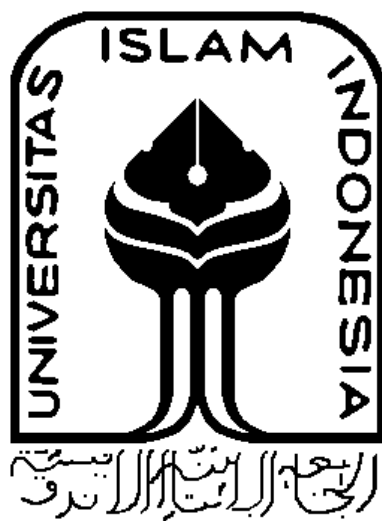


TA/TL/2023/1705

TUGAS AKHIR

**PEMANFAATAN LIMBAH SUMPIT SEBAGAI
ADSORBEN UNTUK MENURUNKAN KADAR KADMIUM
(Cd) PADA LIMBAH CAIR DENGAN METODE KONTINU**

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



**RIELSA
19513240**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2023**

TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN LIMBAH SUMPIT SEBAGAI
ADSORBEN UNTUK MENURUNKAN KADAR KADMIUM
(Cd) PADA LIMBAH CAIR DENGAN METODE KONTINU

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



RIELSA
19513240

Disetujui,
Dosen Pembimbing:


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

NIK. 025100406

Tanggal: 20 Oktober 2023

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN


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

NIK. 045130401

Tanggal: 21/10/23

HALAMAN PENGESAHAN

PEMANFAATAN LIMBAH SUMPIT SEBAGAI ADSORBEN UNTUK MENURUNKAN KADAR KADMIUM (Cd) PADA LIMBAH CAIR DENGAN METODE KONTINU

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Senin
Tanggal : 23 Oktober 2023

Disusun Oleh:

RIELSA
19513240

Tim Penguji :

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

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

Fina Binazir Maziya, S.T., M.T.

()
()
()

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, 23 Oktober 2023

Yang membuat pernyataan,



Rielsa

NIM: 19513240

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan ini ialah **“Pemanfaatan Limbah Sumpit Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Kadar Kadmium (Cd) Pada Limbah Cair Dengan Metode Kontinu”**. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat akademik sehingga mendapatkan derajat Sarjana Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari bahwa selama penyusunan tugas akhir ini terdapat banyak hambatan, namun berkat bantuan dan bimbingan berbagai pihak dapat terselesaikan dengan baik tugas akhir ini. Oleh sebab itu, dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang ikut terlibat dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Terimakasih dan penghargaan sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada:

1. Allah *subhanahu wa ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat, nikmat, rezeki, dan kesempatan kepada penulis untuk mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Orang tua tercinta, Bapak Ridwan Effendi dan Ibu Elvianah dengan segala curahan cinta, kasih sayang, doa, dan dukungan tiada henti kepada penulis.
3. Kakak tersayang yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat selama pengerjaan laporan tugas akhir.
4. Bapak Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc. ES., Ph.D., selaku Direktur Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Islam Indonesia sekaligus dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa memberikan bimbingan, nasihat, dan motivasi demi terselesainya tugas akhir ini.
5. Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. dan Ibu Fina Binazir Maziya, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah membimbing, memberi saran dan arahan dalam pelaksanaan tugas akhir ini.
6. Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M. Eng. selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan studi.

7. Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng). Ph.D. selaku ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
8. Semua dosen Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia atas segala ilmu yang diberikan selama penulis menempuh bangku perkuliahan.
9. Staff, karyawan, dan laboran di Program Studi Teknik Lingkungan yang banyak membantu penulis dalam melancarkan hal yang berhubungan dengan Tugas akhir.
10. Fajar Hilmawan selaku teman hidup yang selalu menjadi *support system* dimasa perkuliahan.
11. Teman-teman *pink house* tersayang selaku keluarga kedua diperantauan Ayya, Sania, Anisa, Benjo, Sari, Ameng, dan Fetria yang selalu mendukung, menghibur, mengasihi, dan membantu penulis dimasa perkuliahan.
12. Ikhwanul Habib Al Habsy selaku teman dan partner Tugas Akhir yang selalu mendukung, dan mengajarkan ilmu baru serta kompak dalam mengerjakan tugas akhir.
13. Semua orang yang penulis kenal dan mengenal penulis dan yang telah bersedia membantu dalam penyelsaian laporan tugas akhir ini.
14. Rielsa, diri saya sendiri yang telah berjuang sampai di titik ini.

Penulis sadar sekali bahwa penulisan tugas akhir ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan demi kemajuan dalam penelitian ini serta semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membaca.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 23 Oktober 2023



Rielsa

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

RIELSA. Pemanfaatan Limbah Sumpit sebagai Adsorben untuk Menurunkan Kadar Kadmium (Cd) pada Limbah Cair dengan Metode Kontinu. Dibimbing oleh EKO SISWOYO, S.T., M.SC. ES, M.SC, PH.D.

Kadmium (Cd) merupakan salah satu logam berat yang terkandung dalam limbah cair yang bersifat toksik dan sangat berbahaya bagi lingkungan serta makhluk hidup. Pada saat ini banyak terjadi pencemaran karena logam Cd. Adsorpsi dipilih menjadi metode penghilangan ion Cd dalam air dikarenakan operasional yang mudah, biaya pengoperasiannya terjangkau, dan memiliki efisiensi penyisihan tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik adsorben limbah sumpit, pengaruh variasi debit atau laju alir dan ketinggian adsorben (unggun) pada adsorpsi Cd menggunakan adsorben limbah sumpit, dan kapasitas penyerapan Cd dengan metode kontinu. Limbah sumpit menjadi material utama adsorben yang mudah dijumpai, ketersediaannya melimpah, dan murah. Proses aktivasi bertujuan menambah luas permukaan adsorben sehingga meningkatkan kemampuan adsorpsi. Terdapat dua jenis adsorben yaitu adsorben sumpit bekas tanpa aktivasi dan teraktivasi. Penelitian dilakukan berdasarkan pengujian di laboratorium menggunakan kolom kontinu dan studi literatur. Pengujian karakteristik adsorben dilakukan menggunakan instrumen FTIR dan SEM. Dari data uji FTIR diketahui terdapat gugus hidroksil (OH) pada adsorben sumpit bekas. Pada hasil uji SEM terlihat pori pada permukaan adsorben pada perbesaran 1500 dan 3500 kali. Data hasil percobaan didapat konsentrasi optimum proses adsorpsi adalah pada adsorben sumpit bekas teraktivasi dengan debit optimum 1,3 mL/menit (lambat) dan ketinggian adsorben optimum 15 cm, nilai pH 7, titik breakthrough pada waktu 30 jam dan titik jenuh pada waktu 120 jam. Adsorben dengan kapasitas adsorpsi paling tinggi adalah adsorben mencapai 88,5 % pada waktu 120 menit. Kapasitas adsorpsi sebesar 1 mg/g dengan pendekatan model Thomas dan Yoon-Nelson.

Kata kunci: Adsorpsi, Kadmium, Limbah Sumpit, Metode Kontinu

ABSTRACT

RIELSA. Utilization of Chopsticks Waste as Adsorbent to Reduce Cadmium (Cd) Level in Wastewater by Continuous Method. Supervised by EKO SISWOYO, S.T., M.SC. ES, M.SC, PH.D.

Cadmium (Cd) is one of the heavy metals contained in liquid waste that is toxic and very dangerous for the environment and living things. Currently, there is a lot of pollution due to Cd metal. Adsorption was chosen as a method of removing Cd ions in water because of its easy operation, affordable operating costs, and high removal efficiency. The purpose of this study was to determine the characteristics of chopsticks waste adsorbent, the effect of variations in discharge or flow rate and adsorbent height (bed) on Cd adsorption using chopsticks waste adsorbent, and Cd absorption capacity with Continuous Method. Chopsticks waste is the main adsorbent material that is easily found, abundant, and cheap. The activation process aims to increase the surface area of the adsorbent so as to increase the adsorption ability. There are two types of adsorbents, namely unactivated and activated used chopsticks adsorbents. The research was conducted based on laboratory testing using a continuous column and literature study. Testing of adsorbent characteristics was carried out using FTIR and SEM instruments. From the FTIR test data, it is known that there is a hydroxyl group (OH) on the used chopstick adsorbent. The SEM test results showed pores on the adsorbent surface at 1500 and 3500 times magnification. The experimental data obtained the optimum condition of the adsorption process is on the activated used chopsticks adsorbent with an optimum discharge of 1.3 mL/min (slow) and an optimum adsorbent height of 15 cm, pH value of 7, breakthrough point at 30 hours and saturation point at 120 hours. The adsorbent with the highest adsorption capacity was the adsorbent reaching 88.5% at 120 minutes. The adsorption capacity was 1 mg/g with the Thomas and Yoon-Nelson model approach.

Keywords: Adsorption, Cadmium, Chopsticks Waste, Continuous Method

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR TABEL | xii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.5 Ruang Lingkup | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Logam Kadmium (Cd)..... | 5 |
| 2.2 Sumpit..... | 6 |
| 2.3 Kandungan Selulosa pada Sumpit | 6 |
| 2.4 Adsorpsi | 7 |
| 2.5 Aktivasi Adsorben | 8 |
| 2.6 Metode Adsorpsi..... | 9 |
| 2.7 Uji Karakteristik Adsorben | 10 |
| 2.8 Kurva Trobosan (<i>Breakthrough Curve</i>)..... | 11 |
| 2.9 Model Kinetika Sistem Adsorpsi | 11 |
| 2.10 Penelitian Terdahulu | 12 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 15 |
| 3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian | 15 |
| 3.2 Metode Penelitian | 15 |
| 3.3 Alat dan Bahan..... | 15 |
| 3.4 Parameter dan Metode Uji | 16 |
| 3.5 Variabel Penelitian..... | 16 |
| 3.6 Prosedur Penelitian | 17 |

| | | |
|----------------------------------|--|----|
| 3.6.1 | Preparasi Adsorben Sumpit Bekas | 18 |
| 3.6.2 | Preparasi Adsorben Sumpit Bekas Teraktivasi $C_6H_8O_7$ 0,4 M..... | 19 |
| 3.6.3 | Karakteristik Adsorben..... | 19 |
| 3.6.4 | Preparasi Rangkaian Sistem Kontinu (Kolom) | 20 |
| 3.6.5 | Penentuan Ketinggian Adsorben, Konsentrasi, pH, dan Waktu Kontak.. | 21 |
| 3.6.6 | Penentuan dan Pengaturan Debit atau Laju Alir | 22 |
| 3.6.7 | Proses Adsorpsi | 22 |
| 3.6.8 | Penentuan Debit atau Laju Alir Optimum..... | 23 |
| 3.6.9 | Penentuan Tinggi Massa Optimum | 24 |
| 3.6.10 | Penentuan Kurva Trobosan (<i>Breakthrough Curve</i>)..... | 25 |
| 3.6.11 | Model Kinetika Sistem Adsorpsi..... | 26 |
| 3.6.12 | Analisis Efisiensi Kemampuan Adsorben | 28 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | | 29 |
| 4.1 | Penjelasan Umum | 29 |
| 4.2 | Persiapan Adsorben Sumpit Bekas | 29 |
| 4.3 | Adsorben Sumpit Bekas Tanpa Aktivasi | 33 |
| 4.4 | Adsorben Sumpit Bekas Teraktivasi..... | 35 |
| 4.5 | Reaktor Sistem Kontinu (Kolom)..... | 36 |
| 4.6 | Karakteristik Adsorben | 37 |
| 4.6.1 | FTIR (Fourier Transform InfraRed)..... | 37 |
| 4.6.2 | SEM (Scanning Electron Microscope) | 42 |
| 4.6.3 | Larutan Standar Kadmium (Cd) | 43 |
| 4.7 | Uji Adsorpsi..... | 44 |
| 4.7.1 | Uji Variasi Debit atau Laju Alir Optimum..... | 44 |
| 4.7.2 | Uji Variasi Ketinggian Adsorben | 47 |
| 4.7.3 | Kurva Treobosan (<i>Breakthrough Curve</i>)..... | 50 |
| 4.7.4 | Model Kinetika Sistem Adsorpsi..... | 53 |
| BAB V SIMPULAN DAN SARAN | | 61 |
| 5.1 | Simpulan | 61 |
| 5.2 | Saran | 61 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | | 63 |
| LAMPIRAN | | 66 |

| | |
|---------------------|-----|
| RIWAYAT HIDUP | 100 |
|---------------------|-----|

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu | 12 |
| Tabel 4. 1 Interpretasi Gugus Fungsi Adsorben Sumpit Bekas Tanpa Aktivasi dan Teraktivasi..... | 41 |
| Tabel 4. 2 Data Variasi Debit atau Laju Alir Adsorben Tanpa Aktivasi..... | 45 |
| Tabel 4. 3 Data Variasi Debit atau Laju Alir Adsorben Teraktivasi | 45 |
| Tabel 4. 4 Data Variasi Ketinggian Adsorben Tanpa Aktivasi | 48 |
| Tabel 4. 5 Data Variasi Ketinggian Adsorben Teraktivasi..... | 48 |
| Tabel 4. 6 Data Kurva Terobosan (<i>Breakthrough Curve</i>) | 51 |
| Tabel 4. 7 Break point dan Exhaust point pada Variasi Optimum | 53 |
| Tabel 4. 8 Data Model Thomas | 54 |
| Tabel 4. 9 Data Perhitungan Kapasitas Adsorpsi dengan Model Thomas..... | 55 |
| Tabel 4. 10 Data Model Yoon-Nelson..... | 56 |
| Tabel 4. 11 Data Perhitungan Kapasitas Adsorpsi dengan Model Yoon-Nelson..... | 57 |
| Tabel 4. 12 Data Model Adams-Bohart..... | 58 |
| Tabel 4. 13 Data Perhitungan Kapasitas Adsorpsi dengan Model Adams-Bohart.... | 59 |
| Tabel 4. 14 Data Model Kapasitas Adsorpsi | 60 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian | 17 |
| Gambar 3. 2 Diagram Alir Proses Pembuatan Adsorben Sumpit Bekas | 18 |
| Gambar 3. 3 Diagram Alir Preparasi Adsorben Teraktivasi..... | 19 |
| Gambar 3. 4 Skema Rangkaian Sistem Kontinu..... | 21 |
| Gambar 3. 5 Diagram Alir Penentuan Debit atau Laju Alir Optimum (Tidak Teraktivasi dan Teraktivasi) | 23 |
| Gambar 3. 6 Diagram Alir Penentuan Tinggi Massa Adsorben Optimum (Tidak Teraktivasi dan Teraktivasi) | 25 |
| Gambar 4. 1 Mengumpulkan Sumpit Bekas | 30 |
| Gambar 4. 2 Proses Pencucian Sumpit Bekas | 30 |
| Gambar 4. 3 Sumpit Bekas Dijemur | 31 |
| Gambar 4. 4 Sumpit Bekas Dioven | 31 |
| Gambar 4. 5 Proses Penyerutan (Diperkecil)..... | 32 |
| Gambar 4. 6 Proses Penghalusan Sumpit Bekas (Blender) | 32 |
| Gambar 4. 7 Proses Penyaringan Saringan 100 mesh | 33 |
| Gambar 4. 8 Bahan Adsorben Sumpit Bekas Siap Digunakan..... | 33 |
| Gambar 4. 9 Bahan Adsorben Sumpit Bekas Dicuci dengan Aquades | 34 |
| Gambar 4. 10 Bahan Adsorben Sumpit Bekas Dioven..... | 34 |
| Gambar 4. 11 Bahan Adsorben Sumpit Bekas Tanpa Aktivasi Siap Digunakan | 34 |
| Gambar 4. 12 Proses Aktivasi Dengan $C_6H_8O_7$ 0,4 M (Asam Sitrat) | 35 |
| Gambar 4. 13 Adsorben Teraktivasi Siap Digunakan | 35 |
| Gambar 4. 14 Proses Penimbangan Glasswool dan Adsorben Sumpit Bekas..... | 36 |
| Gambar 4. 15 Reaktor Sistem Kontinu (Kolom) | 37 |
| Gambar 4. 16 Hasil Uji FTIR Adsorben Sumpit Bekas Tanpa Aktivasi..... | 39 |
| Gambar 4. 17 Hasil Uji FTIR Adsorben Sumpit Bekas Teraktivasi | 40 |
| Gambar 4. 18 (a) Permukaan Adsorben Sumpit Bekas Tanpa Aktivasi Perbesaran 1500 kali (b) Permukaan Adsorben Sumpit Bekas Tanpa Aktivasi Perbesaran 1500 kali (c) Permukaan Adsorben Sumpit Bekas Tanpa Aktivasi Perbesaran 3500 kali | 42 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4. 19 (a) Permukaan Adsorben Sumpit Bekas Teraktivasi Perbesaran 1500 kali (b) Permukaan Adsorben Sumpit Bekas Teraktivasi Perbesaran 1500 kali (c) Permukaan Adsorben Sumpit Bekas Teraktivasi Perbesaran 2000 kali | 43 |
| Gambar 4. 20 Kurva Kalibrasi Larutan Standar Cd..... | 44 |
| Gambar 4. 21 Grafik Hubungan Variasi Debit atau Laju Alir terhadap Adsorpsi Cd..... | 46 |
| Gambar 4. 22 Grafik Hubungan Variasi Ketinggian Adsorben terhadap Adsorpsi Cd..... | 49 |
| Gambar 4. 23 Kurva Terobosan (<i>Breakthrough Curve</i>)..... | 52 |
| Gambar 4. 24 Kurva Linier Model Thomas (Pengukuran Kapasitas Adsorpsi)..... | 55 |
| Gambar 4. 25 Kurva Linier Model Yoon-Nelson (Pengukuran Kapasitas Adsorpsi)..... | 57 |
| Gambar 4. 26 Kurva Linier Model Adams-Bohart (Pengukuran Kapasitas Adsorpsi)..... | 59 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|------------|----------------------------------|----|
| Lampiran 1 | Perhitungan..... | 66 |
| Lampiran 2 | Data Karakteristik FTIR..... | 71 |
| Lampiran 3 | Data Dokumentasi | 73 |
| Lampiran 4 | Tabel Korelasi Gugus Fungsi..... | 78 |
| Lampiran 5 | SNI Nomor 06-6989-16. 2009 | 84 |
| Lampiran 6 | Hasil Uji AAS | 94 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini untuk pengolahan limbah di industri atau pun lembaga pendidikan belum dilakukan pengolahan lebih lanjut yang mana masih dikumpulkan lalu diberikan kepiahak ke tiga yakni lembaga-lembaga pengolah limbah ataupun langsung dibuang ke lingkungan, biasanya dibuang langsung ke wastafel. Limbah yang dibuang langsung ke lingkungan secara kolektif dan dalam kurun waktu yang lama akan menyebabkan pencemaran lingkungan, seperti mencemari badan air, merusak struktur tanah, mengancam kelangsungan hidup ekosistem air maupun darat, serta berpengaruh buruk pada kesehatan manusia ataupun makhluk hidup yang berada di lingkungan sekitar [1]. Untuk pengolahan limbah dengan jasa lembaga pengolahan limbah yang bersertifikat sendiri dibutuhkan biaya yang cukup tinggi sehingga dapat meningkatkan pendanaan pada pemeliharaan lingkungan oleh lembaga pendidikan tersebut.

Limbah berbahaya yang ada pada limbah cair salah satunya adalah logam berat yang mana timbul dari aktivitas industri ataupun laboratorium dan sebagainya. Bahan yang terkandung di dalam limbah laboratorium termasuk kedalam limbah berbahaya dan beracun (B3) menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 [2]. Salah satu logam berat yang terkandung didalam industri dan limbah laborarorium yakni Kadmium (Cd) yang mana termasuk jenis logam berat tidak esensial atau bersifat beracun yang mana belum diketahui manfaatnya bagi tubuh [3]. Sifat kadmium yang beracun menyebabkan keracunan akut yang mana berpengaruh pada gejala gasterointestial dan kerusakan ginjal bahkan sampai menyebabkan kematian [4]. Salah satunya kasus yang pertama terjadi di Jepang yakni adanya penyakit “itai-itai atau ouch-ouch” menyebabkan kematian 100 orang yakni keluarga para nelayan yang mengalami keracunan akibat logam berat Cd [5][6].

Dilihat dari dampak yang disebabkan karena logam berat kadmium, maka perlu dilakukan pengurangan kandungan kadmium dalam air tersebut. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi kadar kadmium didalam air yakni adsorpsi dikarenakan metode adsorpsi merupakan metode yang mudah dan sederhana juga tidak beracun serta ramah lingkungan sehingga paling banyak digunakan [7][8]. Adsorpsi

adalah proses akumulasi adsorbat pada permukaan adsorben yang disebabkan oleh gaya tarik antar molekul adsorbat dengan permukaan adsorben [9]. Maka dari itu adsorben terbuat dari berbagai bahan yang memiliki banyak pori karena adsorpsi berpengaruh pada permukaan yang berpori sebagai tempat berlangsungnya adsorpsi. Agar ramah lingkungan dan menghemat biaya pembuatan maka dipilih jenis-jenis adsorben yang bersifat alami yang berbahan dasar dari kayu-kayuan, bambu, batok kelapa, daun, dan sebagainya yang memiliki kandungan selulosa.

Selulosa merupakan salah satu bahan yang memiliki kemampuan yang besar untuk mengikat ion logam yang terlarut seperti logam berat kadmium sendiri. Selulosa terdapat pada bahan kayu dan bambu yang mana salah satu limbah kayu dan bambu yang menarik dan berpotensi digunakan yakni pada alat makanan seperti sumpit, sendok, garpu, dan sebagainya. Limbah dari material tersebut dapat dimanfaatkan kembali sebagai alternatif bahan adsorben khususnya sumpit bekas berbahan bambu, yang mana pada saat ini banyak diproduksi dan digunakan dimanapun, namun pengolahan dan pemanfaatannya masih terbatas.

Oleh karena itu, pemanfaatan limbah sumpit tersebut selain dijadikan sebagai adsorben juga dilakukan untuk mengurangi limbah alat makan. Limbah sumpit dijadikan sampel pada penelitian ini mengingat kandungan selulosa yang terdapat didalamnya serta dilakukan aktivasi pada adsorben limbah sumpit dengan tujuan agar memperbanyak pori pada permukaannya dengan asam sitrat. Penelitian ini juga membandingkan antara adsorben yang belum diaktivasi dan yang telah teraktivasi untuk menentukan keadaan optimum dengan variasi laju alir atau debit dan ketinggian adsorben. Penelitian ini menggunakan metode kontinu, metode ini dilakukan dengan mengalirkan limbah cair kedalam kolom dari atas ke bawah dengan debit dan ketinggian adsorben tertentu. Metode ini juga dapat diaplikasikan untuk pengelolaan limbah cair dalam kapasitas besar dan luas yang mana sangat cocok untuk pengaplikasian di lapangan dibandingkan dengan metode batch yang hanya dalam skala kecil.

Hal tersebut dapat menjadi upaya untuk mencegah adanya pencemaran lingkungan, sehingga kandungan logam berat yang terdapat pada limbah cair dapat dilakukan pengolahan sehingga dapat dibuang langsung ataupun dimanfaatkan kembali, serta mencekik pengeluaran biaya perawatan lingkungan pada lembaga Pendidikan ataupun pada industri dan sebagainya.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang diatas dapat dirumuskan masalah sbagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik limbah sumpit sebagai adsorben?
2. Bagaimana pengaruh variasi tinggi massa adsorben dan debit atau laju alir pada adsorpsi logam berat kadmium (Cd) menggunakan adsorben berbasis limbah sumpit dengan metode kontinu (dengan aliran kebawah)?
3. Berapa kapasitas penjerapan logam berat Kadmium (Cd) oleh adsorben limbah sumpit?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi karakteristik limbah sumpit sebagai adsorben.
2. Menganalisis pengaruh variasi tinggi massa adsorben dan debit debit atau laju alir pada adsorpsi logam berat kadmium (Cd) menggunakan adsorben berbasis limbah sumpit dengan metode kontinu (dengan aliran kebawah).
3. Menganalisis seberapa besar kapasitas penjerapan logam berat kadmium (Cd) oleh adsorben limbah sumpit.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi tentang kemampuan sumpit bekas sebagai adsorben yang diaktivasi menggunakan Asam Sitrat ($C_6H_8O_7$) dalam menurunkan konsentrasi ion logam berat kadmium (Cd) dalam air.
2. Memberikan alternatif teknologi penyerapan logam berat yang berasal dari sumpit bekas.
3. Hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi dalam memanfaatkan limbah alami sebagai bahan baku adsorben dengan metode kontinu.

1.5 Ruang Lingkup

Terkait dengan penelitian yang dilakukan, untuk menghindari penyimpangan, pelebaran fokus, dan memudahkan pelaksanaan penelitian, maka digunakan ruang lingkup sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP Kampus terpadu UII.
2. Pengujian adsorpsi logam berat kadmium (Cd) dilakukan dengan memperhatikan aspek tinggi massa adsorben, pH, waktu kontak, laju alir atau debit, dan konsentrasi limbah.
3. Metode aktivasi dilakukan menggunakan Asam Sitrat ($C_6H_8O_7$).
4. Air limbah yang digunakan yaitu larutan buatan yang mengandung ion logam kadmium (Cd) dengan metode uji mengacu pada SNI Nomor 06-6989-16 tahun 2009 tentang cara uji kadmium (Cd) dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – nyala.
5. Pengujian karakteristik gugus fungsi adsorben pada penelitian ini menggunakan *Fourier Transform Infrared (FTIR)*.
6. Pengujian gambaran permukaan adsorben menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope (SEM)*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Kadmium (Cd)

Logam Kadmium merupakan logam berat yang pada tabel periodik berlambang Cd dengan nomor atom 48 dan termasuk golongan II B. Kadmium adalah logam lunak berwarna putih kebiruan yang secara kimiawi mirip dengan dua logam stabil lainnya dari golongan 12, seng dan merkuri. Kadmium memiliki penampilan mengkilap, tidak larut dalam basa, mudah bereaksi dan menghasilkan oksida kadmium saat dipanaskan. Kadmium (Cd) sering digabungkan dengan klorin (Cd klorida) atau belerang (Cd sulfit). Kadmium (Cd) digunakan untuk elektrolisis, sebagai pewarna untuk industri cat, enamel dan plastik [6]. Logam kadmium (Cd) memiliki persebaran yang sangat luas di alam. Logam ini akan kehilangan kilau bila terkena udara lembab atau lembab dan akan cepat terdegradasi bila terkena uap amoniak (NH_3) dan sulfur hidroksida (SO_2) [9].

Kadmium (Cd) merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya yang mana dapat mencemari lingkungan dan berpengaruh pada makhluk hidup seperti pada manusia dikarenakan beresiko tinggi terhadap pembuluh darah. Kadmium dapat mempengaruhi tubuh manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal. Tak hanya itu, kadmium juga bersifat toksik atau beracun yang mana dapat menyebabkan keracunan akut dan kronis yang memberi efek pada ginjal, hati, paru-paru, tulang, darah dan jantung, serta sistem reproduksi dalam tubuh [9].

Dampak yang ditimbulkan oleh kadmium yang tidak terkontrol dalam jangka waktu yang lama akan merusak lingkungan dan makhluk hidup yang terpapar, maka dari itu konsentrasi kadmium yang terdapat di lingkungan perlu dikontrol dengan tepat. Menurut peraturan pemerintah nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan pengendalian Pencemaran Air, keberadaan kadmium di sungai memiliki batas maksimal 0,01 mg/L untuk sungai kelas I, 0,05 mg/L untuk sungai kelas II, 0,1 mg/L untuk sungai kelas III, sedangkan untuk sungai kelas IV sebesar 1 mg/L. Untuk pengolahan air minum batas maksimum konsentrasi Cd adalah 0,005 mg/L [10]. Sedangkan menurut Peraturan Menteri Nomor 5 tahun 2014 tentang Baku Mutu Limbah Cair bahwa batas maksimum untuk logam berat Cd dalam air adalah 0,05 mg/L [11].

2.2 Sumpit

Salah satu jenis alat makan yang berasal dari Asia Timur adalah sumpit yang mana terdiri dari sepasang kayu berbentuk stik berbentuk dan berukuran sama yang mana dipegang diantara jari-jari tangan. Sumpit digunakan untuk menjepit dan memindahkan makana dari wadah satu ke wadah lain atau langsung di masukan ke dalam mulut. Pada umumnya sumpit dibuat dari bahan logam, plastik, kayu, bambu, dan sebagainya. Pada penelitian ini sumpit yang digunakan yakni jenis sumpit berbahan bambu. Dipilih sumpit yang berbahan tersebut dikarenakan mengandung selulosa yang mana dapat dijadikan bahan untuk membuat adsorben.

2.3 Kandungan Selulosa pada Sumpit

Kandungan selulosa pada sumpit berbahan dasar bambu jika dilihat secara biofisik pohon bambu sendiri menghasilkan selulosa per ha 2-6 kali lebih besar dari pohon kayu pinus. Persentase kandungan terbesar dalam komponen yang terkandung pada batang bambu yakni selulosa dengan kandungan selulosa sebesar 42,4% sampai 53,6 % sehingga diduga akan menghasilkan papan partikel dengan kualitas baik [12].

