

**PEMANFAATAN ADSORBEN CAMPURAN ARANG AKTIF
TEMPURUNG KLUWAK DAN BENTONIT UNTUK ADSORPSI
ION LOGAM KADMIUM(II)**

SKRIPSI

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



Oleh

DEWI SALSABILA

1808036028

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
KOTA SEMARANG**

2022

**PEMANFAATAN ADSORBEN CAMPURAN ARANG AKTIF
TEMPURUNG KLUWAK dan BENTONIT UNTUK ADSORPSI
ION LOGAM KADMIUM(II)**

SKRIPSI

Oleh

DEWI SALSABILA

1808036028

**Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Strata Satu Program Studi Kimia Fakultas Sains dan
Teknologi UIN Walisongo Semarang**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO**

KOTA SEMARANG

2022

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dewi Salsabila

NIM : 1808036028

Jurusan : Kmia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**Pemanfaatan Adsorben Campuran Arang Aktif
Tempurung Kluwak dan Bentonit Untuk Adsorpsi Ion
Logam Kadmium(II)**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian atau karya saya sendiri, kecuali bagian lain yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 13 September 2022

Pembuat pernyataan



Dewi Salsabila

1808036028

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : **Pemanfaatan Adsorben Campuran Arang Aktif Tempurung Kluwak dan Bentonit Untuk Adsorpsi Ion Logam Kadmium (II)**

Nama : Dewi Salsabila

NIM : 1808036028

Jurusan : Kimia

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

Semarang, 07 Oktober 2022

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang

Kholidah, M.Sc

NIP. 198508112019032008

Sekretaris Sidang

Kustomo, M.Sc

NIP. 198802262019031007

Penguji I

Dr. Ervin Tri Surya Adari, M.Sc

NIP. 197407162001122001

Penguji II

Zidni Azizati, M.Sc

NIP. 1990011172018012001

Pembimbing I

Kholidah, M.Sc

NIP. 198508112019032008

Pembimbing II

Kustomo, M.Sc

NIP. 198802262019031007



NOTA DINAS

Semarang, 13 September 2022

Yth. Ketua Program Studi Kimia

Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum. wr. wb.

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

Judul : **Pemanfaatan Adsorben Campuran Arang Aktif Tempurung Kluwak dan Bentonit Untuk Adsorpsi Ion Logam Kadmium(II)**

Nama : Dewi Salsabila

NIM : 1808036028

Jurusan: Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diajukan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum. wr. wb.

Dosen Pembimbing I



Kholidah, M.Sc

NIP. 19850811201903 2 008

NOTA DINAS

Semarang, 13 September 2022

Yth. Ketua Program Studi Kimia

Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum. wr. wb.

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

Judul : **Pemanfaatan Adsorben Campuran Arang Aktif Tempurung Kluwak dan Bentonit Untuk Adsorpsi Ion Logam Kadmium(II)**

Nama : Dewi Salsabila

NIM : 1808036028

Jurusan: Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diajukan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum. wr. wb.

Dosen Pembimbing II



Kustomo, M.Sc

NIP. 19880226201903 1 007

ABSTRAK

Judul : **Pemanfaatan Adsorben Campuran Arang Aktif dan Bentonit Untuk Adsorpsi Ion Logam Kadmium(II)**

Nama : Dewi Salsabila

NIM : 1808036028

Logam Kadmium(II) merupakan salah satu logam berat yang ditemukan pada limbah industri yang bersifat berbahaya, beracun, dan dapat mengganggu kesehatan manusia. Metode untuk mengurangi kadar logam Kadmium(II) pada limbah industri yaitu adsorpsi dengan menggunakan adsorben. Adsorben yang digunakan yaitu tempurung kluwak yang mengandung selulosa dan lignin, serta bentonit yang mengandung aluminium dan silika. Pada penelitian ini dilakukan pencampuran arang aktif tempurung kluwak (AATK) dan bentonit teraktivasi (BT) untuk mengetahui komposisi terbaik dari campuran AATK-BT untuk mengadsorpsi ion logam kadmium(II). Karakterisasi AATK-BT diuji menggunakan instrumen FTIR dan SEM EDX. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spektra FTIR dari AATK-BT mengandung gugus -OH, C=O, Al-OH-Al, Si-O-Si, dan Si-O-Al yang berperan untuk penyerapan ion logam kadmium(II). Komposisi terbaik dari adsorben campuran AATK-BT yaitu 25%:75% dengan kapasitas adsorpsi sebesar 3,673 mg/g pada kondisi konsentrasi larutan 180 ppm pH 6 dengan waktu kontak selama 180 menit. Kinetika adsorpsi yang sesuai pada penelitian ini mengikuti pseudo orde dua dengan nilai R^2 sebesar 0,996, sedangkan isoterm adsorpsi mengikuti persamaan isoterm Freundlich.

