dibuat dari larutan standar 1000 mg Cd/L siap pakai.

3.5.4 Pembuatan larutan baku logam kadmium 10 mg Cd/L

- Pipet 10,0 mL larutan induk 100 mg Cd/L, masukkan ke dalam labu ukur 100,0 mL.
- Tepatan dengan larutan pengencer sampai tanda tera dan homogenkan.

3.5.5 Pembuatan larutan kerja logam kadmium (Cd)

Buat deret larutan kerja dengan 1 (satu) blanko dan minimal 3 (tiga) kadar yang berbeda secara proporsional dan berada pada rentang pengukuran.

3.6 Prosedur dan pembuatan kurva kalibrasi

3.6.1 Pembuatan kurva kalibrasi

Kurva kalibrasi dibuat dengan tahapan sebagai berikut:

- Operasikan alat dan optimasikan sesuai dengan petunjuk penggunaan alat untuk pengukuran kadmium.

CATATAN 1 Salah satu cara optimasi alat dengan uji sensitivitas.

CATATAN 2 Tambahkan *matrix modifier* dan atau atasi gangguan pengukuran sesuai dengan SSA yang digunakan.

- Aspirasikan larutan blanko ke dalam SSA-nyala kemudian atur serapan hingga nol.
- Aspirasikan larutan kerja satu persatu ke dalam SSA-nyala, lalu ukur serapannya pada panjang gelombang 228,8 nm, kemudian catat.
- Lakukan pembilasan pada selang aspirator dengan larutan pengencer.
- Buat kurva kalibrasi dari data pada butir 3.6.1.c) di atas, dan tentukan persamaan garis lurusnya.
- Jika koefisien korelasi regresi linier (r) $< 0,995$, periksa kondisi alat dan ulangi langkah pada butir 3.6.1 b) sampai dengan c) hingga diperoleh nilai koefisien $r \geq 0,995$.

3.6.2 Cara uji

Uji kadar kadmium dengan tahapan sebagai berikut:

- Aspirasikan contoh uji ke dalam SSA-nyala dan ukur serapannya pada panjang gelombang 228,8 nm. Bila diperlukan, lakukan pengenceran.
- Catat hasil pengukuran.

3.7 Perhitungan

Kadar logam kadmium (Cd) dihitung sebagai berikut:

$$Cd \text{ (mg/L)} = C \times fp \quad (1)$$

Keterangan:

C adalah kadar yang didapat hasil pengukuran (mg/L).

fp adalah faktor pengenceran.

4 Pengendalian mutu

- Gunakan bahan kimia pro analisis (pa).
- Gunakan alat gelas bebas kontaminasi.
- Gunakan alat ukur yang terkalibrasi.
- Dikerjakan oleh analis yang kompeten.
- Lakukan analisis dalam jangka waktu yang tidak melampaui waktu penyimpanan maksimum.
- Perhitungan koefisien korelasi regresi linier (r) lebih besar atau sama dengan 0,995 dengan intersepsi lebih kecil atau sama dengan batas deteksi.
- Lakukan analisis blanko dengan frekuensi 5 % sampai dengan 10 % per *batch* (satu seri pengukuran) atau minimal 1 kali untuk jumlah contoh uji kurang dari 10 sebagai kontrol kontaminasi.
- Lakukan analisis duplo dengan frekuensi 5 % sampai dengan 10 % per satu seri pengukuran atau minimal 1 kali untuk jumlah contoh uji kurang dari 10 sebagai kontrol ketelitian analisis. Jika Perbedaan Persen Relatif (*Relative Percent Difference*/RPD) sama dengan 10 % maka dilakukan pengukuran ketiga.

Persen RPD:

$$\% \text{RPD} = \frac{|\text{hasil pengukuran} - \text{duplikat pengukuran}|}{(\text{hasil pengukuran} + \text{duplikat pengukuran}) / 2} \times 100\% \quad (2)$$

- Lakukan kontrol akurasi dengan *spike matrix* atau salah satu standar kerja dengan frekuensi 5 % - 10 % per satu seri pengukuran atau minimal 1 kali untuk jumlah contoh uji kurang dari 10. Kisaran persen temu balik untuk *spike matrix* adalah 85 % - 115 % dan untuk standar kerja 90 % - 110 %.

Persen temu balik (% recovery, %R)

$$\% R = \left(\frac{A - B}{C} \right) \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

- A adalah kadar contoh uji yang diperkaya (*spike*) (mg/L);
 B adalah kadar contoh uji (mg/L);
 C adalah kadar standar yang ditambahkan (*target value*) (mg/L).

CATATAN 1 Volume *spike matrix* yang ditambahkan maksimal 5% dari volume contoh uji.

CATATAN 2 Hasil akhir kadar contoh uji yang diperkaya (*spike matrix*) berkisar 2 kali kadar contoh uji. Kadar contoh uji yang sudah diperkaya berada pada kisaran rentang pengukuran.

- Standar ini telah melalui uji banding metode dengan peserta 10 laboratorium pada kadar 1 mg Cd/L dengan tingkat presisi (% RSD) 6,90 % dan akurasi (bias metode) 1,25 %.

5 Rekomendasi

- Lakukan analisis *blind sample*.
- Buat *control chart* untuk akurasi dan presisi analisis.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama Putri Salsabila Zahra, lahir di Bekasi 27 Mei 2000. Penulis merupakan anak ketiga dari Bapak Sutiyono dan Ibu Nurhayatty. Menempuh pendidikan di SMPIT Ulil Albab tahun 2012-2015, SMAN 2 Tambun Selatan tahun 2015-2018, dan melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia pada tahun 2018.

Selama masa perkuliahan, penulis mengikuti organisasi PIK-M Aushaf periode 2019/2020 sebagai anggota departemen Humas dan LDF Al-Mustanir sebagai Wakil Sekretaris Umum pada periode 2020/2021, turut membantu dalam kegiatan program pembinaan dan keagamaan, dan aktif mengikuti kepanitiaan seperti Enviro Champion 2019 dan Lintas Lingkungan 2019. Pada akhir masa studi perkuliahan, penulis melakukan penelitian tugas akhir dengan judul “Efektivitas Ampas Teh Sebagai Fiber Adsorbent Pada Penyerapan Logam Kadmium (Cd) Dalam Air”.