Selulosa merupakan senyawa yang memiliki karakteristik seperti serabut, liat, tidak terlarut dalam air. Selulosa biasanya dapat ditemukan di dalam dinding sel pelindung tumbuhan yang terdapat di tangkai batang, dahan, dan bagian berkayu dari jaringan tumbuhan. Selulosa tidak pernah ditemukan dalam bentuk murninya di alam, tetapi selalu terikat dengan polisakarida lain seperti lignin, pektin, hemiselulosa, dan xilan. Pada bagian dalam tumbuhan, molekul selulosa tersusun dalam bentuk fibril yang terdiri dari sejumlah molekul paralel yang dihubungkan oleh ikatan glikosidik sehingga sulit diputus atau diuraikan [13].

Selulosa pertama kali digambarkan sebagai serat padat yang tersisa setelah pemurnian jaringan tanaman oleh asam dan amonia. Telah diamati bahwa bahan yang dimurnikan mengandung senyawa kimia yang homogen, yaitu karbohidrat. Hal ini didasarkan pada residu glukosa yang mirip dengan pati menurut Anselme Payen pada tahun 1838 [14]. Sifat-sifat selulosa meliputi sifat fisik dan kimia, selulosa rantai panjang memiliki sifat fisik yang lebih kuat dan lebih tahan terhadap degradasi termal, kimia atau biologis [15].

Melihat kandungan selulosa yang terkandung didalam sumpit bambu tersebut makan limbah sumpit tersebut dapat dipakai sebagai adsorben. Biasanya sumpit bambu atau kayu digunakan secara sekali pakai yang mana menjadi limbah yang menumpuk tanpa dimanfaatkan kembali, sehingga limbah sumpit tersebut berpotensi untuk dipergunakan menjadi adsorben untuk menyerap ion logam pada limbah cair.

2.4 Adsorpsi

Adsorpsi atau penyerapan adalah peristiwa dimana molekul-molekul suatu cairan terikat pada permukaan padat, dimana molekul-molekul tersebut akan terakumulasi pada batas permukaan padat cairan tersebut. Adsorpsi juga merupakan rangkaian proses yang meliputi reaksi permukaan zat padat (adsorben) dengan zat pencemar (adsorben), baik dalam fase cair maupun gas. Adsorpsi merupakan fenomena permukaan, sehingga kapasitas adsorpsi adsorben merupakan fungsi dari permukaan spesifik [16].

Molekul adsorben memiliki gaya dalam keadaan tidak seimbang dimana gaya kohesif cenderung lebih besar daripada gaya rekat. Gaya kohesif adalah gaya tarik-menarik antara molekul sejenis, gaya ini membuat satu zat berikatan dengan baik dengan yang lain karena molekul-molekul tersebut saling tarik-menarik. Ketidaksetimbangan gaya-gaya tersebut menyebabkan adsorben cenderung menarik zat-zat lain atau gas yang bersentuhan dengan permukaannya. Dapat disimpulkan bahwa adsorpsi merupakan proses fisika dan/atau kimia dimana suatu zat terlarut dalam suatu larutan menempel, terikat atau terserap, terakumulasi pada permukaan [17].

Adsorben adalah padatan yang mampu menyerap beberapa komponen fase cair. Sebagian besar adsorben adalah bahan yang sangat berpori dan adsorpsi terutama terjadi di dinding pori atau di lokasi tertentu di dalam partikel. Karena pori-pori biasanya sangat kecil, permukaan bagian dalam beberapa kali lipat lebih besar dari permukaan bagian luar dan dapat mencapai hingga 2000 m²/g. Pemisahan terjadi karena perbedaan berat molekul atau perbedaan polaritas yang menyebabkan beberapa molekul melekat lebih erat pada permukaan daripada yang lain. Adsorben yang digunakan secara komersial dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu polar dan non-polar [18].

Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi itu sendiri adalah massa adsorben, luas permukaan, pH, waktu kontak, kelarutan adsorben, ukuran molekul adsorben, kecepatan laju alir atau flow rate dan temperatur. Adsorpsi sendiri dapat dibedakan

menjadi dua jenis berdasarkan kekuatan interaksinya, yaitu adsorpsi fisika dan kimiawi sebagai berikut:

1. Adsorpsi fisika yang mana terjadi apabila gaya intermolekular lebih besar dari gaya tarik antar molekul atau gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dan permukaan adsorben. Gaya ini dapat disebut gaya van der Waals dimana adsorben dapat berpindah dari satu permukaan adsorben ke permukaan lainnya. Gaya tarik menarik antara molekul cairan dengan permukaan padat dapat disebut gaya antarmolekul, sedangkan gaya tarik menarik antara molekul cairan itu sendiri [19].
2. Adsorpsi kimia yang mana terjadi karena adanya pertukaran atau penggunaan secara bersama elektron antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben sehingga terjadi reaksi kimia. Ikatan yang terbentuk antara adsorbat dan adsorben bersifat kimia dan ikatan ini lebih kuat dibandingkan adsorpsi fisik. Adsorben fisik dan adsorben kimia dibedakan menurut kriteria [19].

2.5 Aktivasi Adsorben

Proses aktivasi adsorben dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu aktivasi fisik dan kimia sebagai berikut:

1. Aktivasi fisika adalah proses pemutusan rantai karbon senyawa organik oleh panas, uap dan CO₂. Metode aktivasi fisik meliputi penggunaan uap, karbon dioksida, oksigen, dan nitrogen. Gas-gas ini memiliki efek memperluas struktur rongga di batubara, sehingga memperluas area permukaannya, menghilangkan komponen yang mudah menguap dan menghilangkan pembentukan pengotor tar atau hidrokarbon di batubara. Peningkatan suhu aktivasi antara 450°C dan 700°C dapat meningkatkan luas permukaan karbon aktif [19].
2. Aktivasi kimia adalah proses pemutusan rantai karbon senyawa organik oleh bahan kimia. Aktivasi kimia biasanya menggunakan aktivator seperti garam kalsium klorida (CaCl₂), magnesium klorida (MgCl₂), seng klorida (ZnCl₂), natrium hidroksida (NaOH), garam natrium klorida karbonat (Na₂CO₃) dan natrium klorida (NaCl). Aktivator ini memiliki fungsi mendekomposisi atau menghidrasi molekul organik selama proses karbonisasi, membatasi pembentukan tar, membantu menguraikan senyawa organik pada aktivasi berikutnya, dan mendehidrasi rongga karbon zat, yang membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan

selama karbonisasi. karbonisasi dan untuk melindungi permukaan. karbon untuk mengurangi kemungkinan oksidasi.

2.6 Metode Adsorpsi

Adsorpsi dapat dilakukan dengan dua metode yaitu metode statis (batch) dan metode dinamis (kontinu atau kolom) sebagai berikut:

1. Metode statis (batch) dilakukan dengan memasukkan larutan yang mengandung komponen yang diinginkan ke dalam wadah yang berisi adsorben, kemudian diaduk dalam waktu yang telah ditentukan. Setelah itu dilakukan pemisahan adsorben dengan larutan dengan cara disaring atau dekantasi, kemudian konsentrasi hasilnya diuji.
2. Metode dinamis (kontinu atau kolom) dilakukan dengan melewati larutan yang mengandung komponen yang diinginkan ke dalam kolom yang telah berisi adsorben yang selanjutnya ditampung dan kemudian konsentrasi hasilnya diuji [20].

Dalam metode kontinu *fixed-bed* (unggun diam) adsorpsi, konsentrasi dari fasa fluida dan fasa padatan akan berubah terhadap waktu sesuai dengan posisinya pada unggun. Pada awalnya, sebagian besar perpindahan massa terjadi atau berlangsung di daerah hulu (masuk pada unggun), cairan akan berkontak langsung pertama kali dengan adsorben. Jika padatan awalnya tidak mengandung adsorbat, maka konsentrasi dari cairan akan turun dan mendekati nol sebelum mengalir ke hilir (keluaran dari unggun). Setelah beberapa lama maka padatan dekat daerah hulu akan mengalami kejenuhan dan kemudian transfer massa akan mengambil tempat selanjutnya yang lebih jauh dari daerah inlet. Daerah yang paling banyak terjadi perubahan konsentrasi disebut *mass-transfer zone*. Dengan demikian, bertambahnya waktu maka *mass-transfer zone* akan terus bergerak pada unggun. Dari profil konsentrasi rata-rata yang terjadi pada jumlah adsorbat dalam padatan akan menunjukkan kejenuhan di hulu, perubahan besar di daerah *mass-transfer zone* (perpindahan massa), dan konsentrasi nol pada keluaran unggun. Kolom *unsteady-state* biasanya digunakan untuk menangani volume limbah cair yang besar. Cairan tersebut secara kontinyu dimasukkan pada bagian atas atau bawah kolom melalui lapisan tetap padatan penyerap. Padatan yang menyerap sejumlah zat terlarut cenderung meningkat dari waktu ke waktu. Ketika kapasitas adsorpsi padatan mendekati atau telah mencapai kejenuhan, harus dilakukan regenerasi [21].

Apabila dibandingkan antara metode batch dan kontinu, metode batch hanya dapat diaplikasikan pada skala kecil atau pada pengujian kecil sedangkan metode kontinu dapat diaplikasikan untuk skala besar atau lebih cocok aplikasikan di lapangan.

Metode atau sistem kontinu atau kolom, larutan (adsorbat) selalu dikontakkan dengan adsorben (ada aliran yang masuk dan keluar) sampai kondisi jenuh. Pada sistem kontinyu dengan satu kolom, larutan dikontakkan ke adsorben sehingga ukuran kolom mempengaruhi hasil adsorpsi yang optimal. Sistem kolom memiliki keunggulan lebih karena memiliki kapasitas yang besar sehingga dapat diaplikasikan dalam skala besar, aplikasi lapangan jauh lebih baik karena sistem operasi selalu bersentuhan dengan adsorben dengan larutan baru, sehingga adsorben dapat lebih optimal. terserap. sampai jenuh.

2.7 Uji Karakteristik Adsorben

Uji karakterisasi adsorben sendiri dilakukan dengan beberapa instrument yakni SSA, FTIR, dan SEM. Spektrofotometri adalah metode analitik kuantitatif yang pengukurannya didasarkan pada radiasi yang dihasilkan atau diserap oleh berbagai jenis atom atau molekul analit. Bagian dari spektroskopi adalah *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS) yaitu suatu metode analisis kuantitatif suatu unsur yang pengukurannya didasarkan pada penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom-atom logam dalam keadaan bebas [23]. Dalam SSA, terdapat dua bagian utama, yaitu sel atom yang menghasilkan atom gas keadaan dasar bebas dan sistem optik untuk mengukur sinyal.

FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) atau spektroskopi inframerah adalah suatu metode pengamatan dan analisis komposisi kimia senyawa organik, polimer, pelapis atau coating, bahan semikonduktor, sampel biologis, dan senyawa anorganik dan zat mineral dengan radiasi elektromagnetik dalam rentang panjang gelombang 0,75 sampai 1000 μm atau pada bilangan gelombang 13000 sampai 10 cm^{-1} . Teknik spektroskopi inframerah terutama digunakan untuk menentukan gugus fungsi senyawa, serta untuk mengidentifikasi senyawa, menentukan struktur molekul, menentukan kemurnian, dan mempelajari reaksi yang sedang berlangsung.

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) adalah jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan geometri permukaan bahan yang

dianalisis. Prinsip kerja SEM ini adalah menggambarkan permukaan suatu benda atau material dengan menggunakan berkas elektron pantul berenergi tinggi. Permukaan suatu bahan yang disinari atau disinari berkas elektron akan memantulkan kembali berkas elektron, atau berkas elektron sekunder, ke segala arah. Namun dari semua berkas elektron yang dipantulkan, ada satu berkas elektron yang dipantulkan dengan intensitas paling tinggi. Detektor yang termasuk dalam SEM akan mendeteksi pancaran elektron paling kuat yang dipantulkan dari objek atau material yang dianalisis. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya dapat mencapai 200 nm sedangkan elektron dapat mencapai resolusi hingga 0,1-0,2 nm.

2.8 Kurva Trobosan (*Breakthrough Curve*)

Kurva terobosan merupakan kurva yang menggambarkan rentang kondisi dimana terjadinya peningkatan signifikan jumlah adsorbat yang teradsorpsi oleh adsorben, sebelum proses adsorpsi mencapai kesetimbangan adsorpsi. Kesetimbangan adsorpsi terjadi ketika larutan dikontakkan pada adsorben, dan molekul-molekul adsorbat berpindah dari larutan ke padatan hingga konsentrasi adsorbat pada larutan dan padatan dalam kondisi setimbang. Data kesetimbangan adsorpsi yang dihasilkan pada suhu konstan disebut adsorpsi isoteremis. Pengukuran kesetimbangan adsorpsi dapat dilakukan dengan pengukuran konsentrasi adsorbat dalam larutan pada awal dan kesetimbangan [24]. Fungsi kurva terobosan sendiri itu untuk mengetahui titik *breakthrough* (*break point*) dan titik *exhaust* (*exhaust point*). Titik *breakthrough* (*break point*) adalah titik dimulainya *mass-transfer zone*, dimana pada titik ini adsorbat akan keluar bersama effluent. Titik ini ditandai dengan naiknya rasio konsentrasi effluent dengan umpan secara signifikan. Titik *exhaust* (*exhaust point*) adalah titik berakhirnya *mass-transfer zone*, dimana pada titik ini ditandai dengan rasio antara effluent dan umpan hampir sama.

2.9 Model Kinetika Sistem Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses yang kompleks yang kinerjanya didukung oleh banyak variabel. Konsentrasi pada keluaran kolom adsorpsi merupakan salah satu parameter penting dalam desain proses. Memprediksi konsentrasi nilai jual memang tidak mudah. Kapasitas pengisian maksimum kolom distilasi diperlukan dalam desain. Kinetika sistem adsorpsi yang terjadi pada *fixed-bed column* menggunakan model

Thomas, Yoon-Nelson, dan Adam dan Bohart. Model Thomas digunakan untuk memenuhi kebutuhan ini. Model Thomas adalah salah satu model yang paling populer dalam teori efisiensi kolom distilasi [21]. Model Yoon-Nelson adalah model yang relatif sederhana yang mengasumsikan bahwa laju pengurangan penyerapan untuk setiap molekul adsorbat sebanding dengan probabilitas adsorpsi dan *breakthrough* dari adsorbat ke adsorben. Model Adams-Bohart mengasumsikan bahwa laju adsorpsi sebanding dengan kapasitas residu padatan dan konsentrasi adsorben [22].

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang dilakukan untuk menyerap logam berat dengan cara adsorpsi menggunakan metode batch dan kontinu dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

| Referensi | Jenis Adsorben | Ringkasan Penelitian |
|--|---|---|
| <i>Bioadsorbent based on water hyacinth modified with citric acid for adsorption of methylene blue in water</i> [25] | <i>Water hyacinth powder (WHP) and water hyacinth modified with citric acid (WHMCA)</i> | a) Menggunakan instrumen FTIR dan SEM untuk mengetahui sifat – sifat adsorben. b) Variasi dosis adsorben yaitu dari 10, 25, 50, 75, dan 100 mg. c) Variasi kondisi pH adalah 2, 6, 8, dan 10. d) Variasi waktu kontak dari 30 menit, 1 jam, 2 jam, 6 jam, 15 jam, 18 jam, dan 24 jam. e) Menggunakan metode batch. f) Menggunakan model isoterm Langmuir. g) Hasil penelitian : <ul style="list-style-type: none"> - Adsorben WHMCA menunjukkan kapasitas Adsorpsi tinggi terhadap metiline blue, dengan kapasitas maksimum hingga 320 mg/g. - Massa optimum penyisihan metilen blue adalah 500 ppm yang telah menghilangkan 94% metiline blue. Waktu kontak optimum untuk mengijilangkan 500 ppm metiline blue adalah pada 30 menit dengan efisiensi penyisihan 94%. |
| Pemanfaatan Media Bambu Sebagai Adsorbent Penyerap Logam Kadmium (Cd) dengan | Media Bambu | a) Variasi dosis adsorben yakni 50 mg, 100 mg, 200 mg, 400 mg, dan 500 mg. b) Variasi waktu kontak dari 15, 30, 45, 60, 90, 120 dan 1440 menit. c) Variasi pH yakni 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, dan 9 |

| | | |
|--|--------------------------------------|---|
| <p>Perbandingan Tanpa Aktivasi dan Aktivasi dengan Asam Sitrat [26]</p> | | <p>d) Variasi konsentrasi Cd yakni 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, 150 Ppm, 200 ppm, 250 ppm dan 300 ppm.</p> <p>e) Menggunakan metode batch.</p> <p>f) Menggunakan model isoterm Langmuir.</p> <p>g) Hasil penelitian:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adsorben yang di aktivasi dengan asam sitrat memiliki daya serap yang lebih baik. - Uji variasi pH menghasilkan pH yang baik untuk adsorpsi oleh logam Cd yaitu pada pH 6, karena pada pH diatas 6 memungkinkan tidak hanya proses adsorpsi yang terjadi, namun juga terjadi proses pengendapan karena semakin kondisi basa logam Cd akan terendap sedangkan pH di bawah 6 terjadi penyerapan yang kurang maksimal. - Waktu yang dibutuhkan dalam proses adsorpsi maksimum adalah 120 menit. |
| <p>Penentuan Efisiensi Penyisihan Kromium Heksavalen (Cr^{6+}) dengan Adsorpsi Menggunakan Tempurung Kelapa secara Kontinu [27]</p> | <p>Tempurung Kelapa</p> | <p>a) Penelitian pendahuluan dengan metode batch.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Variasi dosis adsorben metode batch yakni 1, 2, 3, 4, dan 5 gram. - Variasi waktu kontak metode batch yakni 3, 5, dan 7 jam. - Variasi konsentrasi metode batch yakni: 0, 5, 10, 15, dan 20 mg/L. <p>b) Penelitian inti dengan metode kontinu.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Variasi debit metode kontinu yakni 120 dan 100 L/menit - Variasi tinggi adsorben metode kontinu yakni 10, 15, 20 cm. <p>c) Hasil penelitian:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pada metode batch keadaan optimum pada 5 gram adsorben selama 3 jam pada konsentrasi 5 mg/L. - Pada metode kontinu keadaan optimum pada debit ke 120 L/menit dan tinggi adsorben 15 cm. |
| <p>Aplikasi Sistem Kontinu Menggunakan Karbon Aktif untuk Penurunan Kadar</p> | <p>Karbon Aktif Daun Pandan Laut</p> | <p>a) Variasi dosis adsorben yakni 0,3 g ; 0,5 g; 0,7 g; 0,9 g; dan 1 g.</p> <p>b) Variasi waktu kontak dari 15, 30, 45, 60, 90, 120 dan 1440 menit.</p> |

| | | |
|---------------------------------------|--|--|
| <p>Logam Cu dan Zn dalam Air [28]</p> | | <p>c) Variasi laju alir yang dipakai yakni lambat/kecil dan cepat/besar.</p> <p>d) Konsentrasi sebesar 500 mg/L.</p> <p>e) Menggunakan metode kontinu.</p> <p>f) Hasil penelitian:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Massa adsorben optimum untuk penurunan kadar logam Cu dan Zn berturut-turut adalah 0,7 gram dan 0,9 gram. - Laju alir optimum sebesar 0,3 mL/menit dan 0,2 mL/menit, maka akan dihasilkan efisiensi adsorpsi terbesar untuk logam Cu yaitu 96,6854% dan 38,6576% untuk logam Zn. Laju alir optimum pada laju alir lambat. - Kapasitas adsorpsi tertinggi karbon aktif dari daun pandan laut teraktivasi $ZnCl_2$ terhadap penyerapan logam Cu dan Zn berturut-turut sebesar 48,8149 mg/g dan 16,3567 mg/g. |
|---------------------------------------|--|--|

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama empat bulan dimulai pada bulan Maret 2023 sampai bulan Juli 2023. Penelitian berlokasi di Laboratorium Kualitas Air, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

3.2 Metode Penelitian

Metode pada penelitian ini terdiri dari dua tahap yaitu metode pengumpulan dan pengolahan data:

- 1) Metode pengumpulan data didapat dari pengujian laboratorium yaitu dengan pengujian optimasi debit dan laju alir dan optimasi ketinggian adsorben menggunakan metode adsorpsi kontinu (kolom).
- 2) Metode pengolahan data didapat dengan dilakukan analisis efisiensi kemampuan adsorben menggunakan pendekatan Model Thomas, Yoon-Nelson, dan Adams-Bohart dengan pembuatan *breakthrough curve* atau kurva terobosan.

3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1) Alat

- | | |
|--------------------|--------------------------------|
| a. Kolom | k. Gelas Beker |
| b. Glasswool | l. Labu Ukur |
| c. Sendok | m. Neraca Analitik |
| d. Spatula | n. Kaca Arloji |
| e. Stopwatch | o. Pompa Aquarium |
| f. Karet Hisap | p. Penggaris |
| g. Pipet Ukur | q. Ayakan 100 mesh |
| h. Corong Kaca | r. Selang |
| i. Oven | s. Alat untuk rangkaian sistem |
| j. Blender/Grinder | kontinu dan lainnya. |

- 2) Bahan
 - a. Sumpit bekas
 - b. Larutan Induk Kadmium $[\text{Cd}(\text{NO}_3)_2]$ 1000 mg/L yang diawetkan dengan menambahkan larutan HNO_3 pekat atau asam nitrat sampai pH 2.
 - c. Larutan $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ 0,4 M [Asam Sitrat]
 - d. Larutan HNO_3 pekat [Asam Nitrat]
 - e. Larutan NaOH 0,1 N
 - f. Air dan Aquades
- 3) Instrumen
 - a. AAS (*Atomic Adsorption Spectrophotometry*)
 - b. FTIR (*Fourier Transform InfraRed*)
 - c. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

3.4 Parameter dan Metode Uji

Pada penelitian ini parameter yang akan akan diuji adalah logam kadmium (Cd) pada limbah cair yang mana dengan menggunakan metode uji SNI 06-6989.16-2009 yaitu tentang Cara uji kadmium (Cd) dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – nyala [29].

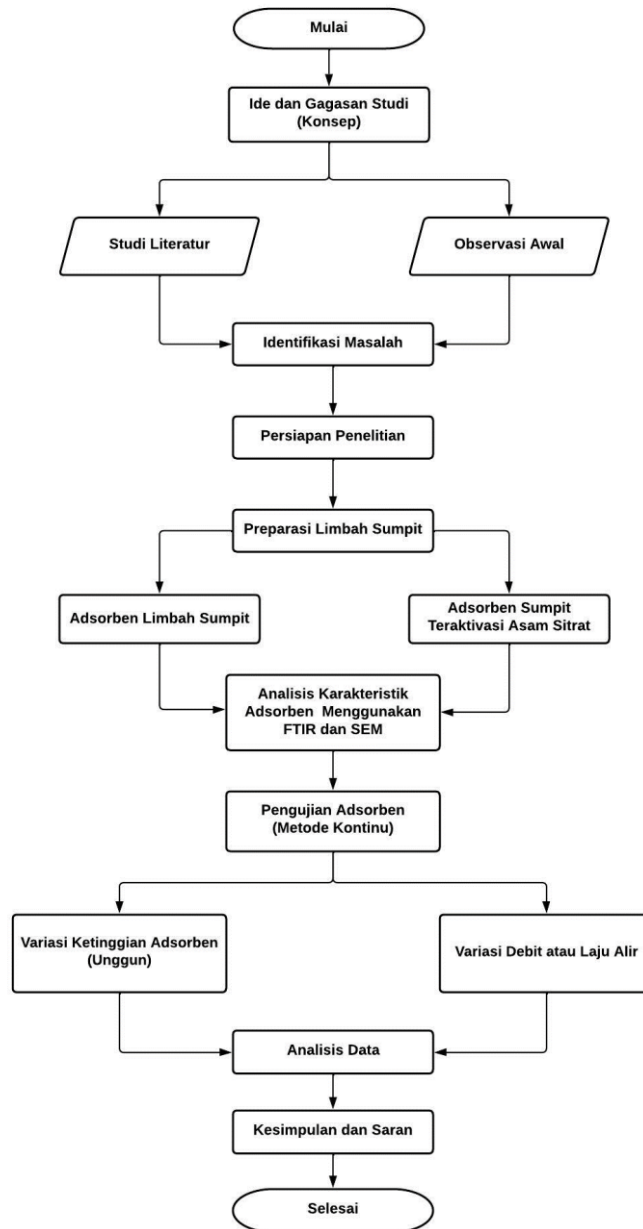
3.5 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini menggunakan dua variabel yaitu variabel terikat dan variabel bebas sebagai berikut.

- 1) Variabel terikat terdiri dari:
 - a. Adsorben dari sumpit bekas
 - b. Aktivasi dengan $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ 0,4 M (Asam Sitrat) [25].
 - c. Konsentrasi larutan kadmium $[\text{Cd}(\text{NO}_3)_2]$ 25-30 mg/L
 - d. Waktu Kontak 120 menit atau 2 jam
 - e. pH Larutan kadmium $[\text{Cd}(\text{NO}_3)_2]$ adalah 7
- 2) Variabel bebas terdiri dari:
 - a. Variasi ketinggian adsorben sebesar 10 dan 15 cm yang mana besar massanya ditentukan berdasarkan kolom sistem kontinu yang tersedia.
 - b. Variasi debit atau laju alir lambat (1,3 mL/menit) dan cepat (3,6 mL/menit) agar dapat diketahui debit yang optimum [28].