Kata Kunci : *Tempurung Kluwak, Bentonit, Adsorpsi, dan Ion logam Kadmium.*

TRANSLITERASI HURUF ARAB - LATIN

A. Konsonan

ع = '	ز = z	ق = q
ب = b	س = s	ك = k
ت = t	ش = sy	ل = l
ث = ts	ص = sh	م = m
ج = j	ض = dl	ن = n
ح = h	ط = th	و = w
خ = kh	ظ = zh	ه = h
د = d	ع = '	ي = y
ذ = dz	غ = gh	
ر = r	ف = f	

B. Vokal

اَ-	A
اِ-	I
اُ-	U

C. Bacaan Diftong

اي	Ay
او	Aw

D. Bacaan Madd:

a> = a panjang

i> = i panjang

u> = u panjang

E. Syaddah (ّ-)

Syaddah dilambangkan dengan konsonan ganda, misalnya الطَّبّ *at-thibb*.

F. Kata Sandang (... ال)

Kata Sandang (... ال) ditulis dengan *al-...* misalnya الصنّاعه = *al-shina'ah*. *al-* ditulis dengan huruf kecil kecuali jika terletak pada permulaan kalimat.

G. Ta' Marbutah (ة)

Setiap *ta' marbutah* ditulis dengan "h" misalnya المعيشه الطبيعية = *al-ma'isyah al-thabi'iyah*.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil 'Alamin segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan sebaik-baiknya yang berjudul: Pemanfaatan Adsorben Campuran Arang Aktif Tempurung Kluwak dan Bentonit Sebagai Adsorpsi Ion Logam Kadmium(II). Tidak lupa penulis sampaikan sholawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW dengan harapan semoga mendapat syafaat kelak di hari kiamat.

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

Penulis sampaikan ucapan terima kasih dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat bagi semua pihak yang telah memberikan kontribusinya berupa ilmu pengetahuan, moral, maupun materi baik secara langsung maupun tidak langsung selama penyusunan tugas akhir dari awal hingga selesai. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Imam Taufiq, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

2. Dr. Ismail, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
3. Dr. Hj. Malikhatul Hidayah, S.T., M.Pd selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
4. Kholidah, M.Sc dan Kustomo M.Sc., selaku dosen pembimbing yang dengan sabar memberikan semangat, bimbingan, masukan, dan koreksi kepada penulis hingga akhir.
5. Dr. Ervin Tri Suryandari, M.Si., selaku dosen wali yang selalu memberikan pengarahan dan nasehat kepada penulis.
6. Dosen dan staff di lingkungan UIN Walisongo Semarang khususnya program studi kimia yang telah membantu dan memberikan ilmunya kepada penulis selama kuliah.
7. Kedua orang tua penulis tercinta, Abah H. Moh Imron (Alm) dan Ummi Hj Jaronah, mba dan mas, serta keponakan, mba Rizqi, mba Ayu, mas Zani, dan Azkayra yang senantiasa memberikan do'a serta dukungan baik moril maupun materil yang luar biasa sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah dengan lancar.
8. Teman-temanku Nisa Istiani, Hanika Rizky Ramadhani, dan Safira Dwi Zahrani S.Si yang senantiasa menemani

dan memberikan dukungan selama penulis melakukan penelitian.

9. Teman-teman jurusan Kimia angkatan 2018 yang telah memberikan motivasi, doa, dan memberikan pelajaran hidup yang cukup.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dan dukungan hingga tugas akhir terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi sesama dan mendapat ridho-Nya. *Aamiin yaa Robbal Aalamiin.*

Semarang, 13 September 2022

Penulis,

Dewi Salsabila

NIM. 1808036028

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
PENGESAHAN	iv
NOTA DINAS	v
NOTA DINAS	vi
ABSTRAK	vii
TRANSLITERASI	viii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	6
C. Tujuan	6
D. Manfaat.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Kajian Teori.....	8
1. Tempurung Kluwak.....	8
2. Arang Aktif.....	10
3. Bentonit.....	17
4. Adsorpsi.....	19
5. Logam Berat Kadmium(II)	27
6. Spektroskopi Fourier Transform Infra Red (FTIR).....	29
7. Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS).....	31
8. <i>Scanning Electron Microscope</i> - Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX).....	33
B. Kajian Pustaka	35
BAB III METODE PENELITIAN	38
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	38
B. Alat dan Bahan.....	38
1. Alat.....	38
2. Bahan.....	39

C.	Preparasi Arang Aktif Tempurung Kluwak (AATK).....	39
D.	Preparasi Bentonit Teraktivasi (BT).....	40
E.	Preparasi Pencampuran AATK-BT.....	40
F.	Karakterisasi	41
1.	Uji Kadar Air	41
2.	Uji Kadar Abu	42
3.	Uji Kadar Zat Menguap.....	42
4.	Uji Kadar Karbon.....	43
5.	Uji Daya Serap Metilen Biru.....	43
6.	Karakterisasi Gugus Fungsi	44
7.	Karakterisasi Morfologi Struktur Permukaan dan Komposisi Unsur	45
G.	Preparasi Larutan ion Logam Kadmium(II).....	45
1.	Pembuatan Larutan Induk 1000 ppm	45
2.	Pembuatan Kurva Standar	45
H.	Adsorpsi Ion Logam Kadmium (II)	46
I.	Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi Limbah Logam Kadmium (II) Oleh AATK:BT.....	46
1.	Penentuan pH Optimum.....	46
2.	Penentuan Waktu Kontak Optimum	47
3.	Penentuan Konsentrasi Optimum	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		48
A.	Preparasi Arang Aktif Tempurung Kluwak (AATK).....	48
B.	Preparasi Bentonit Teraktivasi (BT).....	50
C.	Karakterisasi Arang Aktif.....	52
1.	Uji Kadar Air	52
2.	Uji Kadar Abu	53
3.	Uji Kadar Zat Menguap.....	54
4.	Uji Kadar Karbon (<i>Fixed Carbon</i>).....	55
5.	Uji Daya Serap Metilen Biru.....	56
D.	Karakterisasi Adsorben Menggunakan Instrumen FTIR	58
E.	Karakterisasi Adsorben Menggunakan Instrumen SEM dan EDX	63
F.	Adsorpsi Ion Logam Kadmium(II)	66

G. Karakterisasi Adsorben AATK-BT Menggunakan Instrumen FTIR.....	68
H. Penentuan Kondisi Optimum Penyerapan Ion Logam Kadmium(II) oleh Adsorben AATK-BT	70
1. Kondisi pH Optimum.....	71
2. Kondisi Waktu Kontak Optimum.....	73
3. Kondisi Konsentrasi Optimum.....	74
I. Kinetika Adsorpsi.....	76
J. Isoterm Adsorpsi.....	79
BAB V PENUTUP	82
A. Kesimpulan.....	82
B. Saran	83
DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN.....	95
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	130

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Buah Kluwak (<i>Pangium edule R.</i>)	9
Gambar 2.2 Struktur pori – pori Arang aktif.....	11
Gambar 2.3 Struktur Montmorillonit	18
Gambar 2.4 Logam Kadmium	28
Gambar 2.5 Spesiasi kadmium dalam larutan.....	29
Gambar 2.6 Daerah fundamental pada spektrum inframerah	31
Gambar 2.7 Skema umum komponen spektrofotometer AAS	33
Gambar 4.1 Arang Aktif Tempurung Kluwak.....	50
Gambar 4.2 Bentonit Teraktivasi.....	51
Gambar 4.3 Kurva Standar Metilen Biru	57
Gambar 4.4 Spektra FTIR dari ATK dan AATK.....	59
Gambar 4.5 Spektra FTIR dari Bentonit dan Bentonit aktivasi	61
Gambar 4.6 Morfologi permukaan adsorben AATK-BT 25%:75% sebelum adsorpsi dan setelah adsorpsi ion logam kadmium(II)	64
Gambar 4.7 Grafik EDX dari pencampuran AATK-BT 25%:75% sebelum dan setelah adsorpsi.....	65
Gambar 4.8 Spektra FTIR dari AATK-BT 25%:75% sebelum adsorpsi.....	69
Gambar 4.9 Spektra FTIR dari AATK-BT 25%:75% setelah adsorpsi.....	69
Gambar 4.10 Pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi ion logam Kadmium(II).....	71
Gambar 4.11 Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi ion logam kadmium(II)	73
Gambar 4.12 Pengaruh Konsentrasi terhadap kapasitas adsorpsi ion logam Kadmium(II)	75
Gambar 4.13 Kurva Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu ...	77
Gambar 4.14 Kurva Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua....	77
Gambar 4.15 Kurva Isoterm Langmuir	80
Gambar 4.16 Kurva Isoterm Freundlich.....	80