3.6 Prosedur Penelitian

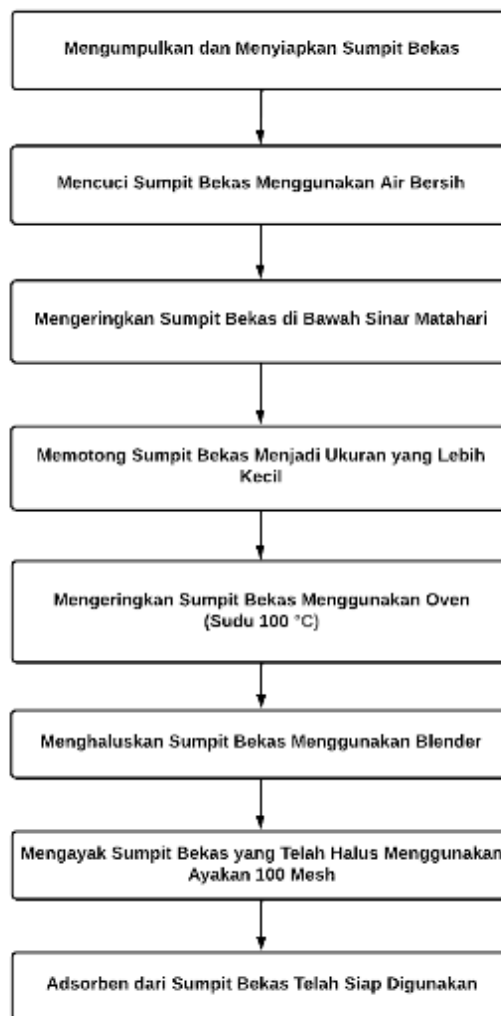
Tahapan penelitian atau alur penelitian “Pemanfaatan Limbah Sumpit Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Kadar Kadmium (Cd) Pada Limbah Cair Dengan Metode Kontinu” secara umum dapat dilihat diagram alir tahapan penelitian yang akan dilakukan pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian
Sumber: Data Primer, 2023

3.6.1 Preparasi Adsorben Sumpit Bekas

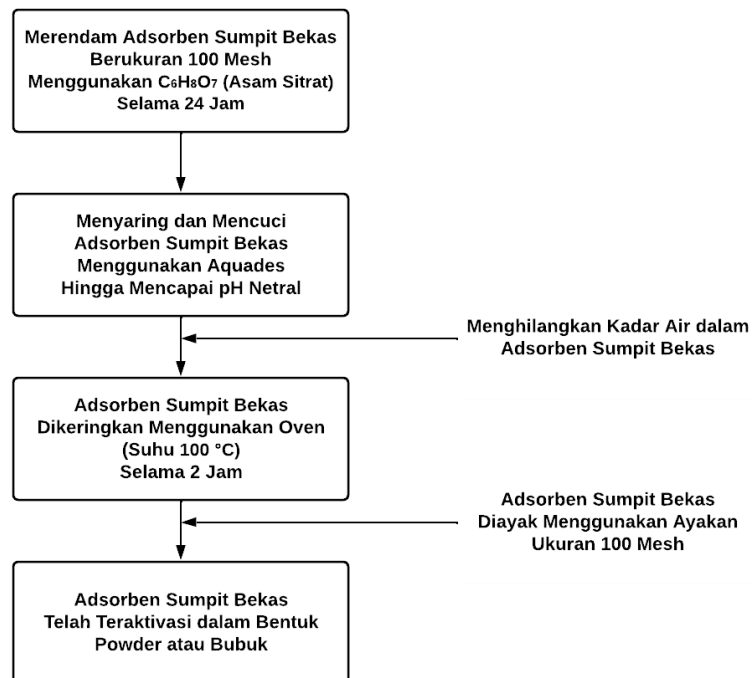
Penelitian dilakukan dengan menguji adsorben yang belum teraktivasi dan yang telah teraktivasi. Diawali dengan pembuatan adsorben yang dibuat dari bahan limbah sumpit bekas, yang diperoleh dari berbagai penjual makanan yang berlokasi di Kabupaten Sleman, Yogyakarta yang mana pada penelitian ini pengumpulan sumpit dilakukan di Warung Mie Gacoan. Preparasi dimulai dengan membersihkan sumpit bekas dengan cara dicuci lalu dijemur di bawah sinar matahari kemudian dipotong sampai ke ukuran yang kecil. Berikut diagram alir pembuatan adsorben dari sumpit bekas, dapat dilihat pada Gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Proses Pembuatan Adsorben Sumpit Bekas
Sumber: Data Primer, 2023

3.6.2 Preparasi Adsorben Sumpit Bekas Teraktivasi $C_6H_8O_7$ 0,4 M

Aktivasi adsorben sumpit bekas dilakukan menggunakan $C_6H_8O_7$ 0,4 M (Asam Sitrat). Metode aktivasi dilakukan dengan merendam limbah sumpit pada larutan $C_6H_8O_7$ 0,4 M (Asam Sitrat) selama 24 jam dengan perbandingan 1 : 10 antara 1 gram adsorben sumpit bekas dengan 10 mL larutan $C_6H_8O_7$ 0,4 M (Asam Sitrat). Selanjutnya dinetralkan menggunakan aquades hingga kondisi pH netral (5,5 sampai 7) atau pH aquades yang digunakan. Adsorben yang sudah pada kondisi netral dikeringkan menggunakan oven pada suhu $100^{\circ}C$. Setelah itu aduk sampai menjadi serbuk kembali dan/atau diayak kembali menggunakan ayakan 100 mesh. Berikut diagram alir pengaktifasian sumpit bekas menggunakan larutan $C_6H_8O_7$ 0,4 M (Asam Sitrat), dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Preparasi Adsorben Teraktivasi
Sumber: Data Primer, 2023

3.6.3 Karakteristik Adsorben

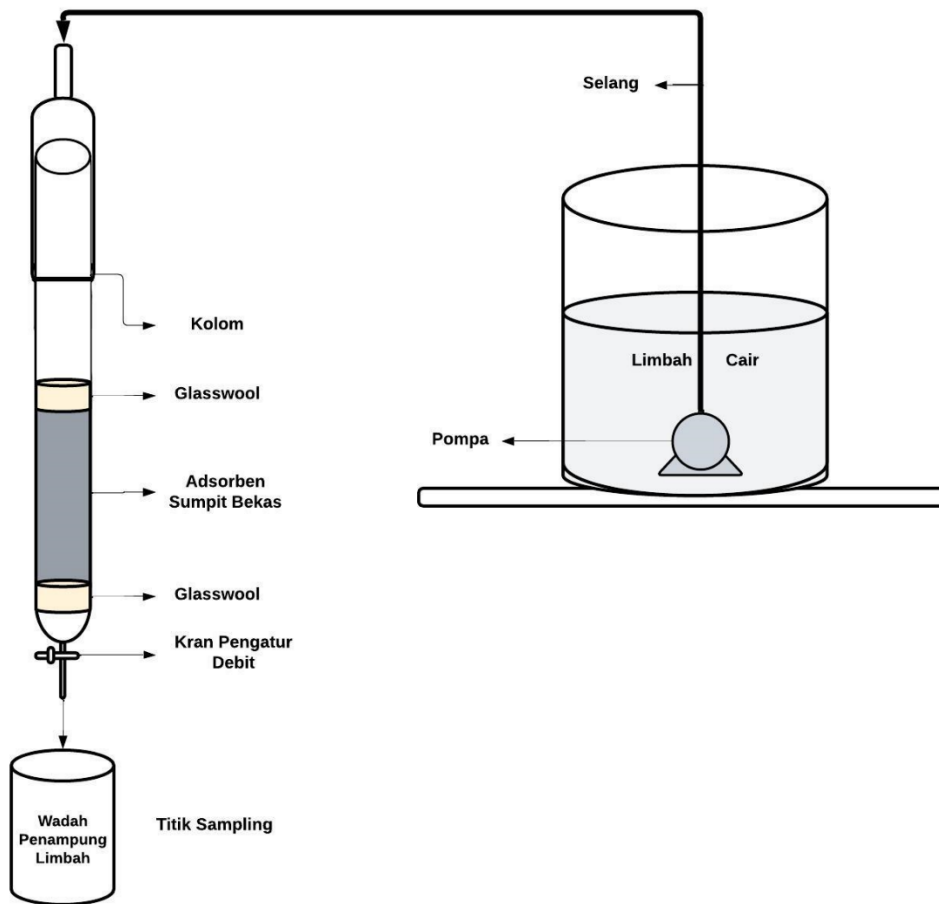
Setelah dilakukannya aktivasi kemudian dilakukan pengujian karakteristik adsorben yang telah teraktivasi dan yang tidak diaktivasi. Uji karakteristik adsorben tersebut dilakukan menggunakan 2 instrumen, yaitu *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Fuorier Transform Infrared* (FTIR). Kedua instrumen tersebut digunakan untuk mencitrakan permukaan adsorben dengan gambar perbesaran oleh pemindaian

dengan pancaran tinggi elektron dan untuk mengetahui gugus fungsi dalam partikel adsorben sumpit bekas yang telah dibuat.

3.6.4 Preparasi Rangkaian Sistem Kontinu (Kolom)

Preparasi rangkaian sistem kontinu atau reaktor sistem kontinu (kolom) diawali dengan menyiapkan alat dan bahan untuk rangkaian sistem. Alat dan bahan yang digunakan seperti buret bekas (kolom) dengan tinggi 80 cm dan diameter lingkaran luar 1,5 cm serta diameter lingkaran dalam 1,3 cm, selang, pompa aquarium, kran pengatur debit, penggaris, gunting, ember, dan wadah penampung hasil uji serta glasswool dan sebagainya. Setelah kolom dirangkai kemudian kolom dilapisi dengan glasswool pada bagian dasar kolom dan di bagian tengah adsorben serta paling atas dilapisi dengan glasswool kembali. Rancangan rangkaian desain kolom sistem kontinu dapat dilihat pada Gambar 3.4. Kolom terdiri atas selang dan kran (pengatur laju alir) yang telah diatur pada posisi tetap. Slang dihubungkan dengan kolom kaca. Selanjutnya efluen yang keluar ditampung dengan menggunakan gelas beaker.

Proses sistem kontinu yang dilakukan dalam percobaan adalah *tipe fixed bed column* dengan media adsorben dalam keadaan terendam. Kolom yang digunakan dalam proses kontinu ini sebanyak 1 buah kolom yang disusun seri dan limbah dialirkan secara gravitasi. Skema rangkaian sistem kontinu dibuat sendiri dengan beberapa alat dan bahan yang mana sistemnya sendiri dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3. 4 Skema Rangkaian Sistem Kontinu
Sumber: Data Primer, 2023

3.6.5 Penentuan Ketinggian Adsorben, Konsentrasi, pH, dan Waktu Kontak

Ketinggian adsorben, konsentrasi, pH, dan waktu kontak yang digunakan pada penelitian ini ditentukan dengan mempertimbangkan hasil dari metode batch yang mana telah dilakukan pengujian adsorpsi terlebih dahulu oleh penelitian Tugas Akhir dari Saudara Ikhwanul Habib Al Habsy yang berjudul “Pemanfaatan Limbah Sumpit Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Kadar Kadmium (Cd) Pada Limbah Cair” dengan menggunakan metode batch. Dari hasil penelitian dengan metode batch tersebut yang mana dengan mengambil pertimbangan massa adsorben optimum, konsentrasi optimum, pH optimum, serta waktu kontak optimum. Massa adsorben optimum sebesar 200 gram, konsentrasi optimum sebesar 25 mg/L, pH optimum 7 serta waktu kontak optimum adalah 120 menit atau 2 jam yang mana keadaan optimum tersebut yang akan digunakan selanjutnya pada penelitian dengan metode kontinu.

3.6.6 Penentuan dan Pengaturan Debit atau Laju Alir

Untuk menentukan dan mengatur debit aliran atau *flow rate* limbah yang akan diolah, didapatkan dengan melakukan percobaan yang kemudian dihitung dengan menggunakan rumus. Hal pertama yang dilakukan yaitu mengetahui volume yang digunakan, selanjutnya mengalirkan air dan mulai dihitung dengan stopwatch. Air dialirkan wadah yang disiapkan penuh yang selanjutnya mencatat waktu yang tepat ketika wadah sudah terpenuhi air atau batas tinggi air yang ditentukan. Waktu yang dibutuhkan air untuk memenuhi wadah ini merupakan waktu yang digunakan untuk menghitung debit dengan persamaan. Namun bisa juga memposisikan waktu sebagai variabel tetapnya sedangkan volume air sebagai variabel tidak tetap. Persamaan untuk menghitung debit atau laju alir dapat dilihat pada Persamaan 3.1 dibawah ini.

$$\text{Debit (Q)} = \frac{\text{Volume (V)}}{\text{Waktu (t)}} \quad (3.1)$$

Dimana:

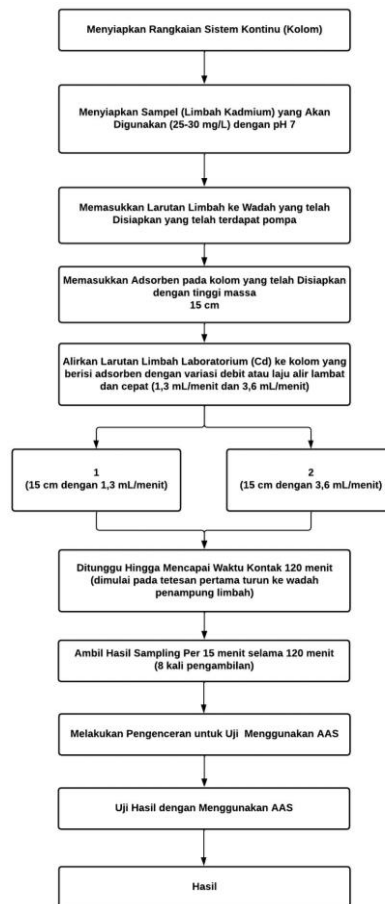
- Q = Debit (mL/menit)
- V = Volume (mL)
- t = Waktu (menit)

3.6.7 Proses Adsorpsi

Pada proses adsorpsi dilakukan dengan metode kontinu yang diawali dengan mempersiapkan rangkaian sistem kontinu (kolom) kemudian menyiapkan limbah buatan atau *artificial* larutan kadmium $[\text{Cd}(\text{NO}_3)_2]$ dengan konsentrasi 25-30 mg/L pada pH 7. Setelah itu menimbang dan mengukur tinggi massa adsorben yang telah teraktivasi dan yang tidak diaktivasi, lalu memasukkannya kedalam kolom kaca yang dilapisi kembali dengan glasswool dan selanjutnya menyalakan pompa untuk mengalirkan larutan kadmium $[\text{Cd}(\text{NO}_3)_2]$ ke dalam kolom dari atas ke bawah. Dengan waktu kontak selama 120 menit yang mana hasil sampel uji diambil 8 kali selama 120 menit (diambil setiap 15 menit) pada variasi debit yang telah ditentukan. Setelah didapatkan hasil efluen, kemudian dilakukan pengujian dengan instrumen AAS (*Atomic Adsorption Spectrophotometry*) untuk mengetahui konsentrasi akhir larutan limbah yang telah diadsorpsi.

3.6.8 Penentuan Debit atau Laju Alir Optimum

Adapun penentuan debit atau laju alir optimum dilakukan dengan mengalirkan air limbah yang mengandung kadmium (Cd) dalam kondisi setimbang dengan konsentrasi 25-30 mg/L yang didapat dari pengenceran limbah buatan, limbah yang digunakan merupakan limbah buatan atau *artificial* dengan membuat larutan induk kadmium [$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$] 1000 mg/L. Penentuan tinggi massa adsorben optimum dan debit optimum menggunakan pH optimum yakni 7 yang mana merupakan pH netral, digunakan pH netral karena menurut penelitian Hegazi (2013) yang menyatakan bahwa pH optimum untuk penyerapan logam berat adalah pH 6-7 [26][30]. Dengan menggunakan larutan initial dan larutan kontrol sebagai pembanding. Varasi debit atau laju alir diantaranya 1,3 mL/menit (lambat) dan 3,6 mL/menit (cepat) dengan tinggi massa adsorben 15 cm (3,1 gram). Tahapan pelaksanaan penentuan tinggi adsorben optimum dan debit optimum dapat dilihat pada Gambar 3.5 dibawah ini.

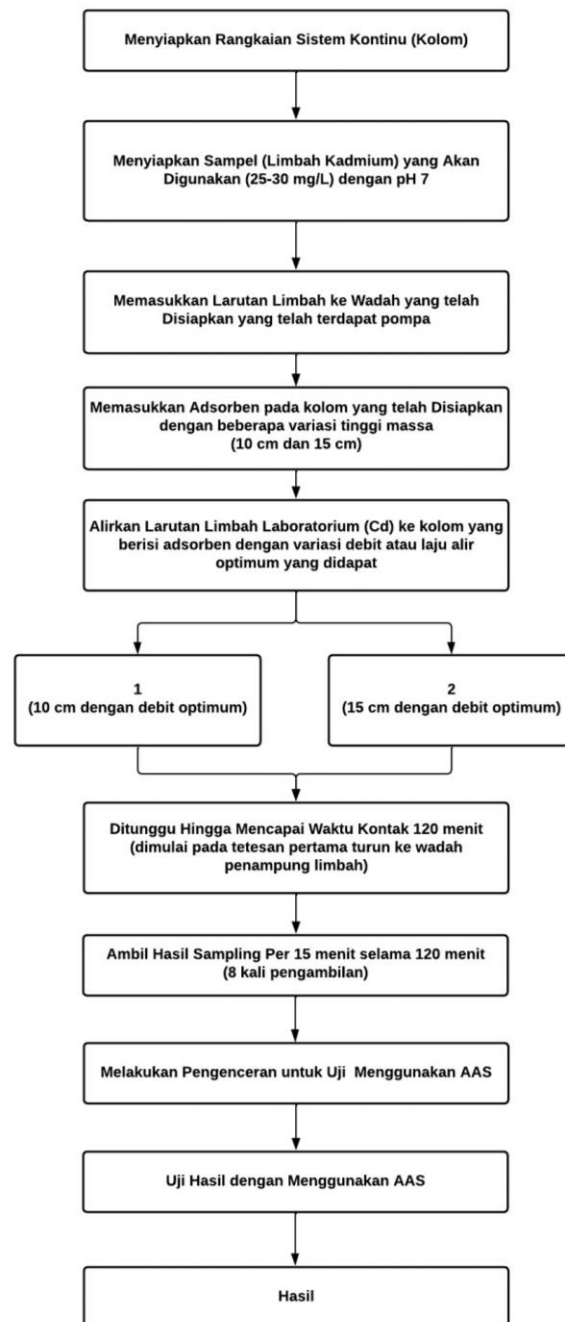


Gambar 3. 5 Diagram Alir Penentuan Debit atau Laju Alir Optimum (Tidak Teraktivasi dan Teraktivasi)

Sumber: Data Primer, 2023

3.6.9 Penentuan Tinggi Adsorben Optimum

Adapun penentuan tinggi massa adsorben optimum dilakukan dengan mengalirkan air limbah yang mengandung kadmium (Cd) dalam kondisi setimbang dengan konsentrasi 25-30 mg/L yang didapat dari pengenceran limbah buatan, limbah yang digunakan merupakan limbah buatan atau *artificial* dengan membuat larutan induk kadmium [$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$] 1000 mg/L. Penentuan tinggi massa adsorben optimum dan debit optimum menggunakan pH optimum yakni 7 yang mana merupakan pH netral, digunakan pH netral karena menurut penelitian Hegazi (2013) yang menyatakan bahwa pH optimum untuk penyerapan logam berat adalah pH 6-7 [26][30]. Adsorpsi pada pH rendah seringkali menghasilkan persentase ion Cd yang tersisihkan rendah, hal ini terjadi karena pada pH rendah, ion H^+ berkompetisi dengan kation Cd^{2+} untuk membentuk ikatan dengan gugus aktif adsorben [31]. Dengan menggunakan larutan initial dan larutan kontrol sebagai pembandingan. Variasi tinggi massa adsorben yang digunakan yakni 10 cm (3,1 gram) dan 15 cm (4,8 gram) dengan debit atau laju alir optimum yang didapat dari penentuan debit optimum. Tahapan pelaksanaan penentuan tinggi massa adsorben optimum dan debit optimum dapat dilihat pada Gambar 3.6 dibawah ini.



Gambar 3. 6 Diagram Alir Penentuan Tinggi Massa Adsorben Optimum (Tidak Teraktivasi dan Teraktivasi)
 Sumber: Data Primer, 2023

3.6.10 Penentuan Kurva Trobosan (*Breakthrough Curve*)

Setelah diketahui kapasitas adsorben yang paling optimal, selanjutnya dilakukan pembuatan *breakthrough curve* atau kurva terobosan yang mana dibuat dengan mengalirkan larutan buatan limbah kadmium (Cd) ketinggian adsorben optimum dan

debit optimum dengan waktu tertentu sampai adsorben jenuh. Pembuatan *breakthrough curve* atau kurva terobosan digunakan untuk melihat seberapa cepat adsorben dari sumpit bekas dapat jenuh dan tidak dapat dipakai lagi atau untuk menunjukkan profil kejenuhan adsorben tersebut. Fungsi kurva terobosan sendiri itu untuk mengetahui titik *breakthrough* (*break point*) dan titik *exhaust* (*exhaust point*). Kurva terobosan merupakan kurva yang menggambarkan suatu rentang kondisi terjadinya penurunan drastis jumlah adsorbat yang dapat diserap oleh adsorben. Kondisi penurunan jumlah adsorbat yang teradsorpsi ini terjadi sebelum mengalami kesetimbangan adsorpsi [32]. Kesetimbangan adsorpsi terjadi ketika larutan dikontakkan pada adsorben, dan molekul-molekul adsorbat berpindah dari larutan ke padatan hingga konsentrasi adsorbat pada larutan dan padatan dalam kondisi setimbang. Data kesetimbangan adsorpsi yang dihasilkan pada suhu konstan disebut adsorpsi isoteremis. Pengukuran kesetimbangan adsorpsi dapat dilakukan dengan pengukuran konsentrasi adsorbat dalam larutan pada awal dan kesetimbangan [24]. Kurva terobosan sendiri menggambarkan fenomena yang terjadi selama proses adsorpsi yang mana dengan nilai x adalah waktu dan nilai y adalah konsentrasi output yang dihitung dengan pengujian konsentrasi pada waktu tertentu.

3.6.11 Model Kinetika Sistem Adsorpsi

Memprediksi konsentrasi dari outlet cukup sulit, kapasitas maksimum isian dari kolom distilasi diperlukan di dalam perancangan. Model Thomas ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan itu. Model Thomas adalah salah satu model yang umum pada teori kinerja kolom distilasi. Modelnya dapat dilihat pada Persamaan 3.2 dibawah ini [21][33].

$$\ln \left[\frac{C_o}{C_t} - 1 \right] = \frac{K_{Th} q_o x}{Q} - K_{Th} C_o t \quad (3.2)$$

Dimana:

- K_{Th} : Konstanta Thomas (L/mg/menit)
- q_o : Kapasitas adsorpsi (mg/gr)
- X : Massa adsorben (gr)
- Q : Laju alir (L/menit)
- C_o : Konsentrasi awal (mg/L)
- t : Waktu (menit)
- C_t : Konsentrasi akhir (mg/L)

Model Yoon-Nelson adalah model yang relatif sederhana yang mengasumsikan bahwa laju pengurangan penyerapan untuk setiap molekul adsorbat sebanding dengan probabilitas adsorpsi dan *breakthrough* adsorbat ke adsorben [22]. Bentuk linier persamaan Model Yoon-Nelson dapat dilihat pada Persamaan 3.3 dibawah ini.

$$\ln \left[\frac{C_t}{C_0 - C_t} \right] = k_{YN} \cdot t - \tau \cdot k_{YN} \quad (3.3)$$

Dimana:

- k_{YN} : Konstanta kinetik Yoon-Nelson (mL/menit)
- τ : Waktu yang diperlukan untuk mencapai 50% breakthrough adsorbat (menit)
- t : Waktu pengambilan sampel (menit)
- Plot nilai $\ln (C_t/(C_0-C_t))$ terhadap t membentuk garis lurus dengan slope menunjukkan nilai k_{YN} dan intercept menunjukkan nilai $-\tau k_{YN}$

Berdasarkan nilai τ yang dihasilkan, maka kapasitas adsorpsi kolom pada model Yoon-Nelson (q_{YN} , mg/g) dapat ditentukan dengan Persamaan 3.4 berikut.

$$q_{YN} = \frac{q_{total}}{m} = \frac{C_0 v \tau}{1000m} \quad (3.4)$$

Model Adams-Bohart mengasumsikan bahwa laju adsorpsi sebanding dengan kapasitas residu padatan dan konsentrasi adsorben [22]. Gambaran bagian awal dari kurva *breakthrough* dapat cocok dengan menggunakan model ini. Bentuk linier persamaan Model Adam and Bohart dapat dilihat pada Persamaan 3.5 sebagai berikut.

$$\ln \left[\frac{C_0}{C_t} - 1 \right] = k_{AB} N_0 \frac{Z}{F} - k_{AB} C_0 t \quad (3.5)$$

Dimana:

- k_{AB} : Konstanta Adam and Bohart (mL/mg/menit)
- N_0 : Kapasitas adsorpsi maksimum volumetrik (mg/mL)
- Z : Tebal adsorben (cm)
- F : Laju alir (mL/menit)
- C_0 : Konsentrasi awal (mg/L)
- t : Waktu (menit)
- C_t : Konsentrasi akhir (mg/L)

Konstanta kinetik (k_{AB}) dan kapasitas adsorpsi kolom (N_0) ditentukan dari memasukkan $\ln C_t/C_0$ terhadap t , dengan sebagai slope dan intersept. Berdasarkan nilai

No yang dihasilkan, maka kapasitas adsorpsi kolom pada model Adam and Bohart (q_{AB} , mg/g) dapat ditentukan dengan Persamaan 3.6 berikut [22].

$$q_{AB} = \frac{N_0 V_{bed}}{m} \frac{N_0}{\rho} \quad (3.6)$$

Dimana:

- V_{bed} : Volume adsorben (mL)
- ρ : Densitas adsorben. (g/mL)

3.6.12 Analisis Efisiensi Kemampuan Adsorben

Analisis efisiensi kemampuan adsorben dilakukan setelah semua rangkaian pengujian adsorpsi dilakukan yang mana telah melakukan uji hasil menggunakan AAS. Setelah diketahui konsentrasi awal dan akhir dari logam Kadmium (Cd) yang diadsorpsi dengan adsorben sumpit bekas, dengan variasi ketinggian adsorben optimum dan debit atau laju alir optimum, maka dilanjutkan dengan melakukan analisis efisiensi kemampuan adsorben untuk menyerap logam Cd dalam konsentrasi yang telah ditentukan berdasarkan studi literatur. Efisiensi penyisihan Cd dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{C_0 - C_a}{C_0} \times 100 \quad (3.7)$$

Dimana:

- C_0 = Konsentrasi awal logam (mg/L)
- C_a = Konsentrasi akhir logam (mg/L)

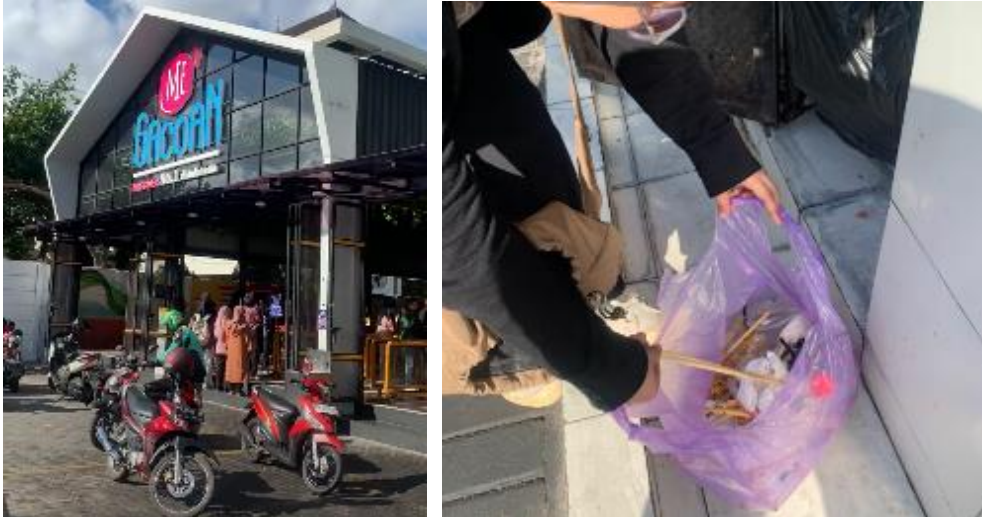
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penjelasan Umum

Penelitian kali ini dilakukan agar dapat mengetahui apakah sumpit bekas berbahan bambu dapat digunakan sebagai bahan baku adsorben alami. Pada penelitian ini juga dibandingkan antara adsorben yang belum diaktivasi dengan yang teraktivasi dengan asam sitrat yang dilihat dari luas permukaan adsorben yang dihasilkan. Dengan melihat karakteristik adsorbennya menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Adsorben pada penelitian ini digunakan sebagai pengurang kadar logam berat Kadmium (Cd) dalam air (*artificial*) dengan kemampuan penjerapan oleh adsorben dari sumpit bekas tersebut. Dengan menggunakan metode kontinu yang dijalankan dengan menggunakan reaktor sistem kontinu dalam bentuk kolom yang mana dengan konsentrasi 20-30 mg/L dengan variasi ketinggian adsorben dan laju alir atau debit tertentu untuk mendapatkan keadaan yang optimum. Hasil yang didapat dilanjutkan dengan menggunakan metode pengujian dengan instrumen *Atomic Absorption Spectrophotometri* (AAS) sehingga mendapat keadaan optimum dan kurva terobosan serta diolah dengan model Thomas, Yoon-Nelson, dan Adam-Bohart.

4.2 Persiapan Adsorben Sumpit Bekas

Pada tahap pertama, dilakukan dengan persiapan bahan adsorben dengan menyiapkan sumpit bekas berbahan bambu, pengumpulan sumpit bekas dilakukan di warung makan gacoan pada Gambar 4.1. Setelah terkumpul, kemudian sumpit bekas tersebut kemudian dicuci menggunakan air biasa, sumpit bekas dicuci lalu direndam sambil dihilangkan kotoran yang menempel dengan disikat dengan kain lap atau sikat agar bersih secara merata, dapat dilihat pada Gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4. 1 Mengumpulkan Sumpit Bekas
Sumber: Data Primer, 2023



Gambar 4. 2 Proses Pencucian Sumpit Bekas
Sumber: Data Primer, 2023

Setelah dibersihkan dengan cara dicuci, kemudian proses selanjutnya adalah dijemur dibawah sinar matahari sampai kering kurang lebih 3 hari dan dioven untuk mempermudah proses memperkecil bagiannya dengan diserut dan diblender agar halus, dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4. 3 Sumpit Bekas Dijemur
Sumber: Data Primer, 2023



Gambar 4. 4 Sumpit Bekas Dioven
Sumber: Data Primer, 2023

Setelah bambu selesai dijemur selanjutnya dilakukan proses memperkecil bagian-bagiannya dengan cara dipotong dan diserut dengan menggunakan pisau seperti pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4. 5 Proses Penyerutan (Diperkecil)
Sumber: Data Primer, 2023

Setelah proses penyerutan kemudian dilakukan penghalusan dengan menggunakan blender sampai halus lalu diayak dengan disaring menggunakan saringan ukuran 100 mesh. Semakin kecil ukuran adsorben sumpit bambu maka semakin besar luas permukaan adsorben sumpit bambunya yang mana berpengaruh pada kemampuan penjerapan logam Kadmium (Cd) oleh adsorben dikarenakan pori yang terbentuk semakin banyak sehingga penjerapan semakin baik [34]. Tahapan pengalusan dengan blender dilakukan beberapa kali (Gambar 4.6) sampai semua sumpit bekas halus dan terayak di saringan 100 mesh (Gambar 4.7) yang kemudian adsorben sumpit bekas siap digunakan, dapat dilihat pada Gambar 4.8 dibawah ini.



Gambar 4. 6 Proses Penghalusan Sumpit Bekas (Blender)
Sumber: Data Primer, 2023



Gambar 4. 7 Proses Penyaringan Saringan 100 mesh
Sumber: Data Primer, 2023



Gambar 4. 8 Bahan Adsorben Sumpit Bekas Siap Digunakan
Sumber: Data Primer, 2023

4.3 Adsorben Sumpit Bekas Tanpa Aktivasi

Adsorben sumpit bekas tanpa aktivasi dapat langsung dikeringkan dengan cara dioven untuk menghilangkan kadar air yang masih terdapat didalamnya. Pengeringan dilakukan untuk proses penghilangan kandungan air yang terdapat dalam bahan baku sumpit bekas bambu dengan tujuan untuk menyempurnakan proses adsorben dengan cara memanaskannya dalam oven dengan suhu 100°C. Berdasarkan penelitian untuk menguji sifat mekanika bambu menurut ISO 22157 (2004) kadar air bambu yang harus dihilangkan berkisar $\pm 12\%$ air didalam bambu tersebut serta untuk mengamati karakteristik adsorben dibutuhkan adsorben yang kering [35]. Sebelum digunakan langsung ke dalam kolom sebelumnya dilakukan pencucian atau pembilasan adsorben

menggunakan aquades agar zat warnanya hilang dan menetralkan pH adsorben sumpit bekas yang tidak di aktivasi. Proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 serta Gambar 4.11 merupakan sumpit bekas tanpa aktivasi yang siap digunakan seperti dibawah ini.