Gambar L3.1	Kurva Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu...	118
Gambar L3.2	Kurva Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua..	119
Gambar L3.3	Kurva Isoterm Langmuir.....	121
Gambar L3.4	Kurva Isoterm Freundlich.....	123

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komponen Kimia Tempurung Kluwak	10
Tabel 2.2 Syarat Mutu Arang Aktif SNI 06-3730-1995	12
Tabel 3.1 Komposisi Pencampuran AATK-BT.....	41
Tabel 4.1 Kadar Air ATK dan AATK.....	52
Tabel 4.2 Kadar Abu ATK dan AATK.....	53
Tabel 4.3 Kadar Zat Menguap ATK dan AATK.....	54
Tabel 4.4 Kadar Karbon Tetap ATK dan AATK.....	55
Tabel 4. 5 Kapasitas Adsorpsi ATK, AATK, B, dan BT	57
Tabel 4.6 Perbedaan bilangan gelombang dari ATK dan AATK	60
Tabel 4. 7 Perbedaan bilangan gelombang Bentonit dan Bentonit aktivasi	62
Tabel 4.8 komposisi unsur pencampuran AATK-BT 25%:75% sebelum dan setelah adsorpsi.....	66
Tabel 4.9 Kapasitas Adsorpsi Pencampuran AATK-BT terhadap Ion Logam Kadmium(II)	67
Tabel 4.10 Parameter Kinetika Adsorpsi	78
Tabel 4.11 Parameter Isoterm Adsorpsi	81
Tabel L3.1 Data Penentuan Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu.....	117
Tabel L3.2 Data Penentuan Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua	119
Tabel L3.3 Data Penentuan Isoterm Langmuir.....	120
Tabel L3.4 Data Penentuan Isoterm Freundlich.....	122

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Skema Prosedur Kerja.....	95
Lampiran 2: Data Hasil Percobaan	102
Lampiran 3: Analisis Data.....	106
Lampiran 4: Dokumentasi Percobaan	127

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kemajuan dari ilmu pengetahuan dan teknologi yang ada di negara Indonesia semakin pesat sehingga menyebabkan manusia menciptakan bermacam-macam industri yang tujuannya guna memenuhi keperluan atau kebutuhan yang dimilikinya. Selain itu, terciptanya berbagai macam industri dapat memberikan efek yang cukup menguntungkan dan juga kurang menguntungkan misalnya dapat menyebabkan lingkungan menjadi tercemar. Pencemaran lingkungan ini diakibatkan dari limbah hasil industri yang dibuang melalui perairan tanpa adanya proses pengolahan sebelumnya (Nur, 2013).

Logam berat masih menjadi masalah yang cukup serius yang dapat mempengaruhi lingkungan. Pencemaran logam berat pada lingkungan memiliki hubungan erat terhadap penggunaan logam dalam kegiatan industri. Logam berat memiliki sifat sulit terdegradasi dan dapat terakumulasi melalui rantai makanan. Pencemaran logam dapat terbawa oleh air, tanah, dan udara (Wardalia, 2016).

Pencemaran logam berat yang berasal dari hasil sisa produksi industri ialah salah satu dari pada penyebab terjadinya kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh

perbuatan manusia. Seperti Firman Allah dalam Q.S Ar-rum ayat 41 yang berbunyi :

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

Artinya : “Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia. Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”.

Kadmium merupakan salah satu logam kimia yang terbentuk secara alami dan dihasilkan dari proses industri pelapisan besi dan baja, pertambangan, sel surya, serta industri batu baterai (Kavand *et al.*, 2020). Kadar logam kadmium pada perairan yang berasal dari limbah industri berkisar 0,32 – 3,49 ppm (Kusuma *et al.*, 2015). Sedangkan menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu limbah cair industri yang diizinkan, baku mutu logam kadmium yang diizinkan dalam limbah cair berkisar 0,05-0,1 mg/L. Kandungan logam kadmium yang tinggi dapat menjadi ancaman kesehatan bagi manusia diantaranya dapat merusak hati, tekanan darah tinggi, kanker, gangguan pada paru-paru dan ginjal, serta menyebabkan kerapuhan pada tulang (Raya & Ramlah, 2012).

Usaha mengatasi pencemaran limbah industri umumnya menggunakan beberapa metode misalnya kompleksasi, koagulasi, pertukaran ion, ekstraksi pelarut, serta adsorpsi. Metode adsorpsi digunakan dalam mengatasi permasalahan limbah industri dikarenakan memiliki beberapa keunggulan seperti proses sederhana dan dapat memanfaatkan bahan alam dari limbah biomassa yang tidak dipakai kembali dan memiliki nilai ekonomis rendah yang dapat dijadikan sebagai adsorben (Desianna *et al.*, 2017).

Pembuatan adsorben dari bahan organik akhir-akhir ini mengalami perkembangan. Adsorben dari bahan organik memiliki sifat ramah terhadap lingkungan dan dapat digunakan dalam mengatasi pencemaran limbah logam berat. Tempurung dari biji kluwak merupakan bahan organik yang bisa dijadikan bahan pembuatan adsorben. Kluwak ialah tumbuhan yang banyak tumbuh di Indonesia. Kluwak (*Pangium edule R*) memiliki ragam manfaat yang diperoleh dari biji dan daunnya. Biji dari kluwak umumnya digunakan sebagai bahan masakan seperti bumbu untuk rawon (Oktaviandra *et al.*, 2020). Akan tetapi, pemanfaatan tempurung kluwak masih sangat terbatas padahal tempurung dari biji kluwak memiliki kandungan selulosa 70,52%, hemiselulosa 40,99%, dan lignin 27,88% yang

berpotensi sebagai sumber karbon (Arif, 2014). Selain itu menurut penelitian yang dilakukan oleh Latifan & Susanti (2012) menyebutkan bahwa hasil uji *proximate* didapatkan nilai *fixed* karbon tempurung kluwak sebesar 92,15%. Hal ini menunjukkan bahwa *fixed* karbon tempurung kluwak lebih besar dibandingkan *fixed* karbon tempurung kelapa sebesar 20,96%. Nilai *fixed* karbon yang tinggi dari suatu karbon aktif dapat meningkatkan jumlah molekul karbon yang dapat menyerap suatu gas atau larutan. Berdasarkan kandungan yang ada di dalamnya, maka tempurung kluwak dapat dijadikan sebagai bahan pembuatan arang aktif (Putra *et al.*, 2018).

Berdasarkan penelitian Oktaviandra *et al.* (2020) diketahui bahwa tempurung kluwak teraktivasi HCl dapat dijadikan sebagai adsorben untuk penyerapan logam tembaga dengan efisiensi penyerapan 25,38%. Sedangkan menurut Rustandi (2020) menginformasikan bahwa aktivator terbaik dalam pembuatan arang aktif tempurung kluwak yaitu HCl dengan efisiensi penyerapan logam krom sebesar 78,48%. Kajian tersebut menunjukkan bahwa arang aktif tempurung kluwak dapat menyerap logam dengan efisiensi yang masih tergolong rendah. Oleh karena itu, maka diperlukan suatu tambahan dari material lain

yang dapat digunakan sebagai adsorben untuk penyerapan ion logam.

Material yang dapat dikembangkan sebagai adsorben selain arang aktif yaitu bentonit. Bentonit ialah tanah liat alami yang memiliki kandungan montmorillonit dengan komponen penyusun silika maupun alumina serta kandungan lainnya seperti Mg, Fe, Ni, Ca, K, serta Ti (Anwar *et al.*, 2016). Komponen penyusun dalam bentonit tersebut memiliki sifat sebagai penukar ion, luas permukaan yang besar, dan membentuk struktur antar lapis. Sifat yang dimiliki bentonit tersebut menjadikan bentonit dapat dijadikan sebagai bahan adsorben pada proses adsorpsi (Eren & Afsin, 2008). Akan tetapi bentonit memiliki kelemahan seperti sifat *swelling* atau mudah menyerap air sehingga ketika digunakan sebagai bahan penyerap akan kurang stabil. Oleh karena itu, diperlukan suatu tahapan untuk mengatasi kelemahan bentonit tersebut melalui aktivasi dengan menggunakan asam mineral seperti H_2SO_4 dan HCl sehingga kemampuan adsorpsi bentonit akan semakin baik (Dewi & Hidajati, 2012).