Gambar 4. 9 Bahan Adsorben Sumpit Bekas Dicuci dengan Aquades
Sumber: Data Primer, 2023



Gambar 4. 10 Bahan Adsorben Sumpit Bekas Dioven
Sumber: Data Primer, 2023



Gambar 4. 11 Bahan Adsorben Sumpit Bekas Tanpa Aktivasi Siap Digunakan
Sumber: Data Primer, 2023

4.4 Adsorben Sumpit Bekas Teraktivasi

Untuk adsorben sumpit bekas teraktivasi dibuat dengan melakukan aktivasi pada sebagian adsorben sumpit bekas yang sudah jadi dengan menggunakan $C_6H_8O_7$ 0,4 M (Asam Sitrat) selama 24 jam dengan perbandingan 1 : 10 antara 1 gram adsorben sumpit bekas dengan 10 mL larutan $C_6H_8O_7$ 0,4 M (Asam Sitrat) dengan cara direndam. Kemudian dibilas menggunakan quades sampai pH netral atau pH aquades yang digunakan. Dilakukannya penetralan agar menghindari terjadinya pengendapan dan korosi pada ada adsorben yang mana berpengaruh pada berkurangnya kualitas adsorben dalam penjerapan logam Kadmium (Cd). Menurut penelitian aktivasi menggunakan asam paling umum dilakukan dan juga terbukti sangat efektif dalam meningkatkan kemampuan penjerapan oleh adsorben dengan upaya dapat menambah gugus fungsinya untuk mengikat ion-ion logam [36]. Setelah dilakukan perendaman dan pembilasan selanjutnya dilakukan pengeringan kadar air dengan oven. Proses aktivasi adsorben sumpit bekas dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan pada Gambar 4.13 menunjukkan adsorben sumpit bekas teraktivasi berikut ini.



Gambar 4. 12 Proses Aktivasi Dengan $C_6H_8O_7$ 0,4 M (Asam Sitrat)

Sumber: Data Primer, 2023



Gambar 4. 13 Adsorben Teraktivasi Siap Digunakan

Sumber: Data Primer, 2023

4.5 Reaktor Sistem Kontinu (Kolom)

Penelitian ini menggunakan reaktor sistem kontinu yang berbentuk kolom, pada sistem kontinyu dengan kolom, larutan dikontakkan dengan adsorben sehingga ukuran kolom mempengaruhi hasil adsorpsi yang optimal. Kolom yang digunakan yakni buret bekas yang diletakkan pada statif dengan tinggi kolom 80 cm dan diameter lingkaran luar 1,5 cm serta diameter lingkaran dalam 1,3 cm yang ujungnya dipotong dan kemudian pada ujungnya diberikan kran kecil untuk mengatur debit aliran air limbahnya. Sebelum dilakukannya pengujian, sebelumnya dilakukan percobaan dengan mengalirkan aquades ke dalam kolomnya setelah itu baru dioperasikan untuk pengujian.

Larutan Cd pada reaktor ini dialirkan dengan menggunakan pompa aquarium kecil yang mana dialirkan dengan bantuan selang kecil menuju ke kolom kaca yang telah disiapkan. Sebelumnya kolom disiapkan dengan pengisian adsorben sumpit bekas yang pada sisi bawah dan atasnya ditahan dengan glasswool. Adsorben dan glasswool dipersiapkan dengan ditimbang agar sama berat sebelum dimasukkan ke dalam kolom dapat dilihat pada Gambar 4.14. Setelah kolom diisi dengan adsorben dan glasswool yang telah ditimbang, selanjutnya proses pengaliran larutan Cd dapat dilihat pada Gambar 4.15 dibawah ini. Pada proses ini, larutan Cd dialirkan dari atas ke bawah secara gravitasi dengan debit 3,6 mL/menit (cepat) dan 1,3 mL/menit (lambat) dan kemudian ditampung di gelas beaker.



Gambar 4. 14 Proses Penimbangan Glasswool dan Adsorben Sumpit Bekas
Sumber: Data Primer, 2023



Gambar 4. 15 Reaktor Sistem Kontinu (Kolom)
Sumber: Data Primer, 2023

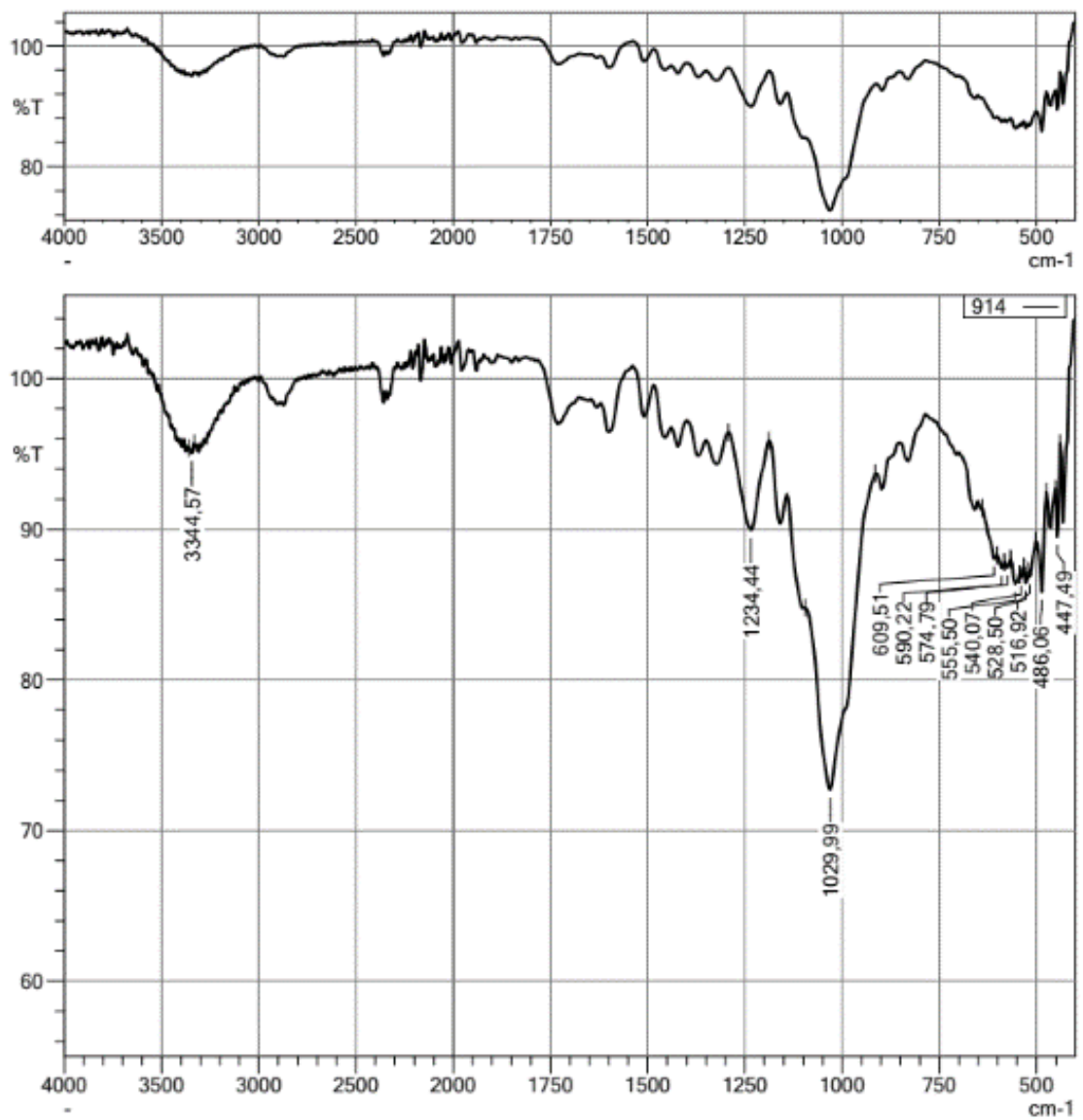
4.6 Karakteristik Adsorben

4.6.1 FTIR (Fourier Transform InfraRed)

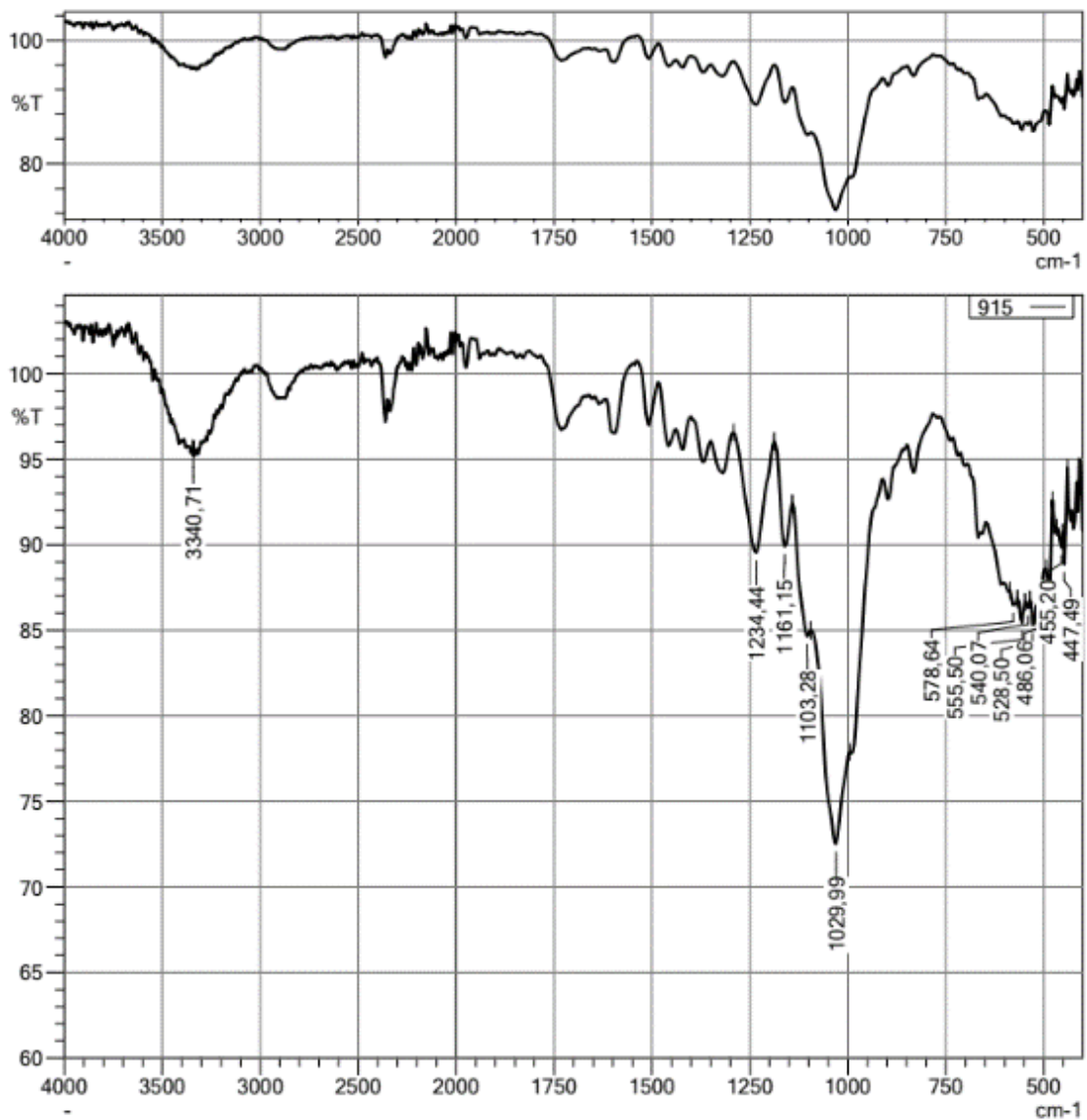
FTIR (*Fourier Transform InfraRed*) merupakan instrumen yang digunakan untuk mengetahui gugus kimia yang terdapat pada adsorben secara kualitatif. Pada penelitian ini FTIR digunakan untuk membaca dan mengidentifikasi gugus fungsi dalam senyawa yang terdapat dalam material adsorben sumpit bekas. Hasil pembacaan FTIR disini difokuskan pada gugus fungsi keberadaan nilai selulosa yang terdapat pada adsorben sumpit bekas yang mana kandungan selulosa tersebut dapat berperan sebagai penyerap logam berat Kadmium (Cd).

Selulosa memiliki gugus fungsi yang dapat berikatan dengan ion logam yaitu gugus fungsi karbonil (C-O) dan hidroksil (O-H). Gugus fungsi OH ini banyak beerada dan terkandung pada bahan yang mempunyai kandungan selulosa didalamnya. Sumpit bekas berbahan bambu memiliki kandungan selulosa sebesar 42,4% sampai 53,6 % sehingga diduga akan menghasilkan papan partikel dengan kualitas baik [12]. Adsorpsi Cd terjadi dikarenakan adanya reaksi dan interaksi antara adsorben sumpit bekas dengan logam Cd sehingga membentuk ikatan kimia yang disebabkan adanya kandungan selulosa pada sumpit bekas yang berbahan bambu tersebut. Mekanisme Adsorpsi yang terjadi adalah gugus O-H dan C-O yang bermuatan negatif berikatan dengan dengan ion logam Cd yang bermuatan positif maka akan terjadi tarik menarik dengan sehingga logam Cd yang terkandung dalam larutan akan terserap [35].

Pada penelitian ini digunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung pada adsorben sumpit bekas berbahan bambu yang belum diaktivasi dan yang telah teraktivasi. Pengujian FTIR menghasilkan grafik antara panjang gelombang (cm^{-1}) pada sumbu x dan persentase (%) transmittan pada sumbu y. Pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17 dapat dilihat hasil dari pembacaan gugus fungsi dari adsorben sebelum dilakukannya proses adsorpsi.



Gambar 4. 16 Hasil Uji FTIR Adsorben Sumpit Bekas Tanpa Aktivasi
Sumber: Data Primer, 2023



Gambar 4. 17 Hasil Uji FTIR Adsorben Sumpit Bekas Teraktivasi
Sumber: Data Primer, 2023

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat hasil analisis gugus fungsi berdasarkan gambar grafik hasil uji FTIR pada grafik di Gambar 4.16 dan Gambar 4.17 yang dapat mengidentifikasi titik puncak yang spesifik dengan rincian klasifikasi pada Tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4. 1 Interpretasi Gugus Fungsi Adsorben Sumpit Bekas Tanpa Aktivasi dan Teraktivasi

| Puncak | Sumpit Bekas Tanpa Aktivasi (cm ⁻¹) | Sumpit Bekas Teraktivasi (cm ⁻¹) | Panjang Gelombang (cm ⁻¹) | Gugus Fungsi |
|--------|---|--|---------------------------------------|---------------------|
| A | 3344,57 | 3340,71 | 3200 - 3600 | O – H |
| B | 1234,44 | 1234,44 | 1240 - 1070 | C – O – C |
| C | - | 1161,15 | 1200 - 1225 | C – O – C |
| D | - | 1103,28 | 1030 - 1120 | C – NH ₂ |
| E | 1029,99 | 1029,99 | 1030 - 1120 | C – NH ₂ |

(Sumber: Data Primer, 2023)

Dari grafik hasil uji diatas dapat diidentifikasi titik puncak serapan yang spesifik. Pada adsorben sumpit bekas tanpa aktivasi dan adsorben teraktivasi terdapat gugus hidroksil (O – H) pada bilangan 3344,57 cm⁻¹ dan 3340,71 cm⁻¹. Selain itu, terdapat gugus karbonil (C – O – C) pada adsorben sumpit bekas tanpa aktivasi dengan bilangan 1234,44 cm⁻¹ dan adsorben teraktivasi dengan bilangan 1234,44 cm⁻¹ dan 1161,15 cm⁻¹. Selain itu, terdapat gugus amina (C – NH₂) pada adsorben sumpit bekas tanpa aktivasi dengan bilangan 1029,99 cm⁻¹ dan adsorben teraktivasi dengan bilangan 1103,28 cm⁻¹ dan 1029,99 cm⁻¹. Pada dua jenis adsorben sumpit bekas tanpa aktivasi dan teraktivasi, berdasarkan Tabel 4.1 diketahui bahwa terdapat persamaan dan perbedaan beberapa bilangan gelombang antara adsorben sumpit bekas sebelum dan sesudah aktivasi. Pada sumpit bekas sebelum aktivasi, ditemukan gugus hidroksil (O – H) dan gugus karbonil (C – O – C) yang mana pada adsorben sumpit bekas teraktivasi ditemukan juga gugus hidroksil (O – H) dan terdapat gugus karbonil (C – O – C), panjang gelombang ini menunjukkan daerah serapan untuk gugus fungsi O – H dan C – O.

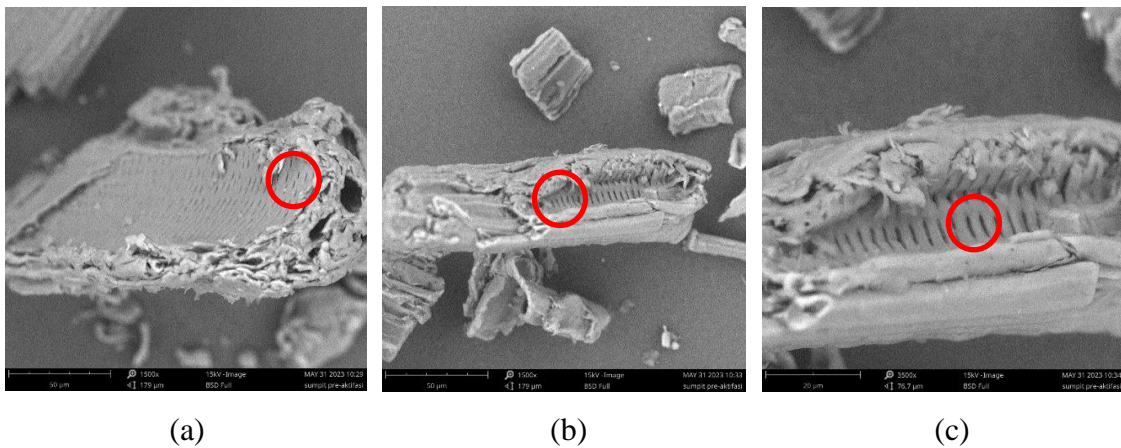
Namun terdapat perbedaan pada jumlah ikatan tersebut yang mana ikatan pada adsorben sumpit bekas tanpa aktivasi lebih sedikit dibandingkan adsorben teraktivasi yang menunjukkan kemampuan interaksi antara adsorben sumpit bekas teraktivasi dengan logam Cd lebih baik (meningkatkan kapasitas adsorpsi) sehingga membentuk ikatan kimia yang disebabkan adanya kandungan selulosa pada sumpit bekas teraktivasi yang berbahan bambu tersebut. Aktivasi menggunakan asam sitrat akan mengikat sel selulosa dengan gugus karboksil dari asam sitrat itu sendiri [25].

Dari pembacaan FTIR diketahui bahwa terdapat gugus fungsi karbonil (C-O) dan hidroksil (O – H) kedua adsorben sebelum dan setelah aktivasi (Tabel 4.1) yang mana

didapatkan hasil yang tidak jauh berbeda, namun nilai panjang gelombang pada puncak yang menunjukkan nilai keberadaan gugus fungsi O – H dan C – O pada adsorben sumpit bekas teraktivasi lebih baik, ini dapat dapat memungkinkan bahwa gugus fungsi tersebut dapat lebih baik berikatan dengan ion Cd sehingga proses penyerapan atau adsorpsi menjadi lebih optimum.

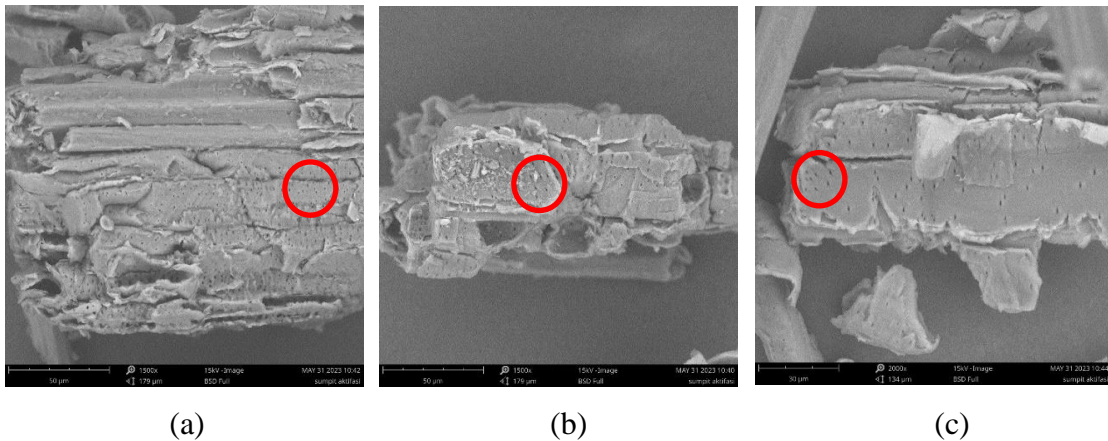
4.6.2 SEM (Scanning Electron Microscope)

SEM (*Scanning Electron Microscope*) merupakan instrumen yang digunakan untuk mengetahui gambaran permukaan adsorben sumpit bekas. Adsorben sumpit bekas dibaca menggunakan SEM pada perbesaran 1500 kali sampai 3500 kali. Permukaan adsorben sumpit bekas 100 mesh yang belum diaktivasi dapat dilihat pada Gambar 4.18 dan untuk permukaan adsorben sumpit bekas yang telah teraktivasi dapat dilihat pada Gambar 4.19 dibawah ini.



Gambar 4. 18 (a) Permukaan Adsorben Sumpit Bekas Tanpa Aktivasi Perbesaran 1500 kali (b) Permukaan Adsorben Sumpit Bekas Tanpa Aktivasi Perbesaran 1500 kali (c) Permukaan Adsorben Sumpit Bekas Tanpa Aktivasi Perbesaran 3500 kali

Sumber: Data Primer, 2023



Gambar 4. 19 (a) Permukaan Adsorben Sumpit Bekas Teraktivasi Perbesaran 1500 kali (b) Permukaan Adsorben Sumpit Bekas Teraktivasi Perbesaran 1500 kali (c) Permukaan Adsorben Sumpit Bekas Teraktivasi Perbesaran 2000 kali

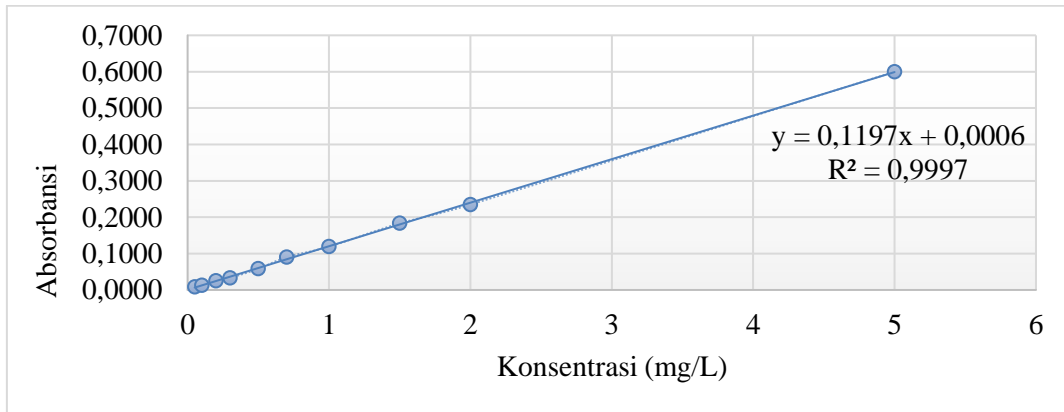
Sumber: Data Primer, 2023

Jika dilihat dari Gambar 4.18 dan Gambar 4.19 pada perbesaran 1500 kali, dapat terlihat pori pada adsorben tersebut. Gambar lingkaran merah menunjukkan adanya pori pada adsorben sumpit bekas. Dari kedua gambar tersebut dapat dilihat perbedaan antar pori adsorben yang belum diaktivasi dengan yang teraktivasi yang mana terlihat perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Namun ada beberapa perbedaan yang mana pori yang terbentuk pada adsorben belum diaktivasi lebih besar dan tidak terlalu banyak serta tidak terlalu bersih sedangkan pori pada adsorben teraktivasi lebih kecil dan banyak merata serta lebih bersih dari pada sebelum aktivasi. Dengan adanya aktivasi dapat efektif dalam membentuk pori yang banyak dan teratur pada permukaan adsorben. Proses aktivasi tidak hanya berpengaruh pada menguapnya material non-karbon, melainkan juga cukup efektif dalam membentuk pori yang cukup banyak dan teratur pada permukaan adsorben [34]. Pori yang banyak, merata, teratur, dan bersih yang menyerap ion logam Cd serta mempengaruhi optimasi penyerapan ion logam Cd pada proses adsorpsi.

4.6.3 Larutan Standar Kadmium (Cd)

Pembuatan larutan standar Kadmium (Cd) dibuat dengan menggunakan larutan induk yang dibuat dengan bubuk Kadmium Nitrat $[Cd(NO_3)_2]$ yang dilarutkan dengan aquades mencapai konsentrasi 1000 ppm. Larutan standar yang telah dibuat memiliki hasil koefisien mendekati 1 yang berarti adanya garis lurus yang linier pada rentang konsentrasi yang dibuat. Larutan standar yang dibuat dapat mengukur konsentrasi dengan rentang 0,05 – 5 ppm. Hasil adsorbansi larutan dapat ditunjukkan pada kurva kalibrasi

larutan standar yang memperlihatkan hubungan antara konsentrasi larutan dengan absorbansi terukur. Berdasarkan hasil kalibrasi, larutan Cd memiliki nilai $R^2 = 0,9997$ dengan persamaan regresi linier $y = 0,1197x + 0,0006$ dengan kurva kalibrasi pada Gambar 4.20 dibawah ini.



Gambar 4. 20 Kurva Kalibrasi Larutan Standar Cd
Sumber: Data Primer, 2023

4.7 Uji Adsorpsi

4.7.1 Uji Variasi Debit atau Laju Alir Optimum

Uji adsorpsi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan adsorben sumpit bekas tanpa aktivasi dan teraktivasi. Uji variasi debit dilakukan untuk mengetahui debit yang tepat untuk menyerap logam Kadmium (Cd) dan mengetahui keadaan optimum debit atau laju alir optimum. Uji variasi debit dilakukan dengan 2 variasi debit yakni debit atau laju alir 1,3 mL/menit dan 3,6 mL/menit (lambat dan cepat) dengan ketinggian adsorben yang digunakan 15 cm. Variasi debit tersebut dioperasikan ke dalam kolom kontinu dengan konsentrasi larutan Kadmium (Cd) yang digunakan 25-30 mg/L pada pH 7 yang mana pengondisian pH dilakukan dengan menambahkan larutan yang dibuat dari larutan HNO₃ pekat (Asam Nitrat) dan larutan NaOH 0,1 N. Kemudian larutan Kadmium (Cd) tersebut dialirkan dengan pompa pada kolom kontinu (metode kontinu) dengan waktu kontak 120 menit dengan cara ditampung pada gelas beaker yang selanjutnya diambil per 15 menit sekali (8 kali pengambilan) untuk diuji. Setelah sampel uji ditampung kemudian akan dilakukan uji konsentrasi dengan menggunakan instrumen AAS dengan larutan standar yang telah dibuat. Pembacaan hasil uji AAS dan efisiensi % removal tertinggi pada uji variasi debit dengan adsorben sumpit bekas tanpa aktivasi dan teraktivasi dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4. 2 Data Variasi Debit atau Laju Alir Adsorben Tanpa Aktivasi

| Waktu Pengambilan ke (menit) | Debit (mL/menit) | Tinggi Adsorben (cm) | pH | Cin (mg/L) | Cef (mg/L) | Cterserap (mg/L) | Efisiensi % Removal |
|------------------------------|------------------|----------------------|----|------------|------------|------------------|---------------------|
| 15 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 3,8 | 25,8 | 87,2 |
| 30 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 6 | 23,6 | 79,7 |
| 45 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 3,6 | 26 | 87,8 |
| 60 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 5,4 | 24,2 | 81,8 |
| 75 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 4,2 | 25,4 | 85,8 |
| 90 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 5 | 24,6 | 83,1 |
| 105 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 12,4 | 17,2 | 58,1 |
| 120 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 12,6 | 17 | 57,4 |
| 15 | 3,6 | 15 | 7 | 29,6 | 11 | 18,6 | 62,8 |
| 30 | 3,6 | 15 | 7 | 29,6 | 9,6 | 20 | 67,6 |
| 45 | 3,6 | 15 | 7 | 29,6 | 9,6 | 20 | 67,6 |
| 60 | 3,6 | 15 | 7 | 29,6 | 6,6 | 23 | 77,7 |
| 75 | 3,6 | 15 | 7 | 29,6 | 9 | 20,6 | 69,6 |
| 90 | 3,6 | 15 | 7 | 29,6 | 9,4 | 20,2 | 68,2 |
| 105 | 3,6 | 15 | 7 | 29,6 | 10,2 | 19,4 | 65,5 |
| 120 | 3,6 | 15 | 7 | 29,6 | 12,8 | 16,8 | 56,8 |

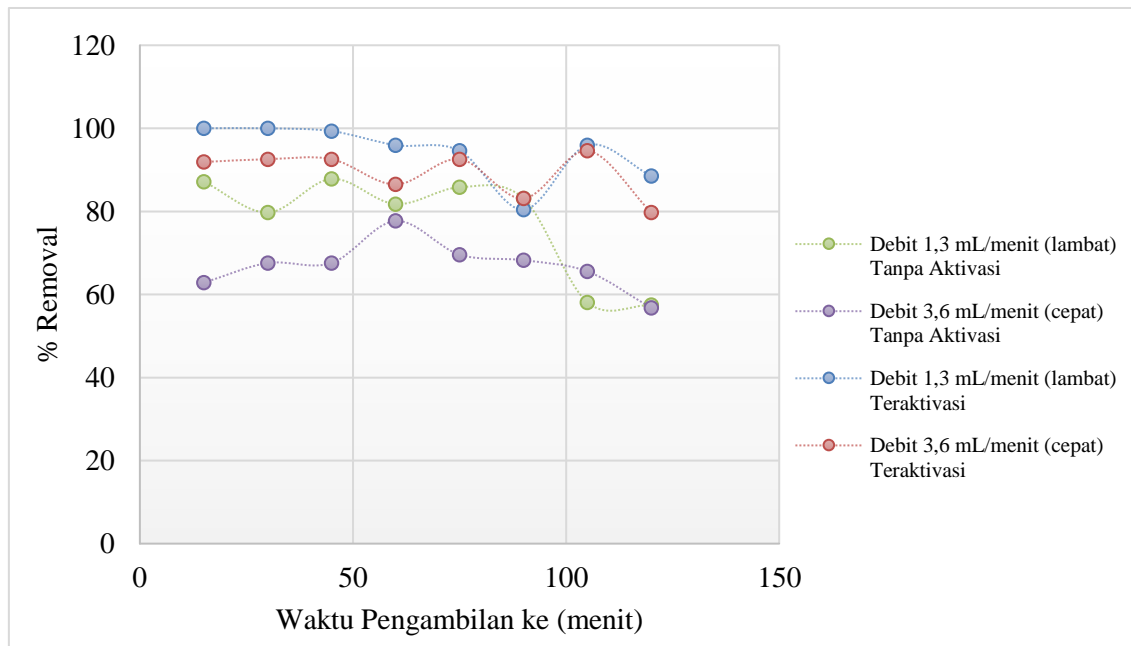
(Sumber: Data Primer, 2023)

Tabel 4. 3 Data Variasi Debit atau Laju Alir Adsorben Teraktivasi

| Waktu Pengambilan ke (menit) | Debit (mL/menit) | Tinggi Adsorben (cm) | pH | Cin (mg/L) | Cef (mg/L) | Cterserap (mg/L) | Efisiensi % Removal |
|------------------------------|------------------|----------------------|----|------------|------------|------------------|---------------------|
| 15 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,9 |
| 30 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,9 |
| 45 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,2 | 29,4 | 99,3 |
| 60 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 1,2 | 28,4 | 95,9 |
| 75 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 1,6 | 28 | 94,6 |
| 90 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 5,8 | 23,8 | 80,4 |
| 105 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 1,2 | 28,4 | 95,9 |
| 120 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 3,4 | 26,2 | 88,5 |
| 15 | 3,6 | 15 | 7 | 29,6 | 9,2 | 20,4 | 68,9 |
| 30 | 3,6 | 15 | 7 | 29,6 | 2,4 | 27,2 | 91,9 |
| 45 | 3,6 | 15 | 7 | 29,6 | 2,2 | 27,4 | 92,6 |
| 60 | 3,6 | 15 | 7 | 29,6 | 4 | 25,6 | 86,5 |
| 75 | 3,6 | 15 | 7 | 29,6 | 2,2 | 27,4 | 92,6 |
| 90 | 3,6 | 15 | 7 | 29,6 | 5 | 24,6 | 83,1 |
| 105 | 3,6 | 15 | 7 | 29,6 | 1,6 | 28 | 94,6 |
| 120 | 3,6 | 15 | 7 | 29,6 | 6 | 23,6 | 79,7 |

(Sumber: Data Primer, 2023)

Dari data hasil uji yang telah didapatkan kemudian data dimasukkan atau *plotting* dalam grafik yang bertujuan untuk melihat dan menunjukkan hubungan persen removal dari variasi debit yang diuji dengan adsorben tanpa aktivasi dan adsorben teraktivasi. Pada Gambar 4.21 dibawah ini dapat dilihat grafik variasi debit optimum yang telah di *plotting*.



Gambar 4. 21 Grafik Hubungan Variasi Debit atau Laju Alir terhadap Adsorpsi Cd
Sumber: Data Primer, 2023

Dari data pengujian yang telah diperoleh diatas, dapat dilihat dan diketahui bahwa persen removal ion Cd oleh jenis adsorben sumpit bekas sudah termasuk baik dengan variasi debit atau laju alir tertentu dan dengan waktu kontak 120 menit. Namun jika dilihat dari data diatas, adsorben tanpa aktivasi dengan debit 1,3 mL/menit (lambat) dan tinggi massa adsorben 15 cm hanya dapat mereduksi ion Cd sebesar 57,4 % sedangkan pada adsorben tanpa aktivasi dengan debit 3,6 mL/menit (cepat) dapat mereduksi ion Cd sebesar 56,8 % lebih kecil dari variasi debit 1,3 mL/menit (lambat) namun tidak berbeda secara spesifik atau mendekati sama. Kemampuan removal pada adsorben teraktivasi memiliki kemampuan penjerapan yang lebih baik yang mana pada debit 1,3 mL/menit (lambat) kemampuan removal sebesar 88,5 % sedangkan pada debit 3,6 mL/menit (cepat) kemampuan removal sebesar 79,7 % yang mana lebih kecil dari pada debit 1,3 mL/menit (lambat) dengan adsorben teraktivasi.

Dapat disimpulkan dari data tersebut bahwa kemampuan removal paling baik (optimum) pada variasi debit atau laju alir 1,3 mL/menit (lambat) yang diuji dengan menggunakan adsorben yang teraktivasi. Hal tersebut dapat terjadi karena pengaruh proses aktivasi dan waktu kontak pada debit yang mana semakin kecil debit atau laju alir maka semakin banyak ion Cd yang terserap. Kondisi tersebut dapat terjadi disebabkan pada laju alir yang semakin kecil maka waktu kontak antara ion logam yang terdapat di dalam air semakin lama sehingga ion-ion semakin banyak yang teradsorpsi [37]. Sedangkan kemampuan removal kurang baik (minimum) pada adsorben tanpa aktivasi dengan debit 3,6 mL/menit (cepat) dapat mereduksi ion Cd sebesar 56,8 %.

4.7.2 Uji Variasi Ketinggian Adsorben

Uji adsorpsi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan adsorben sumpit bekas tanpa aktivasi dan teraktivasi. Uji variasi ketinggian adsorben dilakukan untuk mengetahui ketinggian adsorben yang tepat untuk menyerap logam Kadmium (Cd) dan mengetahui keadaan massa optimum. Uji variasi debit dilakukan dengan 2 variasi ketinggian adsorben yakni ketinggian adsorben 10 cm dan 15 cm dengan menggunakan debit optimum yang didapat yakni 1,3 mL/menit (lambat) yang mana jika dilihat dari grafik pada Gambar 4.20 memiliki persen removal tertinggi. Variasi ketinggian tersebut dioperasikan ke dalam kolom kontinu dengan konsentrasi larutan Kadmium (Cd) yang digunakan 25-30 mg/L pada pH 7 yang mana pengondisian pH dilakukan dengan menambahkan larutan yang dibuat dari larutan HNO₃ pekat (Asam Nitrat) dan larutan NaOH 0,1 N. Kemudian larutan Kadmium (Cd) tersebut dialirkan dengan pompa pada kolom kontinu (metode kontinu) dengan waktu kontak 120 menit dengan cara ditampung pada gelas beaker yang selanjutnya diambil per 15 menit sekali (8 kali pengambilan) untuk diuji. Setelah sampel uji ditampung kemudian akan dilakukan uji konsentrasi dengan menggunakan instrumen AAS dengan larutan standar yang telah dibuat. Pembacaan hasil uji AAS dan efisiensi % removal tertinggi pada uji variasi ketinggian adsorben dengan adsorben sumpit bekas tanpa aktivasi dapat dilihat dari pada tabel berikut ini.

Tabel 4. 4 Data Variasi Ketinggian Adsorben Tanpa Aktivasi

| Waktu Pengambilan ke (menit) | Debit (mL/menit) | Tinggi Adsorben (cm) | pH | Cin (mg/L) | Cef (mg/L) | Cterserap (mg/L) | Efisiensi % Removal |
|------------------------------|------------------|----------------------|----|------------|------------|------------------|---------------------|
| 15 | 1,3 | 10 | 7 | 29,6 | 3,2 | 26,4 | 89,2 |
| 30 | 1,3 | 10 | 7 | 29,6 | 2 | 27,6 | 93,2 |
| 45 | 1,3 | 10 | 7 | 29,6 | 7,2 | 22,4 | 75,7 |
| 60 | 1,3 | 10 | 7 | 29,6 | 5 | 24,6 | 83,1 |
| 75 | 1,3 | 10 | 7 | 29,6 | 2,2 | 27,4 | 92,6 |
| 90 | 1,3 | 10 | 7 | 29,6 | 6,6 | 23 | 77,7 |
| 105 | 1,3 | 10 | 7 | 29,6 | 5 | 24,6 | 83,1 |
| 120 | 1,3 | 10 | 7 | 29,6 | 5,4 | 24,2 | 81,8 |
| 15 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 3,8 | 25,8 | 87,2 |
| 30 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 6 | 23,6 | 79,7 |
| 45 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 3,6 | 26 | 87,8 |
| 60 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 5,4 | 24,2 | 81,8 |
| 75 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 4,2 | 25,4 | 85,8 |
| 90 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 5 | 24,6 | 83,1 |
| 105 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 12,4 | 17,2 | 58,1 |
| 120 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 12,6 | 17 | 57,4 |

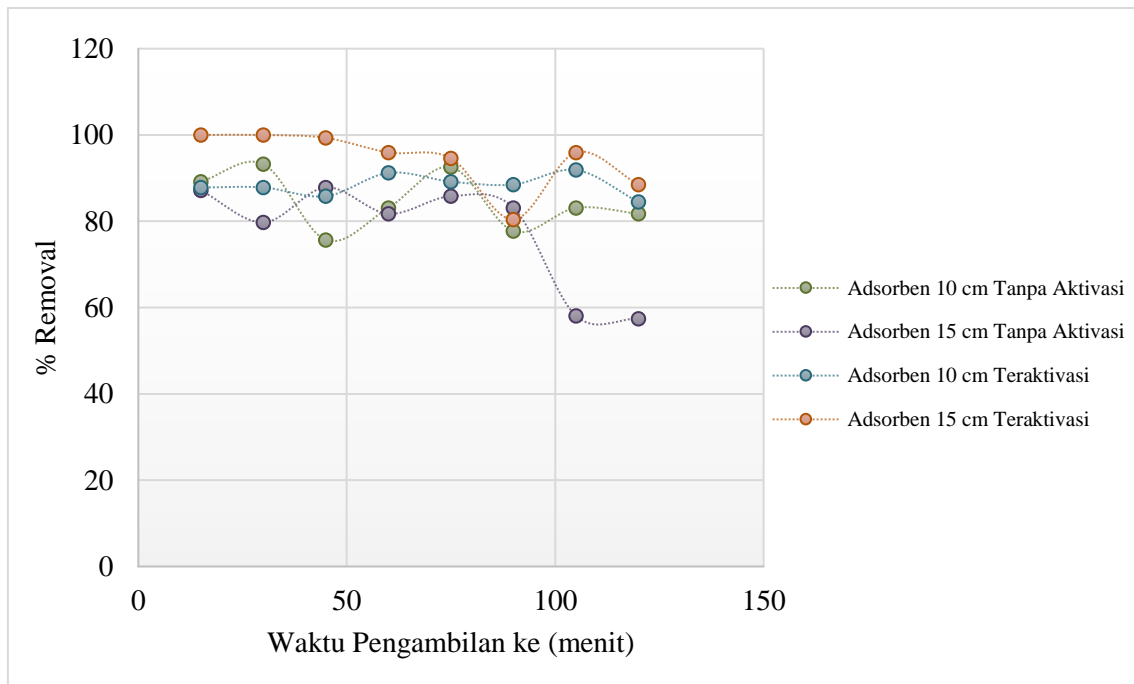
(Sumber: Data Primer, 2023)

Tabel 4. 5 Data Variasi Ketinggian Adsorben Teraktivasi

| Waktu Pengambilan ke (menit) | Debit (mL/menit) | Tinggi Adsorben (cm) | pH | Cin (mg/L) | Cef (mg/L) | Cterserap (mg/L) | Efisiensi % Removal |
|------------------------------|------------------|----------------------|----|------------|------------|------------------|---------------------|
| 15 | 1,3 | 10 | 7 | 29,6 | 3,6 | 26 | 87,8 |
| 30 | 1,3 | 10 | 7 | 29,6 | 3,6 | 26 | 87,8 |
| 45 | 1,3 | 10 | 7 | 29,6 | 4,2 | 25,4 | 85,8 |
| 60 | 1,3 | 10 | 7 | 29,6 | 2,6 | 27 | 91,2 |
| 75 | 1,3 | 10 | 7 | 29,6 | 3,2 | 26,4 | 89,2 |
| 90 | 1,3 | 10 | 7 | 29,6 | 3,4 | 26,2 | 88,5 |
| 105 | 1,3 | 10 | 7 | 29,6 | 2,4 | 27,2 | 91,9 |
| 120 | 1,3 | 10 | 7 | 29,6 | 4,6 | 25 | 84,5 |
| 15 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,9 |
| 30 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,9 |
| 45 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,2 | 29,4 | 99,3 |
| 60 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 1,2 | 28,4 | 95,9 |
| 75 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 1,6 | 28 | 94,6 |
| 90 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 5,8 | 23,8 | 80,4 |
| 105 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 1,2 | 28,4 | 95,9 |
| 120 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 3,4 | 26,2 | 88,5 |

(Sumber: Data Primer, 2023)

Dari data hasil uji yang telah didapatkan kemudian data dimasukkan atau *plotting* dalam grafik yang bertujuan untuk melihat dan menunjukkan hubungan persen removal dari variasi ketinggian adsorben yang diuji dengan adsorben tanpa aktivasi dan adsorben teraktivasi. Pada Gambar 4.22 dibawah ini dapat dilihat grafik variasi debit optimum yang telah di *plotting*.



Gambar 4. 22 Grafik Hubungan Variasi Ketinggian Adsorben terhadap Adsorpsi Cd
Sumber: Data Primer, 2023

Dari data pengujian yang telah diperoleh diatas, dapat dilihat dan diketahui bahwa persentase removal ion Cd oleh jenis adsorben sumpit bekas sudah termasuk baik dengan variasi ketinggian adsorben tertentu dengan debit optimum 1,3 mL/menit. Jika dilihat dari data diatas, adsorben tanpa aktivasi dengan tinggi massa adsorben 10 cm dan waktu kontak 120 menit dapat mereduksi ion Cd sebesar 81,8 % dan pada tinggi massa adsorben 15 cm dapat mereduksi ion Cd sebesar 57,4 % lebih kecil dibandingkan variasi tinggi 10 cm. Sedangkan pada adsorben teraktivasi dengan asam sitrat adsorben sumpit bekas dapat mereduksi ion Cd lebih baik lagi yang mana karena kemampuan penjerapannya lebih besar dibandingkan dengan adsorben tanpa aktivasi. Hal tersebut dapat terjadi karena permukaan adsorben menjadi lebih luas disebabkan oleh proses aktivasi sendiri yang dapat membuka pori dari pengotor [20]. Kemampuan adsorpsi adsorben teraktivasi dengan ketinggian adsorben 10 cm sebesar 84,5 % dan pada ketinggian 15 cm persen removal sebesar 88,5 % yang mana lebih baik dari pada adsorben tanpa aktivasi.

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa kemampuan removal paling baik (optimum) pada variasi tinggi adsorben 15 cm dengan adsorben yang teraktivasi menggunakan debit optimum 1,3 mL/menit. Hal tersebut dapat terjadi karena pengaruh proses aktivasi dan juga massa adsorben, yang mana semakin tinggi variasi ketinggian adsorben pada kolom maka semakin banyak massa yang digunakan yang mana tingginya massa adsorben dapat memberikan peluang bagi adsorbat untuk teradsorpsi pada adsorben, yang menyebabkan meningkatnya kapasitas adsorpsi [37]. Menurut penelitian juga menjelaskan bahwa semakin tinggi ketinggian adsorben (unggun) maka semakin besar kemampuan penjerapan yang terserap dan sebaliknya dikarenakan semakin tinggi adsorben (unggun) maka semakin luas permukaan kontak adsorben menjadi semakin besar sehingga penyerapannya menjadi lebih baik. Dalam kata lain, semakin rendah unggun, jumlah adsorben yang berkontak dengan adsorbat lebih sedikit dibanding unggun yang lebih tinggi. Akibatnya waktu kontak adsorbat dengan adsorben lebih singkat dan kondisi jenuh lebih cepat tercapai dan begitu pula sebaliknya. Sedangkan kemampuan removal kurang baik (minimum) pada variasi tinggi adsorben 15 cm dengan adsorben tanpa aktivasi [38].

Pada penelitian ini persen removal yang diambil pada sampel ke 8 saat waktu kontak ke 120 menit, namun jika dilihat pada grafik pada Gambar 4.21 dan Gambar 4.22 sebelum waktu tersebut (diawal-awal pengambilan yang mencapai 99,9%) kemampuan adsorpsi lebih baik dari pada menit-menit selanjutnya yang mana selanjutnya terjadi penurunan kemampuan penjerapan ion Cd. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan pada awal proses kontinu adsorben sumpit bekas masih dalam kondisi segar sehingga proses adsorpsi atau penjerapan konsentrasi ion Cd berjalan dengan lebih baik [39]. Pada penelitian ini didapatkan keadaan optimum dari variasi debit atau laju alir dan variasi ketinggian adsorben dengan adsorben sumpit bekas untuk selanjutnya dibuat kurva terobosan (*Breakthrough Curve*). Hasil optimum yang didapat yaitu pada debit optimum sebesar 3,1 mL/menit dan ketinggian adsorben optimum sebesar 15 cm dengan menggunakan adsorben sumpit bekas teraktivasi.

4.7.3 Kurva Terobosan (*Breakthrough Curve*)

Performa kolom adsorpsi dapat dilihat berdasarkan kurva terobosan (*Breakthrough Curve*) yang dihasilkan yang mana menghubungkan konsentrasi akhir dan konsentrasi awal (C_t/C_o) dengan waktu. Kurva terobosan (*Breakthrough Curve*)

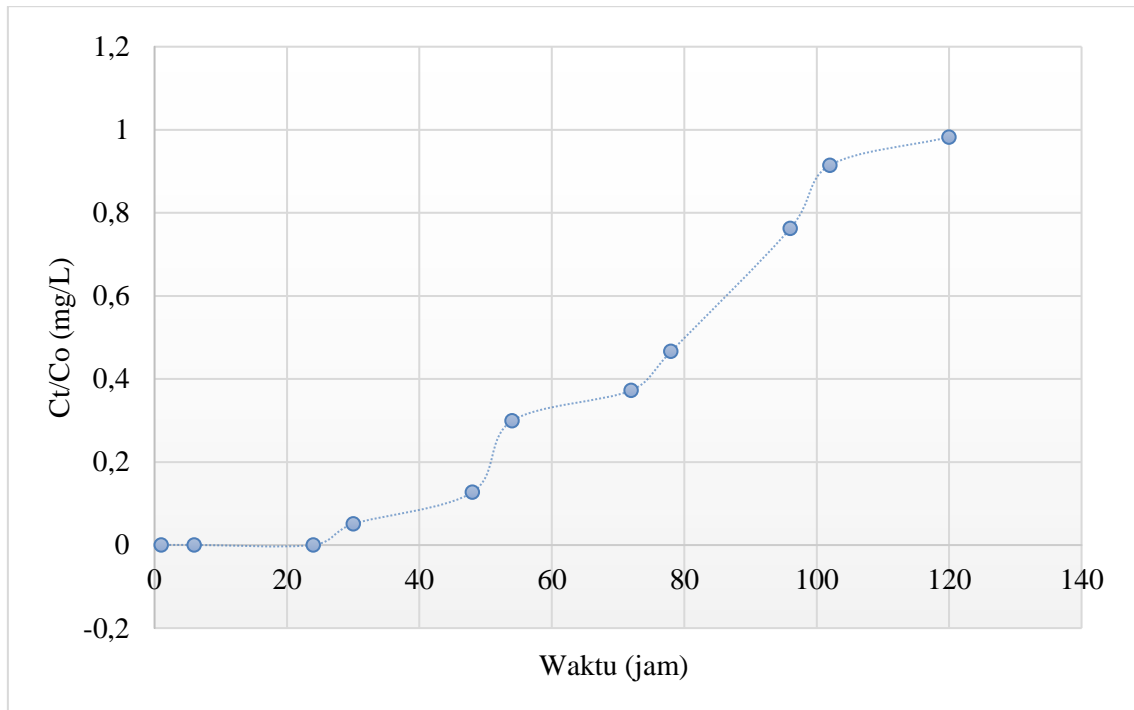
menggambarkan kinerja kolom adsorpsi. Untuk menentukan pola operasi dan respon dinamis dari kolom adsorpsi diperlukan parameter waktu breakthrough dan bentuk kurva breakthrough yang dihasilkan [40]. Maka dari itu, setelah didapatkan efisiensi tertinggi keadaan optimum dari variasi debit dan ketinggian adsorben, maka selanjutnya dilakukan pengecekan kurva terobosan (keadaan jenuh adsorben tersebut). Kurva terobosan (*Breakthrough Curve*) didapat dengan menggunakan debit optimum sebesar 3,1 mL/menit dan ketinggian adsorben optimum sebesar 15 cm dengan menggunakan adsorben sumpit bekas teraktivasi. Keadaan optimum tersebut operasikan ke dalam kolom kontinu dengan konsentrasi larutan Kadmium (Cd) yang digunakan 25-30 mg/L pada pH 7 yang mana pengondisian pH dilakukan dengan menambahkan larutan yang dibuat dari larutan HNO₃ pekat (Asam Nitrat) dan larutan NaOH 0,1 N. Kemudian larutan Kadmium (Cd) tersebut dialirkan dengan pompa pada kolom kontinu (metode kontinu) dengan waktu kontak 120 jam (5 hari) dengan cara ditampung pada gelas beaker yang selanjutnya diambil per 6-18 jam sekali (11 kali pengambilan) untuk diuji, variasi pengambilan sampel tersebut mempertimbangkan jam kerja di laboratorium. Setelah sampel uji ditampung kemudian akan dilakukan uji konsentrasi dengan menggunakan instrumen AAS dengan larutan standar yang telah dibuat. Pembacaan hasil uji AAS kemudian diolah yang selanjutnya akan digunakan untuk melihat kapan adsorben tersebut menjadi jenuh, yang mana dapat dilihat dari pada Tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4. 6 Data Kurva Terobosan (*Breakthrough Curve*)

| Pengambilan ke (jam) | Debit (mL/menit) | Tinggi Adsorben (cm) | pH | Cin (mg/L) | Cef (mg/L) | Cterserap (mg/L) | Efisiensi % Removal | Ct/Co |
|----------------------|------------------|----------------------|----|------------|------------|------------------|---------------------|-------|
| 1 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 |
| 6 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 |
| 24 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 |
| 30 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 1,50 | 28,10 | 94,92 | 0,051 |
| 48 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 3,76 | 25,84 | 87,30 | 0,127 |
| 54 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 8,86 | 20,74 | 70,08 | 0,299 |
| 72 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 11,03 | 18,57 | 62,74 | 0,373 |
| 78 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 13,80 | 15,80 | 53,38 | 0,466 |
| 96 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 22,56 | 7,04 | 23,80 | 0,762 |
| 102 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 27,07 | 2,53 | 8,56 | 0,914 |
| 120 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 29,08 | 0,52 | 1,77 | 0,982 |

(Sumber: Data Primer, 2023)

Dari data hasil uji yang telah didapatkan kemudian data dimasukkan atau *plotting* dalam grafik yang bertujuan untuk melihat dan menunjukkan kurva *breakthrough* yang menggambarkan hubungan antara C_t/C_o dan t (waktu). C_t adalah konsentrasi ion Cd effluen dan C_o adalah konsentrasi ion Cd influen sedangkan t adalah waktu adsorpsi. Pada Gambar 4.23 dibawah ini dapat dilihat grafik keadaan *break point* dan titik jenuh yang telah di *plotting*.



Gambar 4. 23 Kurva Terobosan (*Breakthrough Curve*)
Sumber: Data Primer, 2023

Pada *breakthrough curve*, dapat diketahui titik *breakthrough (break point)* dan titik *exhaust (exhaust point)*. Titik *breakthrough* adalah titik dimulainya *mass-transfer zone*, dimana pada titik ini adsorbat akan keluar bersama effluen dengan adanya kenaikan konsentrasi larutan. Titik ini ditandai dengan naiknya rasio konsentrasi effluen dengan umpan secara signifikan. Titik *exhaust* adalah titik berakhirnya *mass-transfer zone*, dimana pada titik ini ditandai dengan rasio antara effluen dan umpan atau influen hampir sama. Pada Tabel 4.7 dapat dilihat titik *breakthrough (break point)* dan titik *exhaust (exhaust point)* pada variasi optimum sebagai berikut.

Tabel 4. 7 Break point dan Exhaust point pada Variasi Optimum

| Co (mg/L) | Debit (mL/menit) | Tinggi Adsorben (cm) | tb (jam) | te (jam) |
|-----------|------------------|----------------------|----------|----------|
| 29,6 | 1,3 (lambat) | 15 (4,8 gram) | 30 | 120 |

(Sumber: Data Primer, 2023)

Berdasarkan Gambar 4.23 dan Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa titik *breakthrough* (*break point*) [tb] pada waktu ke 30 jam dan titik *exhaust* (*exhaust point*) [te] pada waktu ke 120 jam. Dapat diketahui bahwa semakin lama interval antara titik break point dan exhaust point, maka semakin lama adsorben akan jenuh. Sehingga, laju alir atau debit yang lambat (1,3 mL/menit) merupakan laju alir dengan adsorpsi yang maksimal [41].

Kurva breakthrough pada Gambar 4.23 menunjukkan bahwa nilai C_t/C_o terus mengalami kenaikan hingga mendekati 1, yang artinya konsentrasi efluen semakin lama akan semakin sama dengan konsentrasi influennya. Perbedaan laju alir influen akan mempengaruhi waktu breakthrough yaitu waktu yang dibutuhkan larutan efluen untuk mengandung lebih dari 50% ion Cd dari konsentrasi ion Cd influennya, yaitu 29,6 mg/L. Pada laju alir yang lebih tinggi, maka waktu breakthrough semakin cepat, akibat dari bertambahnya ion Cd yang masuk ke dalam kolom per satuan waktu sehingga adsorben pada laju alir yang lebih tinggi menjadi lebih cepat jenuh. Dari Gambar 4.23 juga menunjukkan untuk $0 < C_t/C_o < 1$ dapat menunjukkan keadaan transfer massa sedang berlangsung dan untuk $C_t/C_o = 1$ menunjukkan bahwa adsorben sudah mengalami kejenuhan [42].

Dari data pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa titik jenuh adsorben sumpit bekas pada pengujian variasi optimum terjadi pada waktu kontak ke 120 jam lebih yang mana konsentrasi selanjutnya mendekati konsentrasi awal larutan Cd atau $C_t/C_o = 1$ (mendekati 1).

4.7.4 Model Kinetika Sistem Adsorpsi

Kinetika sistem adsorpsi yang terjadi pada fixed-bed column dianalisis dengan Model Thomas, Yoon-Nelson, dan Adam and Bohart. Berikut merupakan model-model kinetika sistem adsorpsi yang digunakan.