Berdasarkan uraian tersebut, penggunaan arang aktif dan bentonit masing-masing dapat menyerap limbah logam berat. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji penyerapan logam kadmium(II) menggunakan adsorben campuran

antara arang aktif tempurung kluwak dan bentonit teraktivasi yang diharapkan dapat menyerap logam kadmium(II) secara maksimal.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dipaparkan, maka dapat disusun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana karakteristik dari adsorben arang aktif tempurung kluwak (AATK), bentonit teraktivasi (BT), dan campuran AATK-BT?
2. Berapa kapasitas adsorpsi dari adsorben campuran AATK-BT untuk ion logam Kadmium(II)
3. Bagaimana kondisi optimum (pH, waktu kontak, dan konsentrasi) pada adsorpsi ion logam Kadmium(II) oleh adsorben campuran AATK-BT)?
4. Bagaimana kinetika dan isoterm adsorpsi pada proses adsorpsi ion logam Kadmium(II) oleh adsorben campuran AATK-BT?

C. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang sudah dipaparkan, maka dapat disusun tujuan penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui karakteristik dari adsorben arang aktif tempurung kluwak (AATK), bentonit teraktivasi (BT), dan campuran AATK-BT

2. Untuk mengetahui kapasitas adsorpsi dari adsorben campuran AATK-BT untuk ion logam Kadmium(II)
3. Untuk mengetahui kondisi optimum (pH, waktu kontak, dan konsentrasi) pada proses adsorpsi ion logam Kadmium(II) oleh adsorben campuran AATK-BT
4. Untuk mengetahui kinetika dan isoterm adsorpsi pada proses adsorpsi ion logam Kadmium(II) oleh adsorben campuran AATK-BT?

D. Manfaat

Manfaat yang bisa didapatkan pada penelitian ini yaitu:

1. Memberikan informasi mengenai pengolahan limbah tempurung kluwak dan lempung bentonit yang dapat dijadikan sebagai adsorben dalam penurunan logam kadmium(II)
2. Memberikan solusi mengenai metode pengolahan limbah logam kadmium(II) sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Tempurung Kluwak

Kluwak (*Pangium edule R*) atau dikenal dengan tanaman kepayang salah satu jenis tumbuhan liar yang tumbuh di daerah Asia Tenggara dan Melanesia. Tumbuhan kluwak tumbuh pada dataran rendah serta perbukitan. Pohon tumbuhan kluwak memiliki tinggi 25 meter serta memiliki daun yang berbentuk bulat serta berukuran besar dengan ujung dari daun yang meruncing (Oktaviandra *et al.*, 2020).

Buah kluwak berukuran besar mengandung 300 biji, lalu buah dengan ukuran yang kecil hanya memiliki 12 biji didalamnya. Biji buah kluwak memiliki ciri fisik berbentuk bulat, bertekstur keras, berwarna coklat dengan garis melingkar dan menonjol, berbalut daging didalamnya, serta antara daging dan tempurung terdapat selaput tipis berwarna coklat seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1 (Arif, 2014).



Gambar 2.1 Buah Kluwak (*Pangium edule R.*)
(Sumber : kompas.com)

Tempurung kluwak merupakan material organik yang memiliki berbagai macam kandungan seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin seperti pada tabel 2.1 (Arif, 2014). Selulosa ialah senyawa organik yang berada pada dinding sel. Hemiselulosa ialah polimer polisakarida heterogen yang mengisi celah antar serat selulosa pada dinding sel tumbuhan. Lignin merupakan senyawa kompleks dengan struktur amorf (Nurdiansah & Susanti, 2013).

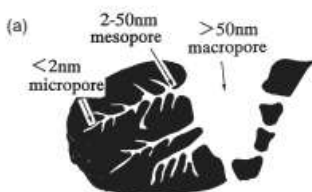
Tabel 2. 1 Komponen Kimia Tempurung Kluwak (Arif, 2014)

Komponen Kimia	Kandungan (%)
Hemiselulosa	40,99
Selulosa	70,52
Lignin	27,88
Pentosan	16,89
Abu	1,38
Air	5,64

2. Arang Aktif

Arang aktif didefinisikan sebagai material padatan yang memiliki pori dengan kandungan karbon mencapai 80-90% yang diperoleh melalui pemanasan pada suhu tinggi dalam bahan yang memiliki kandungan karbon tinggi (Nafi, 2016). Arang aktif umumnya memiliki bentuk granular dan serbuk. Arang aktif yang berbentuk granular memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan arang aktif yang berbentuk serbuk. Arang aktif granular berukuran 0,8 – 1,2 mm. Sedangkan arang aktif yang berbentuk serbuk berukuran 5-10 μm . Arang aktif memiliki pori – pori yang dibagi 3 ragam jenis yakni mesopori (2 – 50 nm), mikropori (<2 nm), serta makropori (>50 nm) seperti pada Gambar 2.2 (Manocha, 2003). Jenis pori arang aktif yang dipergunakan secara aktif dalam tahapan adsorpsi yakni mikropori dan mesopori. Arang aktif makropori berguna untuk jalan utama menuju ke bagian dalam padatan yang didalam padatannya itu ada mesopori dan mikropori. Mikropori

dapat mempengaruhi luas permukaan. Luas dari permukaan makin tinggi disebabkan oleh banyaknya jumlah mikropori pada arang aktif yang mampu meningkatkan kemampuan adsorben dalam penyerapan suatu molekul adsorbat (Astuti, 2018).