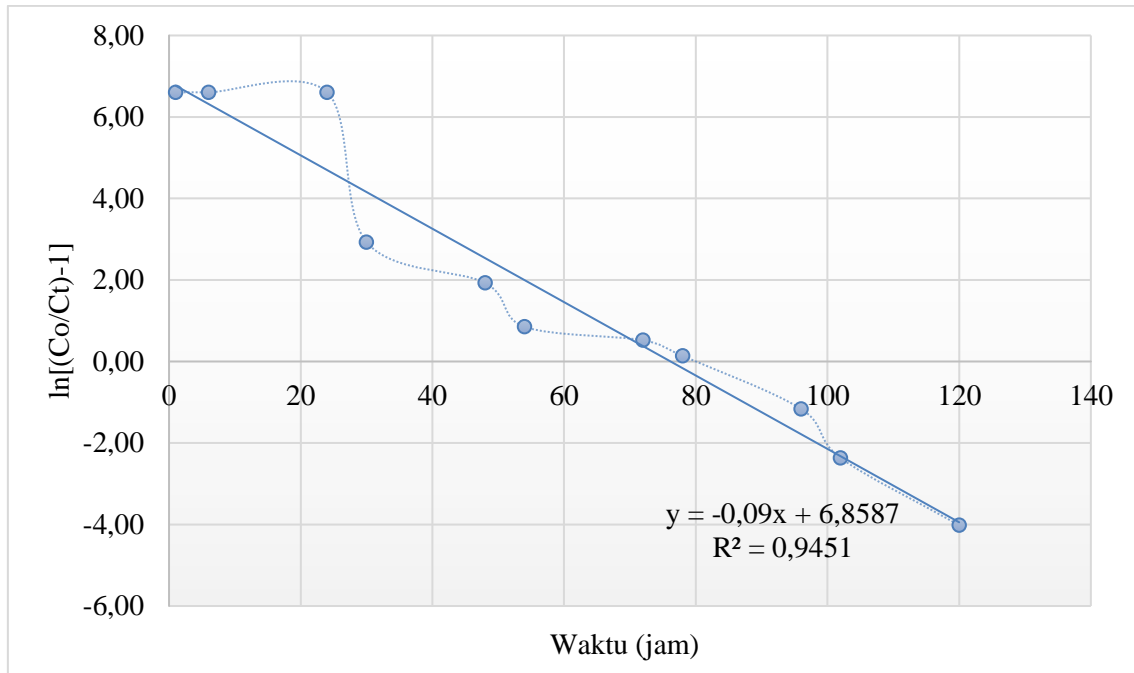
4.7.4.1 Model Thomas

Model kinetika Thomas digunakan sebagai alat bantu untuk menunjukkan kinetika adsorpsi limbah Cd buatan pada debit atau laju alir optimum dan ketinggian adsorben optimum dengan meninjau koefisien determinasi (R^2) dari garis linear yang dibentuk dari kurva $\left(\ln \left[\frac{C_0}{C_t} - 1\right]\right)$ terhadap waktu [40]. Model Thomas adalah salah satu model yang umum pada teori kinerja kolom kontinu, modelnya dapat dilihat pada Persamaan 3.2. Dari persamaan tersebut didapatkan nilai koefisien determinasi yang dapat dilihat pada perhitungan di Tabel 4.8 dan Gambar 4.24 dibawah ini.

Tabel 4. 8 Data Model Thomas

| Pengambilan ke (jam) | Debit (mL/menit) | Tinggi Adsorben (cm) | pH | Cin (mg/L) | Cef (mg/L) | Cterserap (mg/L) | Efisiensi % Removal | Ct/Co | ln(Co/Ct-1) |
|----------------------|------------------|----------------------|----|------------|------------|------------------|---------------------|-------|-------------|
| 1 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 | 6,61 |
| 6 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 | 6,61 |
| 24 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 | 6,61 |
| 30 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 1,50 | 28,10 | 94,92 | 0,051 | 2,93 |
| 48 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 3,76 | 25,84 | 87,30 | 0,127 | 1,93 |
| 54 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 8,86 | 20,74 | 70,08 | 0,299 | 0,85 |
| 72 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 11,03 | 18,57 | 62,74 | 0,373 | 0,52 |
| 78 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 13,80 | 15,80 | 53,38 | 0,466 | 0,14 |
| 96 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 22,56 | 7,04 | 23,80 | 0,762 | -1,16 |
| 102 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 27,07 | 2,53 | 8,56 | 0,914 | -2,37 |
| 120 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 29,08 | 0,52 | 1,77 | 0,982 | -4,02 |

(Sumber: Data Primer, 2023)



Gambar 4. 24 Kurva Linier Model Thomas (Pengukuran Kapasitas Adsorpsi)
Sumber: Data Primer, 2023

Dari Gambar 4.23 diatas dapat dilihat grafik linier model Thomas yang menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) > 0,9 yang mana dapat disimpulkan bahwa kapasitas atau kemampuan adsorpsi pada variasi optimum dapat ditunjukkan dengan persamaan pada pendekatan model Thomas serta menunjukkan bahwa model Thomas cocok digunakan untuk menggambarkan kinetika kolom adsorpsi yang terjadi. Dari sudut pandang mekanisme adsorpsi di tingkat molekuler, Cd yang teradsorpsi ke adsorben sumpit bekas melalui interaksi elektrostatik antara gugus karboksil anionik dan kationik molekul Cd, sesuai dengan proses kimia adsorpsi monolayer [40]. Dari grafik tersebut juga didapatkan persamaan ($y = -0,09x + 6,8587$) yang dapat digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi adsorben sumpit bekas dalam menyerap Cd, perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah ini.

Tabel 4. 9 Data Perhitungan Kapasitas Adsorpsi dengan Model Thomas

| Co (mg/L) | Debit (mL/menit) | Tinggi Adsorben (cm) | Konstanta Kecepatan Adsorpsi [KTh] (L/menit.mg) | Kapasitas Adsorpsi [qTh] (mg/g) | R ² |
|-----------|------------------|----------------------|---|---------------------------------|----------------|
| 29,6 | 1,3 | 15 (4,8 gram) | 0,0030 | 1 | 0,9451 |

(Sumber: Data Primer, 2023)

Dari data diatas dapat dilihat bahwa, berdasarkan persamaan ($y = -0,09x + 6,8587$) yang mana slope ($y = -0,09x$) untuk menentukan nilai KTh dan intersep (6,8587) untuk menentukan qTh. Dari Persamaan tersebut maka didapatkan nilai kapasitas adsorpsi Cd oleh adsorben sumpit bekas dengan variasi optimum sebesar 1 mg/g. Artinya setiap 1 gram adsorben sumpit bekas teraktivasi mampu menyerap 1 mL logam Kadmium (Cd) dengan kecepatan alir 1,3 mL/menit.

Dapat diketahui bahwa laju alir yang semakin rendah, maka semakin tinggi kapasitas adsorpsi. Hal tersebut karena laju alir yang semakin rendah, menyebabkan semakin lama waktu kontak antara Cd dan adsorben. Sehingga, adsorpsi akan semakin maksimal. Kapasitas adsorpsi yang diberikan oleh model Thomas sesuai dengan teori Thomas, yaitu kapasitas adsorpsi akan menurun dengan tingginya laju alir [42].

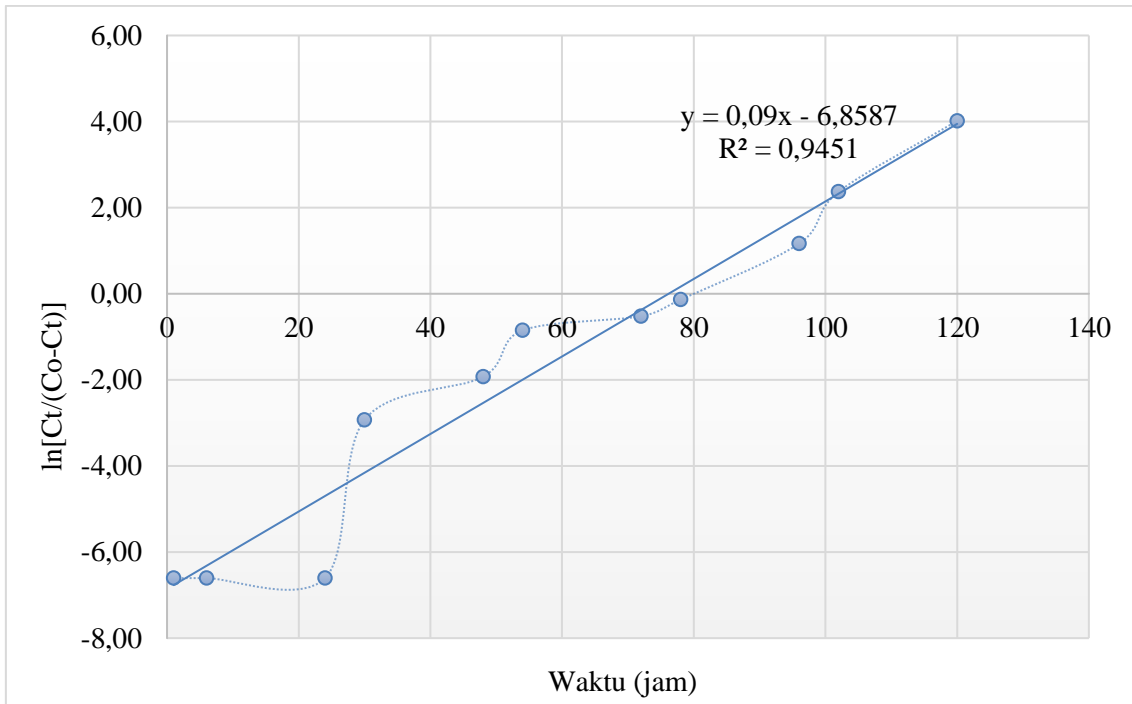
4.7.4.2 Model Yoon-Nelson

Asumsi yang digunakan pada model Yoon-Nelson adalah laju adsorpsi untuk setiap adsorbat sebanding dengan laju penurunan adsorpsi. Model ini memprediksi 50% waktu breakthrough. Model ini juga mampu mengetahui konstanta dan kapasitas adsorpsi. Perhitungan Model Yoon Nelson dapat dilihat pada Tabel 4.10 dibawah ini.

Tabel 4. 10 Data Model Yoon-Nelson

| Pengambilan ke (jam) | Debit (mL/menit) | Tinggi Adsorben (cm) | pH | Cin (mg/L) | Cef (mg/L) | Cterserap (mg/L) | Efisiensi % Removal | (Ct/(Co-Ct)) | ln (Ct/(Co-Ct)) |
|----------------------|------------------|----------------------|----|------------|------------|------------------|---------------------|--------------|-----------------|
| 1 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 | -6,61 |
| 6 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 | -6,61 |
| 24 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 | -6,61 |
| 30 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 1,50 | 28,10 | 94,92 | 0,05 | -2,93 |
| 48 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 3,76 | 25,84 | 87,30 | 0,15 | -1,93 |
| 54 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 8,86 | 20,74 | 70,08 | 0,43 | -0,85 |
| 72 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 11,03 | 18,57 | 62,74 | 0,59 | -0,52 |
| 78 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 13,80 | 15,80 | 53,38 | 0,87 | -0,14 |
| 96 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 22,56 | 7,04 | 23,80 | 3,20 | 1,16 |
| 102 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 27,07 | 2,53 | 8,56 | 10,69 | 2,37 |
| 120 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 29,08 | 0,52 | 1,77 | 55,53 | 4,02 |

(Sumber: Data Primer, 2023)



Gambar 4. 25 Kurva Linier Model Yoon-Nelson (Pengukuran Kapasitas Adsorpsi)
Sumber: Data Primer, 2023

Dari Gambar 4.25 diatas dapat dilihat grafik linier model Yoon-Nelson yang menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) > 0,9 yang mana dapat disimpulkan bahwa kapasitas atau kemampuan adsorpsi pada variasi optimum dapat ditunjukkan dengan persamaan pada pendekatan model Yoon-Nelson serta menunjukkan bahwa model Yoon-Nelson cocok digunakan untuk menggambarkan kinetika kolom adsorpsi yang terjadi. Dari grafik tersebut juga didapatkan persamaan ($y = -0,09x + 6,8587$) yang dapat digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi adsorben sumpit bekas dalam menyerap Cd, perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 4.11 dibawah ini.

Tabel 4. 11 Data Perhitungan Kapasitas Adsorpsi dengan Model Yoon-Nelson

| Co (mg/L) | Debit (mL/menit) | Tinggi Adsorben (cm) | Konstanta Kecepatan Adsorpsi [k _{YN}] (L/menit) | τ (menit) | Kapasitas Adsorpsi [q _{YN}] (mg/g) | R ² |
|-----------|------------------|----------------------|---|----------------|--|----------------|
| 29,6 | 1,3 | 15 (4,8 gram) | 0,09 | 76,207 | 1 | 0,9451 |

(*Sumber: Data Primer, 2023*)

Dari data diatas dapat dilihat bahwa, berdasarkan persamaan ($y = -0,09x + 6,8587$) yang mana slope ($y = -0,09x$) untuk menentukan nilai k_{YN} dan intersep ($6,8587$) untuk menentukan τ . Dari Persamaan tersebut maka didapatkan nilai kapasitas adsorpsi Cd oleh adsorben sumpit bekas dengan variasi optimum sebesar 1 mg/g. Artinya setiap 1 gram adsorben sumpit bekas teraktivasi mampu menyerap 1 mL logam Kadmium (Cd) dengan kecepatan alir 1,3 mL/menit.

Diketahui, bahwa rendahnya laju alir akan meningkatkan kapasitas adsorpsi. Dikarenakan semakin rendah laju alir, maka semakin lama pula waktu kontak antara Cd dan adsorben. Hal ini sesuai dengan teori Yoon-Nelson, yaitu semakin tinggi laju alir maka semakin tinggi kapasitasnya dan semakin rendah waktu *breakthrough* 50% [42].

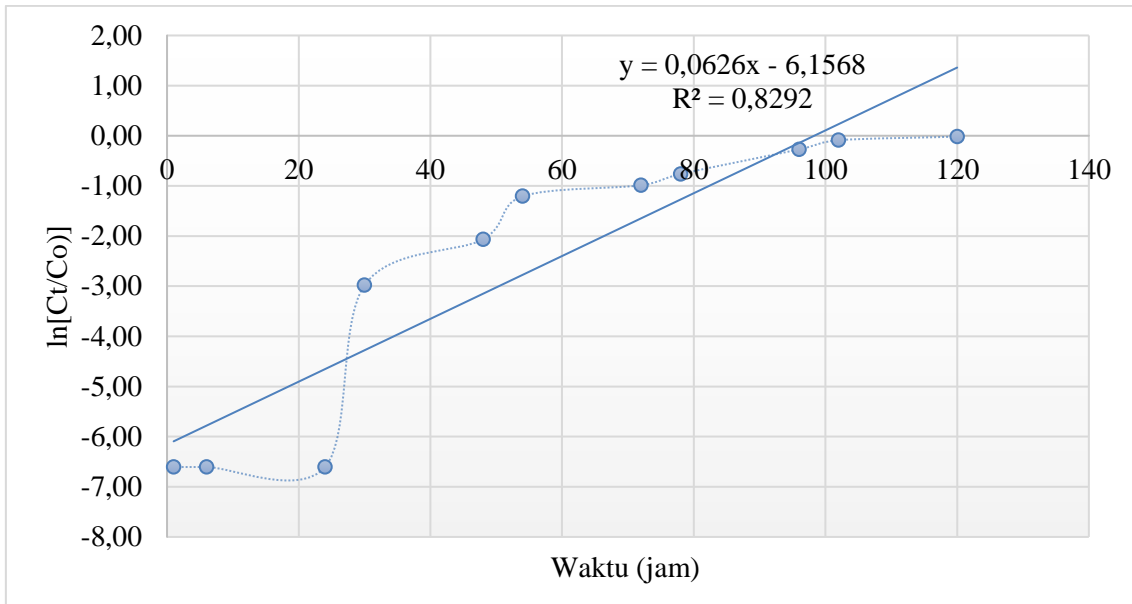
4.7.4.3 Model Adams and Bohart

Model Adams-Bohart digunakan untuk menggambarkan hubungan antara waktu dan ketinggian pada kolom adsorpsi. Model ini dapat memprediksi hubungan linier antara tinggi adsorben dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai waktu *breakthrough*. Model ini juga dapat menentukan konstanta Adams-Bohart dan kapasitas adsorpsi [42]. Perhitungan Model Adams-Bohart dapat dilihat pada Tabel 4.12 dibawah ini.

Tabel 4. 12 Data Model Adams-Bohart

| Pengambilan ke (jam) | Debit (mL/menit) | Tinggi Adsorben (cm) | pH | Cin (mg/L) | Cef (mg/L) | Cterserap (mg/L) | Efisiensi % Removal | Ct/Co | ln (Ct/Co) |
|----------------------|------------------|----------------------|----|------------|------------|------------------|---------------------|-------|------------|
| 1 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 | -6,61 |
| 6 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 | -6,61 |
| 24 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 | -6,61 |
| 30 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 1,50 | 28,10 | 94,92 | 0,05 | -2,98 |
| 48 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 3,76 | 25,84 | 87,30 | 0,13 | -2,06 |
| 54 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 8,86 | 20,74 | 70,08 | 0,30 | -1,21 |
| 72 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 11,03 | 18,57 | 62,74 | 0,37 | -0,99 |
| 78 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 13,80 | 15,80 | 53,38 | 0,47 | -0,76 |
| 96 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 22,56 | 7,04 | 23,80 | 0,76 | -0,27 |
| 102 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 27,07 | 2,53 | 8,56 | 0,91 | -0,09 |
| 120 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 29,08 | 0,52 | 1,77 | 0,98 | -0,02 |

(Sumber: Data Primer, 2023)



Gambar 4. 26 Kurva Linier Model Adams-Bohart (Pengukuran Kapasitas Adsorpsi)
Sumber: Data Primer, 2023

Dari Gambar 4.26 diatas dapat dilihat grafik linier model Adams-Bohart yang menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) < 0,9 yang mana dapat disimpulkan bahwa model Adams-Bohart kurang cocok (tidak lebih baik dari kedua model sebelumnya) digunakan untuk menggambarkan kinetika kolom adsorpsi yang terjadi. Dari grafik tersebut juga didapatkan persamaan ($y = -0,0626x + 6,1568$) yang dapat digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi adsorben sumpit bekas dalam menyerap Cd, perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 4.13 dibawah ini.

Tabel 4. 13 Data Perhitungan Kapasitas Adsorpsi dengan Model Adams-Bohart

| Co (mg/L) | Debit (mL/menit) | Tinggi Adsorben (cm) | Konstanta Kecepatan Adsorpsi [k_{AB}] (L/menit.mg) | Kapasitas Adsorpsi [N_0](mg/L) | R^2 |
|------------------|-------------------------|-----------------------------|--|--|-------------------------|
| 29,6 | 1,3 | 15 (4,8 gram) | 0,0021 | 0,00002 | 0,8292 |

(*Sumber: Data Primer, 2023*)

Dari data diatas dapat dilihat bahwa, berdasarkan persamaan ($y = -0,0626x + 6,1568$) yang mana slope ($y = -0,0626x$) untuk menentukan nilai k_{AB} dan intersep (6,1568) untuk menentukan N_0 . Dimana nilai kapasitas adsorpsi dari permodelan Adam-Bohart sebanding dengan laju alir. Semakin tinggi laju alir, maka semakin tinggi pula kapasitas

adsorpsi [42]. Sehingga kurang cocok digunakan untuk menggambarkan kinetika kolom adsorpsi yang terjadi penelitian ini.

4.7.4.4 Perbandingan Ketiga Model

Perbandingan nilai regresi linier (R^2) dari ketiga model tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.14. Pada tabel tersebut diketahui bahwa model Thomas dan Yoon-Nelson memiliki nilai yang sama dan nilai regresi linier $> 0,9$ sedangkan pada model Adam-Bohart terdapat perbedaan dimana pada memiliki nilai regresi linier $< 0,9$. Hal ini dikarenakan pada model Adam-Bohart hanya cocok dan sesuai digunakan untuk memprediksi kurva *breakthrough* pada awal terjadinya adsorpsi [42]. Sehingga hanya ada dua model yang lebih sesuai dengan kondisi adsorpsi pada penelitian ini adalah model Thomas dan Yoon-Nelson dengan kapasitas adsorpsi sebesar 1 mg/g. Artinya setiap 1 gram adsorben sumpit bekas teraktivasi mampu menyerap 1 mL logam Kadmium (Cd) dengan kecepatan alir 1,3 mL/menit.

Tabel 4. 14 Data Model Kapasitas Adsorpsi

| No | Model | Variabel | Nilai |
|----|--------------|---|---------|
| 1 | Thomas | Konstanta Kecepatan Adsorpsi [KTh] (L/menit.mg) | 0,0030 |
| | | Kapasitas Adsorpsi [qTh] (mg/g) | 1 |
| | | R^2 | 0,9451 |
| 2 | Yoon-Nelson | Konstanta Kecepatan Adsorpsi [kYN] (L/menit) | 0,0900 |
| | | τ (menit) | 76,2078 |
| | | Kapasitas Adsorpsi [qYN] (mg/g) | 1 |
| | | R^2 | 0,9451 |
| 3 | Adams-Bohart | Konstanta Kecepatan Adsorpsi [kAB] (L/menit.mg) | 0,0021 |
| | | N_0 (mg/L) | 0,00002 |
| | | R^2 | 0,8579 |

(Sumber: Data Primer, 2023)

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Sumpit bekas dapat dijadikan adsorben yang memiliki kemampuan baik dalam mengadsorpsi dan mereduksi logam Cd. Adsorben sumpit bekas memiliki karakteristik yang dimiliki sebuah adsorben yakni adanya gugus fungsi O-H yang mampu berkaitan dengan ion Cd dan juga adanya pori-pori yang memungkinkan mampu menyerap ion Cd pada proses adsorpsi.
- b. Uji variasi debit atau laju alir dan ketinggian massa didapatkan variasi yang optimum terhadap efisiensi adsorpsi logam Cd oleh adsorben sumpit bekas tanpa aktivasi dan teraktivasi asam sitrat dalam sistem kontinu yaitu dengan debit 1,3 mL/menit (lambat) dan pada tinggi massa 15 cm dengan adsorben teraktivasi pada waktu kontak 2 jam (% removal sebesar 88,5 %). Dari penelitian ini diketahui bahwa terdapat pengaruh variasi debit dan variasi ketinggian adsorben (unggun) pada proses adsorpsi dengan metode kontinu.
- c. Adsorben teraktivasi lebih baik dalam mereduksi ion Cd dengan titik breakthrough pada waktu 30 jam sedangkan titik jenuh adsorben pada pengujian variasi optimum terjadi pada waktu 120 jam yang mana konsentrasi selanjutnya mendekati konsentrasi awal larutan Cd. Kapasitas adsorpsi adsorben dihitung dengan 3 model namun pendekatan model Thomas dan Yoon-Nelson yang paling cocok digunakan pada penelitian ini dengan ($R^2 = > 0,9$) pada variasi optimum yakni 1 mg/g.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat saran dari penulis yang akan diajukan sebagai perbaikan untuk penelitian kedepannya. Berikut merupakan saran yang diberikan yakni:

- a. Melakukan pengujian ulang dengan variasi yang lebih banyak agar mendapat data yang lebih valid untuk diolah dan dapat menghitung kapasitas adsorpsi pada adsorben sumpit bekas dengan metode kontinu.

- b. Penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan air limbah asli (bukan sintetis) agar dapat diaplikasikan langsung untuk pengolahan limbah dari proses industri.
- c. Reaktor kolom dan pompa yang digunakan sebaiknya berkapasitas besar, agar dapat mempresentatifkan dengan keadaan di lapangan.
- d. Perhitungan kapasitas adsorpsi sebaiknya menggunakan pendekatan model-model yang lain juga.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fajri, A. 2018. **Pengolahan Limbah Laboratorium Kimia dengan Sistem Penyaringan Sederhana**. Journal of Sainstek.
- [2] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. **Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup**. Jakarta. 2021.
- [3] Yudo, S. 2006. **Kondisi Pencemaran Logam Berat di Perairan Sungai DKI Jakarta**. Jurnal Air Indonesia. Vol. 2, No 1.
- [4] Kiswanto, Heru S., Sudarno. 2018. **Karakteristik Air Asam Batubara Di Kolam Bekas Tambang Batubara PT. Bukit Asam (PTBA)**. Seminar dan Konferensi Nasional IDEC 2018 Surakarta, 7-8 Mei 2018. ISSN: 2579-6429.
- [5] Supriharyono. 2000. **Pelestariandan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis**. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- [6] Soemirat J. 2005. **Toksikologi Lingkungan**. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [7] Angraini, R., Wahyuni, N., dan Gusrizal. 2015. **Adsorpsi Fenol oleh Kombinasi Adsorben Zeolit dan Karbon Aktif**. JKK. Vol (4) 1, hal 21-25.
- [8] Amri, M., & Herlianty, S. 2005. **Penentuan Daya Jerap Karbon Aktif dari Pelepah Sawit Terhadap Ion Fe (III)**. Journal Fakultas Teknik UNRI Vol. (iii), 1– 8.
- [9] Palar, H. 1994. **Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat**. Jakarta, Rineka Cipta.
- [10] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001. **Pengelolaan Kualitas Air dan pengendalian Pencemaran Air**. Jakarta. 2001.
- [11] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014. **Baku Mutu Limbah Cair**. Jakarta. 2014.
- [12] Widya. 2006. **Analisis Morfologi Serat dan Sifat Fisis- Kimia pada Enam Jenis Bambu sebagai Bahan Baku Pulp dan Kertas**. Jurnal Ilmu dan Teknologi Hutan.
- [13] Fitriani, E. 2003. **Aktivitas Enzim Karboksilmetil Selulase Bacillus pumilus Galur 55 pada Berbagai suhu Inkubasi**. Institut Pertanian Bogor.
- [14] Brown, R. M. Jr dan Saxena, I. M. 2007. **Cellulose Molecular and Structure Biology**. Dordrecht Springer.
- [15] Fengel, D dan G, Wegener. 1984. **Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions**. Sastrohamidjojo, Hardjono, (penterjemah); Prawirohatmodjo, Soenardi, (editor). Kayu: Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-Reaksi. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta. 729 hal.
- [16] Sawyer, C. N., McCarty, P. L., Parkin, G. F. (1994). **Chemistry for Environmental Engineering**. McGraw-Hill Inc., New York.
- [17] Mihelcic, J. R. 1999. **Fundamental of Environmental Engineering**. John Wiley & Sons. New York.

- [18] Saragih, S. A. 2008. **Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Batubara Riau Sebagai Adsorben**. Universitas Indonesia.
- [19] Mu'jizah, S. 2010. **Pembuatan Dan Karakterisasi Karbon Aktif Dari Biji Kelor (*Moringa leifera*. Lamk) Dengan NaCl Sebagai Bahan Pengaktif**. UIN Maulana Malik Ibrahim.
- [20] Apriliani, A. 2010. **Pemanfaatan Arang Ampas Tebu sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu dan Pb dalam Air Limbah**. Repositoy UIN, 1–91. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah.
- [21] Widayatno, T., Yuliawati, T., Susilo, A. A. 2017. **Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif**. Jurnal Teknologi Bahan Alam Vol. 1 No. 1, hal 20-21. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [22] Mizwar, A. 2013. **Penyisihan Warna Pada Limbah Cair Sasirangan dengan Adsorpsi Zeolit dalam Fixed-bed Column**. *EnviroScientee* 9, 1-9. Universitas Lambung Mangkurat.
- [23] Skoog, D. A., Donald M. West, F. James Holler, Stanley R. Crouch, 2000. **Fundamentals of Analytical Chemistry**. Hardcover: 992 pages, Publisher: Brooks Cole.
- [24] Soenardjo, E., Damardjati, D., Syam, M. 1991. **Padi Buku III**. Badan Penelitian dan Pengembangan dan Pertanian. Bogor.
- [25] 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.
- [26] Fardiansyah, H. 2017. **Pemanfaatan Media Bambu Sebagai Adsorbent Penyerap Logam Kadmium (Cd) dengan Perbandingan Tanpa Aktivasi dan Aktivasi dengan Asam Sitrat**. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- [27] Nurfitriyani, A., Wardhani, E., Dirgawati, M. 2013. **Penentuan Efisiensi Penyisihan Kromium Heksavalen (Cr⁶⁺) dengan Adsorpsi menggunakan Tempurung Kelapa secara Kontinyu**. *Jurnal Institut Teknologi Nasional* No.2 Vol.1. Itenas Bandung.
- [28] Kristianingrum, S., Sulistyani, S., Fillaeli, A., Siswani, E., Nafiisah, N. 2020. **Aplikasi Sistem Kontinu Menggunakan Karbon Aktif untuk Penurunan Kadar logam Cu dan Zn dalam Air**. *J. Sains Dasar*, 9 (2) 54 - 59. Universitas Negeri Yogyakarta.
- [29] Badan Standar Nasional Indonesia. SNI Nomor 06-6989-16. 2009. **Bagian 16: Cara uji kadmium (Cd) dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – nyala**. Jakarta.
- [30] Hegazi, H. A. 2013. **Removal of Heavy Metals from Wastewater Using Agricultural and Industrial Wastes as Adsorbents**. Housing and Building National Research Center. *HBRC Journal*. 9, 276-282.
- [31] Siswoyo, E., Y. Mihara, and S. Tanaka, 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.
- [32] Malkoc, Emine, et al. 2006. **Cr (VI) adsorption by waste acorn of Quercus ithaburensis in fixed beds: Prediction of Breakthrough curves.** Elsevier, Turkey.
- [33] Nwabanne, J.T. and Igbokwe, P.K. 2012. **Adsorption Performance of Packed Bed Column for the Removal of Lead (II) using Oil Palm Fibre.** Int. J. App. Sci.Tech, 2, 106-115.
- [34] Kurniawan, D. 2016. **Pemanfaatan Media Bambu Sebagai Adsorbent Penyerap Logam Timbal (Pb) Dengan Perbandingan Tanpa Aktivasi dan Aktivasi dengan Asam Sitrat.** Universitas Islam Indonesia.
- [35] Mustafa, S. 2010. **Karakteristik Sifat mekanik Bambu Petung Pada Bambu Muda, Dewasa dan Tua: Studi Kasus Bagian Pangkal.** Tugas Akhir. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- [36] Purnamawati, H., Utami, B. 2014. **Pemanfaatan Limbah Kulit Buah Kakao (Theobroma cacao l.) Sebagai Adsorben Zat Warna Rhodamin B.** Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika, Vol. 5 No. 1, 12-18.
- [37] Asnawati, A., Kharismaningrum, R. R., Andarini, N. 2017. **Penentuan Kapasitas Adsorpsi Selulosa terhadap Rhodamin B dalam Sistem Dinamis.** Jurnal Kimia Riset, Volume 2 No. 1, 23-29. Universitas Jember.
- [38] Sylvia, N., Meriatna., Hakim, L., Fitriani., Fahmi, A. 2017. **Kinerja Kolom Adsorpsi pada Penjerapan Timbal (Pb²⁺) dalam Limbah Artifisial Menggunakan Cangkang Kernel Sawit.** Jurnal Integrasi Proses Vol. 6, No. 4, 185 – 190. Universitas Malikussaleh.
- [39] Asih, C. L., Sudarno., Hadiwidodo, M. 2015. **Pengaruh Ukuran Media Adsorben dan Konsentrasi Aktivator Naoh terhadap Efektivitas Penurunan Logam Berat Besi (Fe), Seng (Zn) dan Warna Limbah Cair Industri Galvanis Menggunakan Arang Sekam Padi.** Universitas Diponegoro.
- [40] Zhang, W., Dong, L., Yan, H., Li, H., Jiang, Z., Kan, X., Yang, H., Li, A., Cheng, R. **Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Straw Based Adsorbent in a fixed-bed Column.** Chemical Engineering Journal 173, no. 2, 429-436.
- [41] Subhan, R., Shidiqi, M. F., Saptati, D., Ismuyanto, B. 2022. **Studi Model Adsorpsi Cr(VI) Menggunakan Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Pada Sistem Kolom Dengan Variasi Laju Alir.** Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan Vol.6, No.2, hal 1-6. Universitas Brawijaya.
- [42] Cundari, L., Leonardo, R., Ginting., Suryadinata, T., Luthfiah, A., Althaf, T., R. Rosalina. 2020. **Model Adsorpsi pada Larutan Pewarna Sintetik Direct secara Kontinyu: Pengaruh Konsentrasi Zat Warna.** Jurnal Teknik Kimia No 2, Vol. 26, 56-58. Universitas Sriwijaya.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan

1. Preparasi 1 Liter Larutan Induk Cd 1000 mg/L

$$\text{Mr Cd(NO}_3)_2 = 236 \text{ g/mol}$$

$$\text{Ar Cd} = 112 \text{ g/mol}$$

$$= \frac{236 \text{ g/mol}}{112 \text{ g/mol}} \times 1000 \text{ mg}$$

$$= 2107,14 \text{ mg}$$

$$= 2,10714 \text{ g}$$

Jadi, larutan induk Cd yakni $\text{Cd(NO}_3)_2$ 1000 mg/L dibuat dengan melarutkan 2,10714 gram $\text{Cd(NO}_3)_2$ yang dilarutkan menggunakan aquades hingga homogen.

2. Preparasi Larutan Standar Cd (0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,7; 1; 1,5; 2; 3; 5) mg/L

- a) Larutan Standar 0,05 mg/L

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

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1} = \frac{0,05 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}}{5 \text{ mg/L}} = 1 \text{ mL}$$

Jadi, untuk membuat 100 mL larutan standar Cd 0,05 mg/L dibutuhkan 1 mL larutan Cd 5 mg/L yang dilarutkan menggunakan aquades hingga homogen.

- b) Larutan Standar 0,1 mg/L

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

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1} = \frac{0,1 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}}{5 \text{ mg/L}} = 2 \text{ mL}$$

Jadi, untuk membuat 100 mL larutan standar Cd 0,1 mg/L dibutuhkan 2 mL larutan Cd 5 mg/L yang dilarutkan menggunakan aquades hingga homogen.

- c) Larutan Standar 0,2 mg/L

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

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1} = \frac{0,2 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}}{5 \text{ mg/L}} = 4 \text{ mL}$$

Jadi, untuk membuat 100 mL larutan standar Cd 0,2 mg/L dibutuhkan 4 mL larutan Cd 5 mg/L yang dilarutkan menggunakan aquades hingga homogen.

- d) Larutan Standar 0,3 mg/L

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

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1} = \frac{0,3 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}}{5 \text{ mg/L}} = 6 \text{ mL}$$

Jadi, untuk membuat 100 mL larutan standar Cd 0,3 mg/L dibutuhkan 6 mL larutan Cd 5 mg/L yang dilarutkan menggunakan aquades hingga homogen.

e) Larutan Standar 0,5 mg/L

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

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1} = \frac{0,5 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}}{5 \text{ mg/L}} = 10 \text{ mL}$$

Jadi, untuk membuat 100 mL larutan standar Cd 0,5 mg/L dibutuhkan 10 mL larutan Cd 5 mg/L yang dilarutkan menggunakan aquades hingga homogen.

f) Larutan Standar 0,7 mg/L

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

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1} = \frac{0,7 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}}{5 \text{ mg/L}} = 14 \text{ mL}$$

Jadi, untuk membuat 100 mL larutan standar Cd 0,7 mg/L dibutuhkan 14 mL larutan Cd 5 mg/L yang dilarutkan menggunakan aquades hingga homogen.

g) Larutan Standar 1 mg/L

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

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1} = \frac{1 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}}{5 \text{ mg/L}} = 20 \text{ mL}$$

Jadi, untuk membuat 100 mL larutan standar Cd 1 mg/L dibutuhkan 20 mL larutan Cd 5 mg/L yang dilarutkan menggunakan aquades hingga homogen.

h) Larutan Standar 1,5 mg/L

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

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1} = \frac{1,5 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}}{5 \text{ mg/L}} = 30 \text{ mL}$$

Jadi, untuk membuat 100 mL larutan standar Cd 1,5 mg/L dibutuhkan 30 mL larutan Cd 5 mg/L yang dilarutkan menggunakan aquades hingga homogen.

i) Larutan Standar 2 mg/L

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

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1} = \frac{2 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}}{5 \text{ mg/L}} = 40 \text{ mL}$$

Jadi, untuk membuat 100 mL larutan standar Cd 2 mg/L dibutuhkan 40 mL larutan Cd 5 mg/L yang dilarutkan menggunakan aquades hingga homogen.

j) Larutan Standar 3 mg/L

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

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1} = \frac{3 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}}{5 \text{ mg/L}} = 60 \text{ mL}$$

Jadi, untuk membuat 100 mL larutan standar Cd 3 mg/L dibutuhkan 60 mL larutan Cd 5 mg/L yang dilarutkan menggunakan aquades hingga homogen.

k) Larutan Standar 5 mg/L

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

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1} = \frac{5 \text{ mg/L} \times 500 \text{ mL}}{200 \text{ mg/L}} = 12,5 \text{ mL}$$

Jadi, untuk membuat 500 mL larutan standar Cd 5 mg/L dibutuhkan 12,5 mL larutan induk Cd 1000 mg/L yang telah diencerkan menjadi 200 mg/L yang dilarutkan menggunakan aquades hingga homogen.

3. Preparasi Larutan Uji Cd

a) Larutan uji 200 mg/L

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

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1} = \frac{200 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}} = 20 \text{ mL}$$

Jadi, untuk membuat 100 mL larutan uji Cd 200 mg/L dibutuhkan 20 mL larutan induk Cd 1000 mg/L yang dilarutkan menggunakan aquades hingga homogen.

b) Larutan uji 25 mg/L

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

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1} = \frac{25 \text{ mg/L} \times 1000 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}} = 25 \text{ mL}$$

Jadi, untuk membuat 1000 mL larutan uji Cd 25 mg/L dibutuhkan 25 mL larutan induk Cd 1000 mg/L. Pada penelitian ini, digunakan 10.000 mL atau 10 Liter sehingga perlu pembuatan 10 kali per 1000 mL larutan Cd 25 mg/L yang dilarutkan menggunakan aquades hingga homogen.

4. Preparasi Asam Sitrat ($C_6H_8O_7$) 0,4 M

Larutan $C_6H_8O_7$ (asam sitrat) digunakan untuk mengaktivasi adsorben sumpit bekas dengan perbandingan antara massa adsorben dan larutan asam sitrat sebesar 1 : 10. Maka, untuk 500 gram adsorben sumpit bekas membutuhkan 5000 mL atau 5 Liter larutan asam sitrat.

$$Mr C_6H_8O_7 = 192 \text{ g/mol}$$

$$M = \frac{\text{Massa}}{Mr \times V}$$

$$0,4 \text{ mol/L} = \frac{\text{Massa}}{192 \text{ g/mol} \times 5 \text{ L}}$$

Massa = $0,4 \text{ mol/L} \times 192 \text{ g/mol} \times 5 \text{ L}$

Massa = 384 g

Jadi, larutan asam sitrat dibuat dengan melarutkan 384 gram $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ yang dilarutkan menggunakan aquades 5 Liter hingga homogen.

5. Model Thomas

| Pengambilan ke (jam) | Debit (mL/menit) | Tinggi Massa Adsorben (cm) | pH | Cin (mg/L) | Cef (mg/L) | Cterserap (mg/L) | Efisiensi % Removal | Ct/Co | ln(Co/Ct-1) |
|----------------------|------------------|----------------------------|----|------------|------------|------------------|---------------------|-------|-------------|
| 1 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 | 6,61 |
| 6 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 | 6,61 |
| 24 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 | 6,61 |
| 30 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 1,50 | 28,10 | 94,92 | 0,051 | 2,93 |
| 48 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 3,76 | 25,84 | 87,30 | 0,127 | 1,93 |
| 54 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 8,86 | 20,74 | 70,08 | 0,299 | 0,85 |
| 72 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 11,03 | 18,57 | 62,74 | 0,373 | 0,52 |
| 78 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 13,80 | 15,80 | 53,38 | 0,466 | 0,14 |
| 96 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 22,56 | 7,04 | 23,80 | 0,762 | -1,16 |
| 102 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 27,07 | 2,53 | 8,56 | 0,914 | -2,37 |
| 120 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 29,08 | 0,52 | 1,77 | 0,982 | -4,02 |

| Co (mg/L) | Debit (mL/menit) | Tinggi Massa Adsorben (cm) | Konstanta Kecepatan Adsorpsi [KTh] (L/menit.mg) | Kapasitas Adsorpsi [qTh] (mg/g) | R2 |
|-----------|------------------|----------------------------|---|---------------------------------|--------|
| 29,6 | 1,3 | 15 (4,8 gram) | 0,003040541 | 1 | 0,9451 |

6. Model Yoon-Nelson

| Pengambilan ke (jam) | Debit (mL/menit) | Tinggi Massa Adsorben (cm) | pH | Cin (mg/L) | Cef (mg/L) | Cterserap (mg/L) | Efisiensi % Removal | (Ct/(Co-Ct)) | ln (Ct/(Co-Ct)) |
|----------------------|------------------|----------------------------|----|------------|------------|------------------|---------------------|--------------|-----------------|
| 1 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 | -6,61 |
| 6 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 | -6,61 |
| 24 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 | -6,61 |
| 30 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 1,50 | 28,10 | 94,92 | 0,05 | -2,93 |
| 48 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 3,76 | 25,84 | 87,30 | 0,15 | -1,93 |
| 54 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 8,86 | 20,74 | 70,08 | 0,43 | -0,85 |
| 72 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 11,03 | 18,57 | 62,74 | 0,59 | -0,52 |
| 78 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 13,80 | 15,80 | 53,38 | 0,87 | -0,14 |
| 96 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 22,56 | 7,04 | 23,80 | 3,20 | 1,16 |
| 102 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 27,07 | 2,53 | 8,56 | 10,69 | 2,37 |
| 120 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 29,08 | 0,52 | 1,77 | 55,53 | 4,02 |

| Co (mg/L) | Debit (mL/menit) | Tinggi Massa Adsorben (cm) | Konstanta Kecepatan Adsorpsi [kYN] (L/menit) | t (menit) | Kapasitas Adsorpsi [qYN] (mg/g) | R2 |
|-----------|------------------|----------------------------|--|-----------|---------------------------------|--------|
| 29,6 | 1,3 | 15 (4,8 gram) | 0,0900 | 76,2078 | 1 | 0,9451 |

7. Model Adam-Bohart

| Pengambilan ke (jam) | Debit (mL/menit) | Tinggi Massa Adsorben (cm) | pH | Cin (mg/L) | Cef (mg/L) | Cterserap (mg/L) | Efisiensi % Removal | Ct/Co | ln (Ct/Co) |
|----------------------|------------------|----------------------------|----|------------|------------|------------------|---------------------|-------|------------|
| 1 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 | -6,61 |
| 6 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 | -6,61 |
| 24 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 0,04 | 29,56 | 99,86 | 0,001 | -6,61 |
| 30 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 1,50 | 28,10 | 94,92 | 0,05 | -2,98 |
| 48 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 3,76 | 25,84 | 87,30 | 0,13 | -2,06 |
| 54 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 8,86 | 20,74 | 70,08 | 0,30 | -1,21 |
| 72 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 11,03 | 18,57 | 62,74 | 0,37 | -0,99 |
| 78 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 13,80 | 15,80 | 53,38 | 0,47 | -0,76 |
| 96 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 22,56 | 7,04 | 23,80 | 0,76 | -0,27 |
| 102 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 27,07 | 2,53 | 8,56 | 0,91 | -0,09 |
| 120 | 1,3 | 15 | 7 | 29,6 | 29,08 | 0,52 | 1,77 | 0,98 | -0,02 |

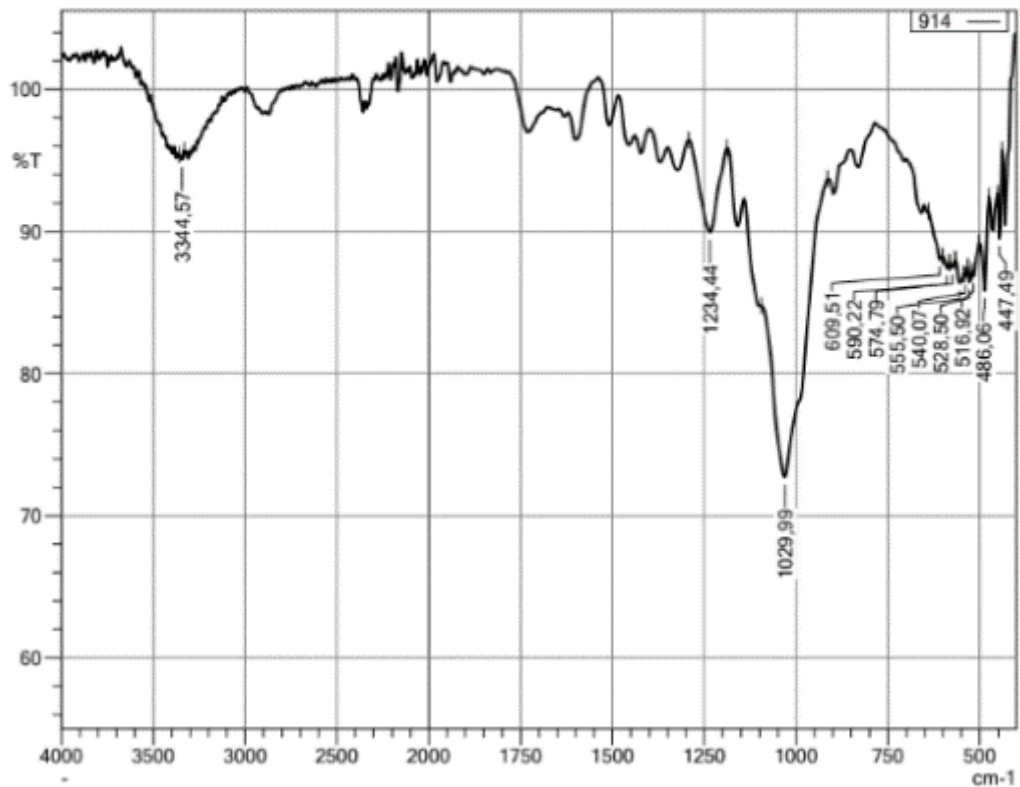
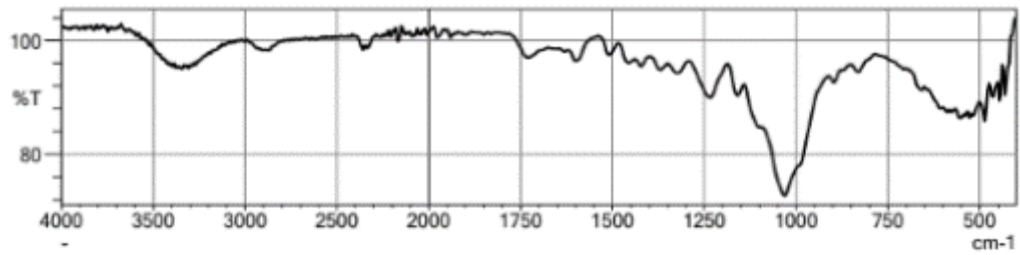
| Co (mg/L) | Debit (mL/menit) | Tinggi Massa Adsorben (cm) | Konstanta Kecepatan Adsorpsi [kAB] (L/menit.mg) | Kapasitas Adsorpsi [No] (mg/L) | R2 | F (menit/cm) | z (cm) | Luas (cm ²) |
|-----------|------------------|----------------------------|---|--------------------------------|--------|--------------|--------|-------------------------|
| 29,6 | 1,3 | 15 (4,8 gram) | 0,0021 | 0,00002 | 0,8292 | 0,020349606 | 15 | 63,8833 |

8. Perbandingan 3 Model

| No | Model | Variabel | Nilai |
|----|--------------|---|---------|
| 1 | Thomas | Konstanta Kecepatan Adsorpsi [KTh] (L/menit.mg) | 0,0030 |
| | | Kapasitas Adsorpsi [qTh] (mg/g) | 1 |
| | | R2 | 0,9451 |
| 2 | Yoon-Nelson | Konstanta Kecepatan Adsorpsi [kYN] (L/menit) | 0,0900 |
| | | t (menit) | 76,2078 |
| | | Kapasitas Adsorpsi [qYN] (mg/g) | 1 |
| | | R2 | 0,9451 |
| 3 | Adams-Bohart | Konstanta Kecepatan Adsorpsi [kAB] (L/menit.mg) | 0,0021 |
| | | No (mg/L) | 0,00002 |
| | | R2 | 0,8292 |

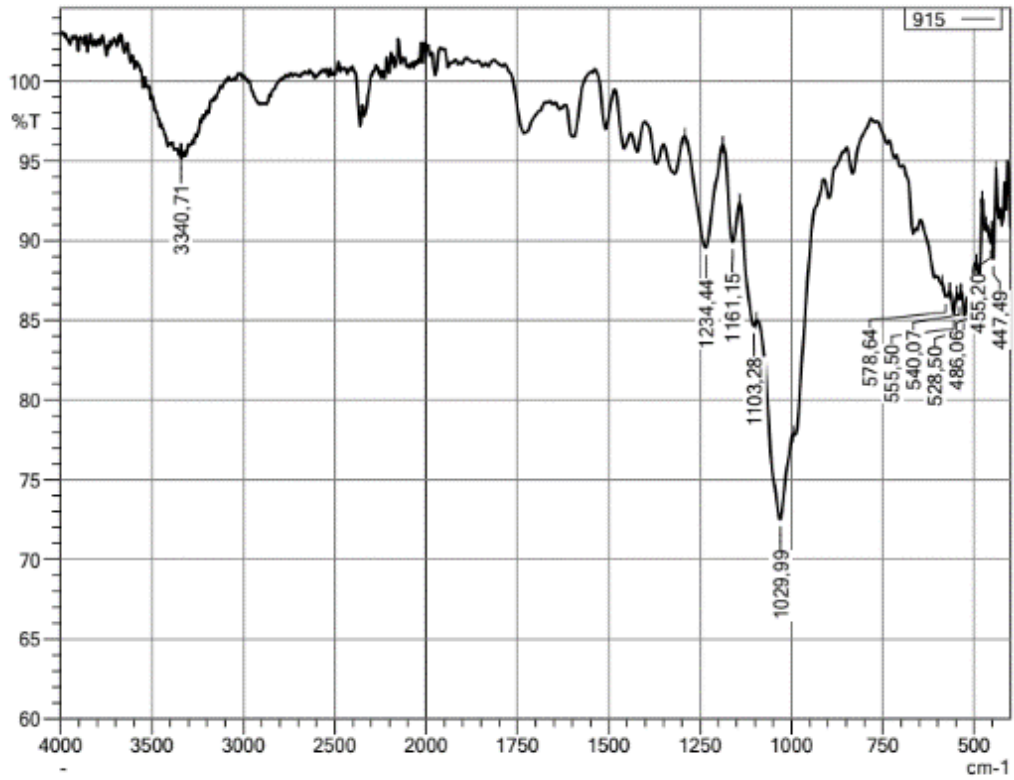
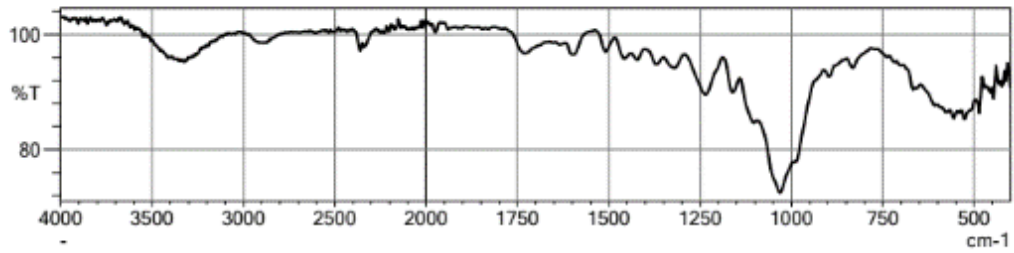
Lampiran 2 Data Karakteristik FTIR

1. Adsorben Sumpit Bekas (Tanpa Aktivasi)



| | Peak | Intensity | Corr. Intensity | Base (H) | Base (L) | Area | Corr. Area | Comment |
|----|---------|-----------|-----------------|----------|----------|----------|------------|---------|
| 1 | 447,49 | 89,48 | 4,22 | 451,34 | 439,77 | 100,389 | 33,305 | |
| 2 | 486,06 | 85,85 | 5,23 | 501,49 | 474,49 | 304,980 | 57,815 | |
| 3 | 516,92 | 86,88 | 0,73 | 520,78 | 501,49 | 233,392 | 5,989 | |
| 4 | 528,50 | 86,45 | 0,95 | 532,35 | 520,78 | 152,565 | 6,208 | |
| 5 | 540,07 | 86,80 | 0,38 | 543,83 | 532,35 | 148,930 | 1,496 | |
| 6 | 555,50 | 86,38 | 1,15 | 567,07 | 543,93 | 303,171 | 14,386 | |
| 7 | 574,79 | 87,46 | 0,47 | 582,50 | 567,07 | 190,254 | 3,983 | |
| 8 | 590,22 | 87,43 | 0,59 | 601,79 | 582,50 | 235,421 | 5,136 | |
| 9 | 609,51 | 88,05 | 0,86 | 640,37 | 601,79 | 405,904 | 14,514 | |
| 10 | 1029,99 | 72,70 | 15,31 | 1095,57 | 914,26 | 3296,383 | 1347,472 | |
| 11 | 1234,44 | 89,94 | 6,19 | 1292,31 | 1188,15 | 723,025 | 323,083 | |
| 12 | 3344,57 | 95,06 | 0,50 | 3360,00 | 3332,99 | 127,325 | 6,947 | |

2. Adsorben Sumpit Bekas (Teraktivasi)



| | Peak | Intensity | Corr. Intensity | Base (H) | Base (L) | Area | Corr. Area | Comment |
|----|---------|-----------|-----------------|----------|----------|----------|------------|---------|
| 1 | 447.49 | 88.86 | 3.13 | 451.34 | 439.77 | 104.412 | 19.006 | |
| 2 | 455.20 | 89.88 | 0.92 | 466.77 | 451.34 | 147.173 | 6.264 | |
| 3 | 486.06 | 86.31 | 4.31 | 493.78 | 478.35 | 177.040 | 32.407 | |
| 4 | 528.50 | 85.33 | 1.79 | 536.21 | 493.78 | 557.169 | 35.590 | |
| 5 | 540.07 | 86.33 | 0.42 | 547.78 | 536.21 | 155.635 | 2.041 | |
| 6 | 555.50 | 85.45 | 1.29 | 567.07 | 547.78 | 267.041 | 11.579 | |
| 7 | 578.64 | 86.48 | 0.66 | 586.36 | 567.07 | 256.335 | 7.291 | |
| 8 | 1029.99 | 72.53 | 7.82 | 1095.57 | 995.27 | 2229.966 | 369.073 | |
| 9 | 1103.28 | 84.65 | 1.59 | 1141.86 | 1095.57 | 580.674 | 58.190 | |
| 10 | 1161.15 | 89.92 | 4.01 | 1188.15 | 1141.86 | 356.158 | 89.083 | |
| 11 | 1234.44 | 89.55 | 6.72 | 1292.31 | 1188.15 | 734.148 | 349.365 | |
| 12 | 3340.71 | 95.48 | 0.12 | 3344.57 | 3336.85 | 34.386 | 0.478 | |

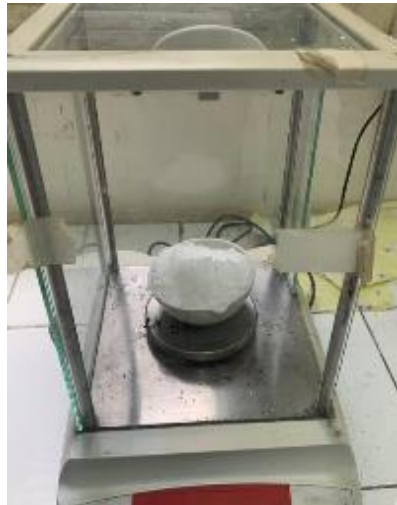
Lampiran 3 Data Dokumentasi

1. Preparasi Adsorben Sumpit Bekas





2. Preparasi Adorben Sumpit Bekas Teraktivasi



3. Preparasi Proses Adsorpsi





Lampiran 4 Tabel Korelasi Gugus Fungsi

Table 10B.2 Simplified Correlation Chart of Molecular Vibrations by Type*

| Type of vibration | | Frequency (cm ⁻¹) | Intensity [†] |
|-------------------|---|--|------------------------|
| C—H | Alkanes (stretch) | 3000–2880 | s |
| | —CH ₃ (bend) | 1450 and 1375 | m |
| | —CH ₂ — (bend) | 1465 | m |
| | Alkenes (stretch) | 3100–3000 | m |
| | (out-of-plane bend) | 1000–650 | s |
| | Aromatics (stretch) | 3150–3050 | s |
| | (out-of-plane bend) | 900–690 | s |
| | Alkyne (stretch) | ca. 3300 | s |
| | Aldehyde (stretch) | 2900–2800 | w |
| | | 2800–2700 | w |
| C—C | Alkane | not interpretatively useful | |
| C=C | Alkene | 1680–1600 | m-w |
| | Aromatic | 1600 and 1475 | m-w |
| C≡C | Alkyne | 2250–2100 | m-w |
| C=O | Aldehyde | 1740–1720 | s |
| | Ketone | 1725–1705 | s |
| | Carboxylic acid | 1725–1700 | s |
| | Ester | 1750–1730 | s |
| | Amide | 1670–1640 | s |
| | Anhydride | 1810 and 1760 | s |
| | Acid chloride | 1800 | s |
| | C—C | Alcohols, ethers, esters, carboxylic acids, anhydrides | 1300–1000 |
| O—H | Alcohols, phenols | | |
| | Free | 3650–3600 | m |
| | H-bonded | 3500–3200 | m |
| | Carboxylic acids | 3400–2400 | m |
| N—H | Primary and secondary amines and amides (stretch) | 3500–3100 | m |
| | (bend) | 1640–1550 | m-s |
| C—N | Amines | 1350–1000 | m-s |
| C=C | Imines and oximes | 1690–1640 | w-s |
| C≡N | Nitriles | 2260–2240 | m |
| X=C=Y | Allenes, ketenes, isocyanates, isothiocyanates | 2270–1950 | m-s |
| N=O | Nitro (R—NO ₂) | 1550 and 1350 | s |
| S—H | Mercaptans | 2550 | w |
| S=O | Sulfoxides | 1050 | s |
| | Sulfones, sulfonyl chlorides | 1375–1300 and | s |
| | Sulfates, sulfonamides | 1200–1140 | s |
| C—X | Fluoride | 1400–1000 | s |
| | Chloride | 800–600 | s |
| | Bromide, iodide | <667 | s |

*Data from Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S. 1979. *Introduction to Spectroscopy: A Guide for Students of Organic Chemistry*.

[†]s = strong, m = medium, w = weak.

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* | 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 ₂ and -CH ₃ 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) |

*v = very, s = strong, m = medium, w = weak, br = broad.