Gambar 2.2 Struktur pori – pori Arang aktif
(Manocha, 2003)

Arang aktif memiliki struktur dasar yang mirip dengan struktur grafit murni. Kristal grafit terdiri atas lapisan hexagonal yang tersusun dari berbagai macam atom karbon yang mirip dengan berbagai cincin aromatis senyawa organik. Sifat arang aktif yang dapat digunakan sebagai adsorben yaitu memiliki struktur berpori dengan luas permukaan yang berkisar diantara 300 sampai dengan 2000 m²/gram (Salamah, 2008). Syarat mutu arang aktif dari standar nasional Indonesia (SNI No. 06-3730-1995) ditunjukkan pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Syarat Mutu Arang Aktif SNI 06-3730-1995 (Tangkuman & Aritomang, 2009)

Jenis Uji	Persyaratan	
	Butiran	Padatan
Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C	Max. 15%	Max. 25%
Kadar Air	Max. 4,4 %	Max. 15%
Kadar Abu	Max. 2,5%	Max. 10%
Fixed Karbon	Min. 80%	Min. 65%
Daya serap terhadap I ₂	Min. 750 mg/g	Min. 750 mg/g
Daya serap metilen biru	Min 120 mg/g	Min 120 mg/g

Arang aktif memiliki dua kegunaan yaitu menjadi penyerap uap serta pemucat. Arang aktif sebagai pemucat digunakan dalam fasa cair berupa serbuk halus dengan diameter pori maksimum 1000Å, dan berperan dalam menghilangkan zat pengganggu. Sedangkan arang aktif penyerap uap digunakan dalam fasa gas berupa butiran atau pellet dengan tekstur yang tidak lembut dan memiliki pori yang kecil dengan diamter 10 hingga 200 Å, dan berperan untuk pemulihan pelarut, katalis, pemisahan serta juga pemurnian gas (Sembiring & Sinaga, 2003).

Faktor yang mempengaruhi pembuatan arang aktif antara lain :

a. Bahan Baku

Bahan baku pembuatan arang aktif menggunakan bahan organik yang mengandung unsur karbon yang tinggi. Ada beberapa pertimbangan dalam pemilihan bahan baku untuk menghasilkan struktur karbon berpori yaitu memiliki kandungan karbon yang tinggi, memiliki kandungan anorganik yang rendah, kepadatan tinggi dan kandungan volatil yang cukup, bahan yang digunakan murah, serta degradasi rendah pada saat penyimpanan.

b. Suhu

Suhu aktivasi pada pembuatan arang aktif sangat berpengaruh pada karakteristik arang aktif yang dihasilkan. Arang aktif komersial umumnya dilakukan pada suhu lebih dari 800°C dalam campuran udara dan CO₂. Suhu aktivasi pembuatan arang aktif antara 200 – 1100°C. Peningkatan suhu aktivasi dapat mempengaruhi luas permukaan disebabkan adanya pori – pori baru yang terbuka akibat dari pelepasan zat volatil dan pelebaran pori – pori.

c. Waktu aktivasi

Proses pembuatan arang aktif waktu aktivasi memiliki pengaruh pada proses karbonisasi dan sifat – sifat karbon aktif. Waktu aktivasi yang umumnya digunakan berkisar antara 1 jam hingga 3 jam (Zarifah, 2010).

Pembuatan arang aktif melalui 3 tahapan antara lain :

a. Dehidrasi

Dehidrasi ialah suatu tahapan dalam menghilangkan kadar air dari suatu bahan yang dilakukan melalui proses pemanasan dengan temperatur sampai 170°C. Proses dehidrasi ini memiliki tujuan guna menyelesaikan tahapan karbonisasi.

b. Karbonisasi

Karbonisasi ialah suatu tahapan pembakaran bahan baku arang aktif pada suhu 300-900°C. Proses ini menguraikan senyawa organik yang menyusun struktur material menjadi metanol, uap asam asetat, tar, dan hidrokarbon. Hasil dari dilakukannya karbonisasi merupakan karbon yang berwujud

seperti arang dengan luas permukaan spesifik yang sempit (Ramdja et al., 2008). Faktor- faktor yang dapat mempengaruhi karbonisasi sebagai berikut :

1) Waktu karbonisasi

Waktu karbonisasi tergantung pada jumlah dan jenis bahan yang digunakan. Semakin lama waktu karbonisasi maka semakin sempurna reaksi pirolisis, semakin rendah jumlah arang aktif yang dihasilkan, serta semakin tinggi jumlah cairan dan gas.