TABLE 7-3 (Continued)

| Range (cm ⁻¹) and Intensity ^a | 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; enol form |
| 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) | N-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-C in epoxides | 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 |

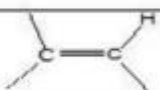

TABLE 7-3 (Continued)

| Range (cm ⁻¹) and Intensity* | 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 ₂ 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 ₂ H in sulfonic acids | SO ₂ 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) | $\text{CH}_2=\begin{matrix} \text{R} \\ \text{C} \\ \text{R}' \end{matrix}$ 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) | $\text{CH}=\begin{matrix} \text{R} \\ \text{C} \\ \text{R}' \end{matrix}$ 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 |

Joseph B. Lambert, et al.
Introduction to Organic
Spectroscopy, Macmillan
 Publ. N.Y. (1987)

| Ikatan | Tipe Senyawa | Daerah frekuensi (cm ⁻¹) | Intensitas |
|-----------------|--|--------------------------------------|---|
| C - H | Alkana | 2850 - 2970 1340 - 1470 | Kuat Kuat |
| C - H | Alkena  | 3010 - 3095 675 - 995 | Sedang Kuat |
| C - H | Alkuna  | 3300 | Kuat |
| C - H | Cincin Aromatik | 3010 - 3100 690 - 900 | Sedang Kuat |
| O - H | Fenol, monomer alkohol, alkohol ikatan hidrogen, fenol | 3590 - 3650 3200 - 3600 | Berubah-ubah Berubah-ubah, terkadang melebar |
| | monomer asam karboksilat, ikatan hidrogen asam karboksilat | 3500 - 3650 2500 - 2700 | Sedang Melebar |
| N - H | Amina, Amida | 3300 - 3500 | Sedang |
| C=C | Alkena | 1610 - 1680 | Berubah-ubah |
| C=C | Cincin Aromatik | 1500 - 1600 | Berubah-ubah |
| C≡C | Alkuna | 2100 - 2260 | Berubah-ubah |
| C - N | Amina, Amida | 1180 - 1360 | Kuat |
| C≡N | Nitril | 2210 - 2280 | Kuat |
| C - O | Alkohol, Eter, Asam Karborsilat, Ester | 1050 - 1300 | Kuat |
| C=O | Aldehid, Keton, Asam Karboksilat, Ester | 1690 - 1760 | Kuat |
| NO ₂ | Senyawa Nitro | 1500 - 1570 1300 - 1370 | Kuat Kuat |

Sumber : *Principle of Instrumental Analysis*, Skoog, Holler, Nieman, 1998.

Lampiran 5 SNI Nomor 06-6989-16. 2009

SNI Nomor 06-6989-16. 2009 – Bagian 16 : Cara uji kadmium (Cd) dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – nyala.

SNI

Standar Nasional Indonesia

SNI 6989.16:2009

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk penayangan di website dan tidak untuk dikomersialkan"

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

ICS 13.060.50

Badan Standardisasi Nasional



Daftar isi

| | |
|---|----|
| Daftar isi..... | i |
| Prakata | ii |
| 1 Ruang lingkup | 1 |
| 2 Istilah dan definisi..... | 1 |
| 3 Cara uji..... | 2 |
| 4 Pengendalian mutu | 5 |
| 5 Rekomendasi | 5 |
| Lampiran A (normatif) Pelaporan..... | 6 |
| Lampiran B (informatif) Pemakaian asam lain bersama dengan asam nitrat untuk persiapan contoh uji | 7 |
| Bibliografi..... | 8 |
| | |
| Tabel B.1 – Pemakaian asam lain bersama dengan asam nitrat untuk persiapan contoh uji | 7 |

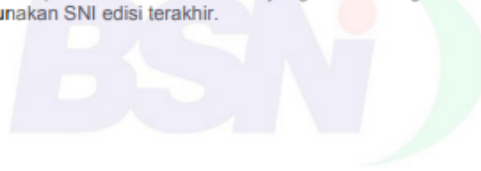
SNI 6989.16:2009

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) ini merupakan hasil revisi dari SNI 06-6989.16-2004, *Air dan air limbah – Bagian 16: Cara uji kadmium (Cd) dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – nyala*. SNI ini menggunakan referensi dari metode standar internasional yaitu *Standard Methods for the Examination Of Water and Wastewater 21 th Edition*, editor *L.S.Clesceri, A.E.Greenberg, A.D.Eaton, APHA, AWWA and WPCF, Washington DC (2005)*. SNI ini telah melalui uji coba di laboratorium pengujian dalam rangka validasi dan verifikasi metode serta di konsensuskan oleh Subpanitia Teknis 13-03-S1, *Kualitas Air* dari Panitia Teknis 13-03, *Kualitas Lingkungan dan Manajemen Lingkungan* dengan para stakeholder terkait.

SNI ini telah disepakati dan disetujui dalam rapat konsensus dengan peserta rapat yang mewakili produsen, konsumen, pakar, dan pemerintah terkait pada tanggal 11 September 2007 di Serpong dan telah melalui konsensus nasional Jajak Pendapat pada tanggal 11 Juni 2008 sampai dengan 11 Agustus 2008.

Dengan dirumuskannya SNI ini, maka penerapan SNI 06-6989.16-2004, dinyatakan tidak berlaku lagi. Pemakai SNI agar dapat meneliti validasi SNI yang terkait dengan metode ini, sehingga dapat selalu menggunakan SNI edisi terakhir.



"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk penayangan di website dan tidak untuk dikomersialkan"

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 $\mu\text{S/cm}$.

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

- a) Air bebas mineral.
- b) Asam nitrat (HNO_3) pekat p.a.
- c) Logam kadmium (Cd) dengan kemurnian minimum 99,5 %.
- d) Gas asetilen (C_2H_2) HP dengan tekanan minimum 100 psi.
- e) Larutan pengencer HNO_3 0,05 M.
Larutkan 3,5 mL HNO_3 pekat ke dalam 1000 mL air bebas mineral dalam gelas piala.
- f) 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.
- g) Udara tekan HP atau udara tekan dari kompresor.

3.3 Peralatan

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

- a) Gunakan bahan kimia pro analisis (pa).
- b) Gunakan alat gelas bebas kontaminasi.
- c) Gunakan alat ukur yang terkalibrasi.
- d) Dikerjakan oleh analis yang kompeten.
- e) Lakukan analisis dalam jangka waktu yang tidak melampaui waktu penyimpanan maksimum.
- f) Perhitungan koefisien korelasi regresi linier (r) lebih besar atau sama dengan 0,995 dengan intersepsi lebih kecil atau sama dengan batas deteksi.
- g) 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.
- h) 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:

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

- i) 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)

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

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.

- j) 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

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

Lampiran A
(normatif)
Pelaporan

Catat pada buku kerja hal-hal sebagai berikut:

- 1) Parameter yang dianalisis.
- 2) Nama analisis.
- 3) Tanggal analisis.
- 4) Rekaman hasil pengukuran duplo, triplo dan seterusnya.
- 5) Rekaman kurva kalibrasi atau kromatografi.
- 6) Nomor contoh uji.
- 7) Tanggal penerimaan contoh uji.
- 8) Rekaman hasil perhitungan.
- 9) Hasil pengukuran persen *spike matrix* atau standar kerja dan CRM atau *blind sample* (bila dilakukan).
- 10) Kadar analit dalam contoh uji.



Lampiran B

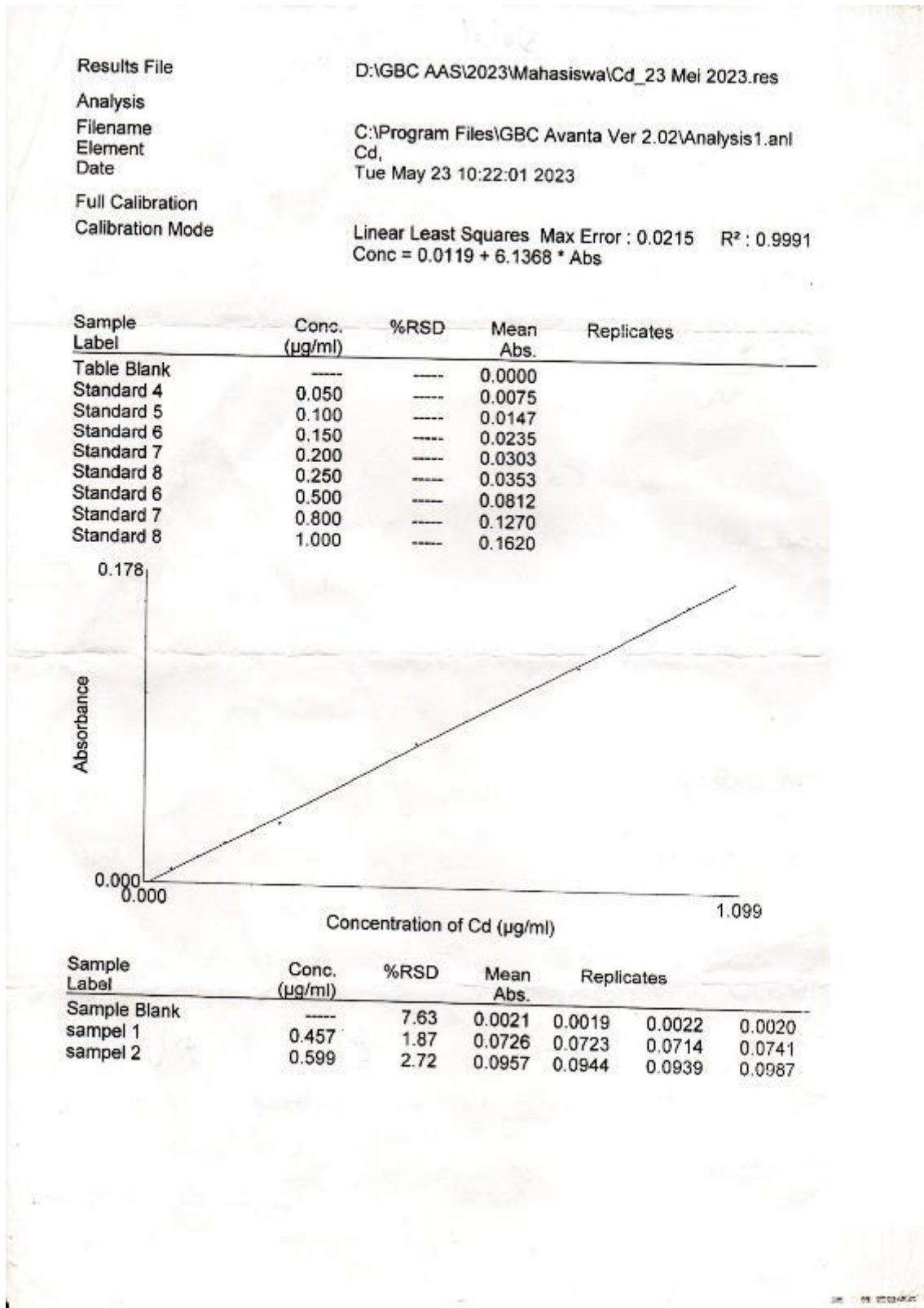
(informatif)

Pemakaian asam lain bersama dengan asam nitrat untuk persiapan contoh uji**Tabel B.1 - Pemakaian asam lain bersama dengan asam nitrat untuk persiapan contoh uji**

| Asam | Disarankan untuk analisis | Bisa berguna untuk contoh uji | Tidak disarankan untuk analisis |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| HCl | Ag | Sb, Ru, Sn | Th, Pb |
| H ₂ SO ₄ | Ti | - | Ag, Pb, Ba |
| HClO ₄ | - | mengandung bahan organik | - |
| HF | - | mengandung silika | - |



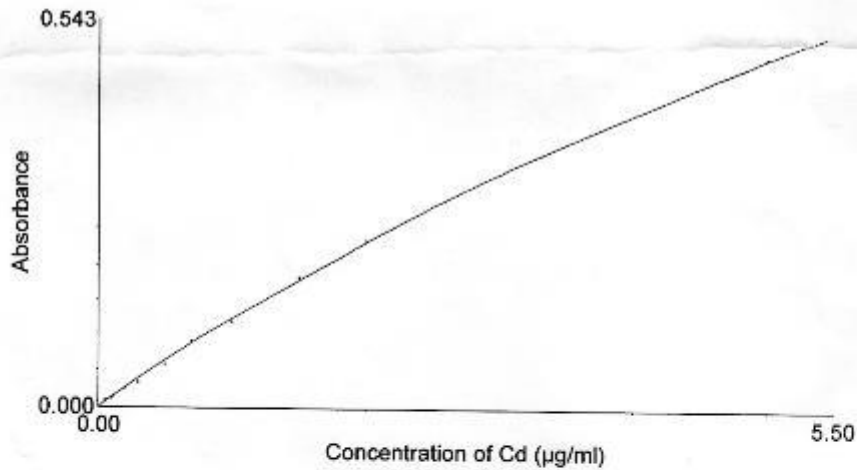
Lampiran 6 Hasil Uji AAS



Rielsen

Results File D:\GBC AAS\2023\Mahasiswa\Cd(67+4)_4 Juli 2023.res
Analysis
Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl
Element Cd,
Date Tue Jul 04 13:20:30 2023
Full Calibration
Calibration Mode Conc Least Squares Max Error : 0.0438 R² : 0.9997
Conc = Abs / (0.1313 + -0.0674 * Abs)

| Sample Label | Conc. (µg/ml) | %RSD | Mean Abs. | Replicates |
|--------------|---------------|-------|-----------|------------|
| Table Blank | ----- | ----- | 0.0000 | |
| Standard 1 | 0.050 | ----- | 0.0082 | |
| Standard 2 | 0.100 | ----- | 0.0126 | |
| Standard 3 | 0.200 | ----- | 0.0250 | |
| Standard 4 | 0.300 | ----- | 0.0331 | |
| Standard 5 | 0.500 | ----- | 0.0583 | |
| Standard 6 | 0.700 | ----- | 0.0901 | |
| Standard 7 | 1.000 | ----- | 0.1191 | |
| Standard 8 | 1.500 | ----- | 0.1834 | |
| Standard 9 | 2.000 | ----- | 0.2348 | |
| Standard 10 | 5.000 | ----- | 0.4932 | |



| Sample Label | Conc. (µg/ml) | %RSD | Mean Abs. | Replicates |
|--------------|---------------|-------|-----------|------------|
| Sample Blank | ----- | ----- | -0.0006 | -0.0006 |
| Sample 1 | 0.148 | ----- | 0.0192 | 0.0192 |
| Sample 2 | 0.044 | ----- | 0.0057 | 0.0057 |
| Sample 3 | 0.017 | ----- | 0.0022 | 0.0022 |
| Sample 4 | 0.018 | ----- | 0.0024 | 0.0024 |
| Sample 5 | 0.018 | ----- | 0.0023 | 0.0023 |
| Sample 6 | 0.021 | ----- | 0.0028 | 0.0028 |
| Sample 7 | 0.013 | ----- | 0.0017 | 0.0017 |
| Sample 8 | 0.016 | ----- | 0.0021 | 0.0021 |

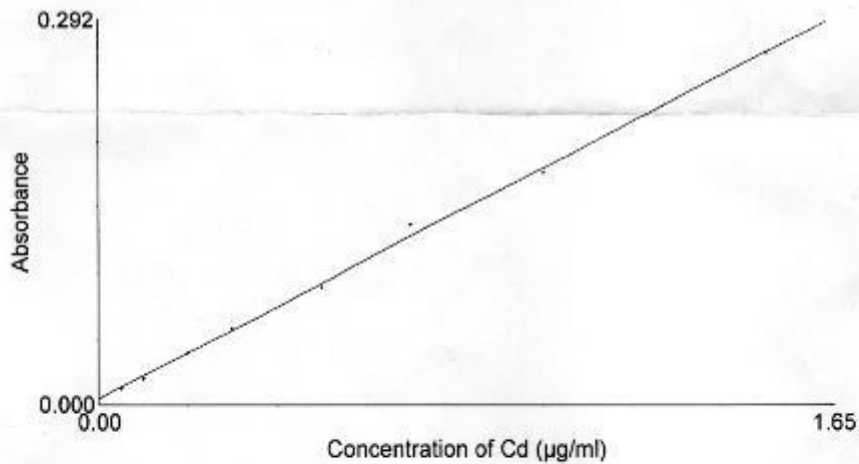
| Sample Label | Conc. (µg/ml) | %RSD | Mean Abs. | Replicates |
|--------------|---------------|------|-----------|------------|
| Sample 9 | 0.017 | ---- | 0.0022 | 0.0022 |
| Sample 10 | 0.012 | ---- | 0.0016 | 0.0016 |
| Sample 11 | 0.023 | ---- | 0.0031 | 0.0031 |
| Sample 12 | 0.001 | ---- | 0.0002 | 0.0002 |
| Sample 13 | 0.000 | ---- | -0.0006 | -0.0006 |
| Sample 14 | 0.000 | ---- | -0.0028 | -0.0028 |
| Sample 15 | 0.006 | ---- | 0.0008 | 0.0008 |
| Sample 16 | 0.008 | ---- | 0.0011 | 0.0011 |
| Sample 17 | 0.029 | ---- | 0.0038 | 0.0038 |
| Sample 18 | 0.006 | ---- | 0.0008 | 0.0008 |
| Sample 19 | 0.021 | ---- | 0.0028 | 0.0028 |
| Sample 20 | 0.000 | ---- | -0.0000 | -0.0000 |
| Sample 21 | 0.002 | ---- | 0.0003 | 0.0003 |
| Sample 22 | 0.010 | ---- | 0.0013 | 0.0013 |
| Sample 23 | 0.002 | ---- | 0.0003 | 0.0003 |
| Sample 24 | 0.000 | ---- | -0.0006 | -0.0006 |
| Sample 25 | 0.000 | ---- | -0.0010 | -0.0010 |
| Sample 26 | 0.033 | ---- | 0.0044 | 0.0044 |
| Sample 27 | 0.017 | ---- | 0.0023 | 0.0023 |
| Sample 28 | 0.046 | ---- | 0.0060 | 0.0060 |
| Sample 29 | 0.012 | ---- | 0.0016 | 0.0016 |
| Sample 30 | 0.011 | ---- | 0.0015 | 0.0015 |
| Sample 31 | 0.020 | ---- | 0.0027 | 0.0027 |
| Sample 32 | 0.011 | ---- | 0.0015 | 0.0015 |
| Sample 33 | 0.025 | ---- | 0.0033 | 0.0033 |
| Sample 34 | 0.008 | ---- | 0.0011 | 0.0011 |
| Sample 35 | 0.030 | ---- | 0.0039 | 0.0039 |
| Sample 36 | 0.016 | ---- | 0.0021 | 0.0021 |
| Sample 37 | 0.010 | ---- | 0.0014 | 0.0014 |
| Sample 38 | 0.036 | ---- | 0.0047 | 0.0047 |
| Sample 39 | 0.025 | ---- | 0.0032 | 0.0032 |
| Sample 40 | 0.011 | ---- | 0.0014 | 0.0014 |
| Sample 41 | 0.033 | ---- | 0.0044 | 0.0044 |
| Sample 42 | 0.025 | ---- | 0.0033 | 0.0033 |
| Sample 43 | 0.027 | ---- | 0.0035 | 0.0035 |
| Sample 44 | 0.019 | ---- | 0.0025 | 0.0025 |
| Sample 45 | 0.030 | ---- | 0.0040 | 0.0040 |
| Sample 46 | 0.018 | ---- | 0.0024 | 0.0024 |
| Sample 47 | 0.027 | ---- | 0.0036 | 0.0036 |
| Sample 48 | 0.021 | ---- | 0.0028 | 0.0028 |
| Sample 49 | 0.025 | ---- | 0.0033 | 0.0033 |
| Sample 50 | 0.062 | ---- | 0.0081 | 0.0081 |
| Sample 51 | 0.063 | ---- | 0.0083 | 0.0083 |
| Sample 52 | 0.057 | ---- | 0.0074 | 0.0074 |
| Sample 53 | 0.063 | ---- | 0.0083 | 0.0083 |
| Sample 54 | 0.054 | ---- | 0.0070 | 0.0070 |
| Sample 55 | 0.034 | ---- | 0.0045 | 0.0045 |
| Sample 56 | 0.047 | ---- | 0.0061 | 0.0061 |
| Sample 57 | 0.068 | ---- | 0.0090 | 0.0090 |
| Sample 58 | 0.058 | ---- | 0.0076 | 0.0076 |
| Sample 59 | 0.036 | ---- | 0.0047 | 0.0047 |
| Sample 60 | 0.055 | ---- | 0.0072 | 0.0072 |
| Sample 61 | 0.048 | ---- | 0.0063 | 0.0063 |
| Sample 62 | 0.048 | ---- | 0.0062 | 0.0062 |

| Sample Label | Conc. (µg/ml) | %RSD | Mean Abs. | Replicates |
|--------------|---------------|------|-----------|------------|
| Sample 63 | 0.033 | ---- | 0.0044 | 0.0044 |
| Sample 64 | 0.045 | ---- | 0.0058 | 0.0058 |
| Sample 65 | 0.047 | ---- | 0.0062 | 0.0062 |
| Sample 66 | 0.051 | ---- | 0.0067 | 0.0067 |
| Sample 67 | 0.064 | ---- | 0.0084 | 0.0084 |
| Sample 68 | 0.053 | ---- | 0.0069 | 0.0069 |
| A Sample 69 | 0.157 (16) | ---- | 0.0205 | 0.0205 |
| A Sample 70 | 0.230 (13) | ---- | 0.0297 | 0.0297 |
| β Sample 70 | 0.597 (59) | ---- | 0.0754 | 0.0754 |
| β Sample 71 | 0.637 (61) | ---- | 0.0802 | 0.0802 |

} 59

Results File D:\GBC AAS\2023\Mahasiswa\101.cd.res
 Analysis
 Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl
 Element Cd,
 Date Tue Jul 11 14:46:08 2023
 Full Calibration
 Calibration Mode Linear Least Squares Max Error : 0.0493 R² : 0.9981
 Conc = -0.0244 + 5.7016 * Abs

| Sample Label | Conc. (µg/ml) | %RSD | Mean Abs. | Replicates | | |
|--------------|---------------|------|-----------|------------|--------|--------|
| Cal Blank | --- | 6.14 | 0.0008 | 0.0008 | 0.0008 | 0.0009 |
| Standard 1 | 0.050 | 4.15 | 0.0118 | 0.0114 | 0.0123 | 0.0117 |
| Standard 2 | 0.100 | 4.35 | 0.0198 | 0.0203 | 0.0203 | 0.0188 |
| Standard 3 | 0.200 | 1.97 | 0.0394 | 0.0389 | 0.0403 | 0.0390 |
| Standard 4 | 0.300 | 3.53 | 0.0584 | 0.0569 | 0.0576 | 0.0608 |
| Standard 5 | 0.500 | 0.92 | 0.0894 | 0.0900 | 0.0885 | 0.0898 |
| Standard 6 | 0.700 | 1.60 | 0.1357 | 0.1376 | 0.1334 | 0.1361 |
| Standard 7 | 1.000 | 2.71 | 0.1763 | 0.1712 | 0.1768 | 0.1808 |
| Standard 8 | 1.500 | 1.19 | 0.2663 | 0.2677 | 0.2627 | 0.2685 |



| Sample Label | Conc. (µg/ml) | %RSD | Mean Abs. | Replicates | | |
|--------------|---------------|-------|-----------|------------|--------|--------|
| Sample 1 | 0.097 | HIGH | 0.0213 | 0.0264 | 0.0197 | 0.0177 |
| Sample 2 | 0.041 | 7.82 | 0.0114 | 0.0124 | 0.0109 | 0.0108 |
| Sample 3 | 0.004 | HIGH | 0.0050 | 0.0062 | 0.0047 | 0.0040 |
| Sample 4 | 0.006 | 2.28 | 0.0054 | 0.0053 | 0.0053 | 0.0055 |
| Sample 5 | 0.009 | 10.39 | 0.0059 | 0.0057 | 0.0054 | 0.0066 |
| Sample 6 | -0.001 | HIGH | 0.0040 | 0.0049 | 0.0039 | 0.0033 |
| Sample 7 | -0.002 | 15.39 | 0.0039 | 0.0045 | 0.0039 | 0.0033 |
| Sample 8 | -0.014 | HIGH | 0.0019 | 0.0008 | 0.0026 | 0.0022 |
| Sample 9 | -0.005 | HIGH | 0.0034 | 0.0028 | 0.0029 | 0.0043 |
| Sample 10 | -0.006 | 13.74 | 0.0033 | 0.0037 | 0.0029 | 0.0031 |
| Sample 11 | -0.008 | 14.97 | 0.0029 | 0.0028 | 0.0033 | 0.0024 |

| Sample Label | Conc. (µg/ml) | %RSD | Mean Abs. | Replicates | | |
|--------------|---------------|-------|-----------|------------|---------|---------|
| Sample 12 | -0.014 | HIGH | 0.0018 | 0.0014 | 0.0015 | 0.0024 |
| Sample 13 | -0.012 | 9.74 | 0.0021 | 0.0019 | 0.0020 | 0.0023 |
| Sample 14 | -0.018 | HIGH | 0.0011 | 0.0010 | 0.0016 | 0.0009 |
| Sample 15 | 0.010 | 14.40 | 0.0061 | 0.0051 | 0.0064 | 0.0068 |
| Sample 16 | -0.010 | HIGH | 0.0025 | 0.0030 | 0.0035 | 0.0008 |
| Sample 17 | -0.015 | HIGH | 0.0017 | 0.0011 | 0.0020 | 0.0018 |
| Sample 18 | -0.016 | 6.66 | 0.0015 | 0.0015 | 0.0015 | 0.0014 |
| Sample 19 | -0.002 | HIGH | 0.0039 | 0.0036 | 0.0048 | 0.0033 |
| Sample 20 | -0.025 | HIGH | -0.0001 | 0.0004 | 0.0000 | -0.0008 |
| Sample 21 | -0.023 | HIGH | 0.0002 | 0.0013 | 0.0004 | -0.0010 |
| S1 | 0.883 | 0.26 | 0.1592 | 0.1588 | 0.1596 | 0.1592 |
| S2 | 1.230 | 5.89 | 0.2199 | 0.2301 | 0.2244 | 0.2054 |
| S3 | 0.820 | 0.62 | 0.1481 | 0.1491 | 0.1478 | 0.1473 |
| S4 | 0.048 | 7.40 | 0.0126 | 0.0133 | 0.0131 | 0.0116 |
| S5 | 0.015 | 7.98 | 0.0070 | 0.0070 | 0.0064 | 0.0075 |
| S6 | 0.943 | 18.08 | 0.1696 | 0.1395 | 0.1685 | 0.2008 |
| S7 | -0.007 | 8.29 | 0.0030 | 0.0032 | 0.0027 | 0.0031 |
| S8 | -0.013 | HIGH | 0.0021 | 0.0033 | 0.0021 | 0.0009 |
| S9 | 0.136 | HIGH | 0.0281 | 0.0373 | 0.0256 | 0.0213 |
| S10 | -0.026 | HIGH | -0.0003 | -0.0003 | -0.0006 | 0.0001 |
| S11 | 0.938 | 1.27 | 0.1688 | 0.1712 | 0.1680 | 0.1672 |
| S12 | 0.332 | 3.98 | 0.0625 | 0.0599 | 0.0648 | 0.0630 |
| S13 | 0.575 | 1.18 | 0.1051 | 0.1036 | 0.1057 | 0.1058 |
| S14 | 0.876 | 2.54 | 0.1578 | 0.1614 | 0.1586 | 0.1535 |
| S15 | 0.310 | 1.14 | 0.0587 | 0.0580 | 0.0587 | 0.0593 |
| R1 | 0.082 | 14.04 | 0.0187 | 0.0215 | 0.0162 | 0.0163 |
| R2 | 0.039 | 2.25 | 0.0111 | 0.0110 | 0.0114 | 0.0110 |
| R3 | -0.010 | 19.30 | 0.0025 | 0.0030 | 0.0021 | 0.0024 |
| R4 | -0.006 | HIGH | 0.0033 | 0.0041 | 0.0033 | 0.0023 |
| R5 | -0.014 | HIGH | 0.0018 | 0.0017 | 0.0027 | 0.0008 |
| R6 | -0.013 | 15.50 | 0.0019 | 0.0021 | 0.0021 | 0.0016 |
| R7 | -0.019 | HIGH | 0.0010 | 0.0015 | 0.0003 | 0.0012 |
| R8 | -0.023 | HIGH | 0.0002 | 0.0007 | -0.0010 | 0.0009 |

RIWAYAT HIDUP



Nama penulis adalah Rielsa, biasa dipanggil Ecak. Lahir dan besar di Desa Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Palembang, Sumatera Selatan pada tanggal 26 Januari 2001. Merupakan putri Ketiga dari Bapak Ridwan Effendi dan Ibu Elvianah. Penulis menempuh pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Unggulan Lawang Kidul pada tahun 2013 hingga 2016. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Unggulan Muara Enim dari tahun 2017 hingga 2019. Pada tahun 2019, menempuh pendidikan strata satu di Universitas Islam Indonesia mengambil program studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.

Penulis juga aktif dalam organisasi, seperti KBD UII (Komunitas Bakti Desa Universitas Islam Indonesia) sebagai staf divisi Pertanian (Lingkungan) periode 2019-2020. Selain itu, penulis juga mengikuti organisasi di dalam perkuliahan seperti HMTL FTSP UII sebagai staff departemen Informasi dan Komunikasi periode 2021-2022.