2) Suhu karbonisasi

Makin tingginya suhu dari karbonisasi maka hasil arang aktif yang didapatkan semakin rendah, namun semakin tinggi gas serta cairan yang dihasilkan. Hal tersebut terjadi karena jumlah zat yang terurai dan menguap meningkat (Kurniati, 2008).

c. Aktivasi

Aktivasi merupakan salah satu proses penguraian arang aktif yang dapat memperluas pori-pori. Proses aktivasi dapat dilakukan menggunakan zat aktivator seperti uap atau CO_2 (Ramdja et al., 2008). Aktivator merupakan suatu bahan atau senyawa kimia yang berperan sebagai reagen

pengaktif atom karbon agar dapat diserap dengan baik. Selain itu aktivator juga dapat mengikat dengan air sehingga air terikat cukup kuat di dalam pori-pori karbon yang tidak hilang di saat tahap karbonisasi sehingga aktivator dapat menembus pori-pori serta melakukan pembukaan terhadap permukaan arang yang masih tidak terbuka. Ada dua macam metode aktivasi pada pembuatan arang aktif yaitu:

1) Aktivasi Fisika

Aktivasi fisika ialah sebuah tahapan pengaktifan dengan memutuskan rantai karbon senyawa organik menggunakan panas, uap, serta karbondioksida. Arang dipanaskan dalam tanur dengan temperatur mencapai 800 sampai dengan 900°C. Aktivasi yang umum digunakan menggunakan uap dan karbondioksida dengan pemanasan terhadap suhu yang tinggi yang merupakan reaksi endotermik sehingga mudah dikontrol. Sedangkan oksidasi udara pada suhu rendah ialah reaksi isotermal yang sulit untuk dikontrol.

2) Aktivasi Kimia

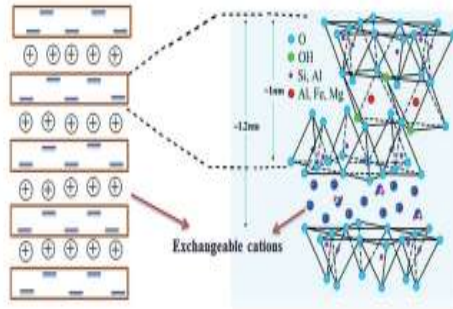
Aktivasi kimia ialah tahapan pengaktifan dengan memutuskan rantai karbon senyawa

organik dengan pereaksi kimia. Hidroksida logam alkali, garam $ZnCl_2$, dan asam organik merupakan pereaksi kimia yang dapat digunakan sebagai aktivator (Udyani *et al.*, 2019).

3. Bentonit

Bentonit dikategorikan sebagai jenis tanah liat (*clay*) yang banyak ditemukan di alam yang terdiri dari mineral montmorillonit yang tidak murni yang mengandung senyawa silika dan alumina. Bentonit memiliki ciri fisik berwarna dasar putih kecoklatan, merah muda atau hijau muda tergantung pada jumlah serta ragam jenis fragmen dari mineralnya. Bentonit juga memiliki sifat yang tidak berat ataupun ringan, lunak, rapuh, mudah menyerap air, serta biasa melakukan pertukaran terhadap ion. Bentonit memiliki massa jenis 2,4 – 2,8 g/mL (Rokhati & Prasetyaningrum, 2004).

Komposisi mineral utama bentonit yaitu mineral montmorillonit. Montmorillonit memiliki tiga lapisan struktur yang terdirinya atas satu lapisan oktahedral AlO_6 serta 2 lapisan tetrahedral SiO_4 seperti pada gambar 2.3. Terdapat lapisan interlayer berada diantara lapisan tetrahedral dan oktahedral yang terdiri atas kation *monovalent* serta *bivalent* seperti Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , maupun kation lainnya (Praetorius & Schober, 2017).



Gambar 2.3 Struktur Montmorillonit (Zamroni & Las, 2003).

Secara umum bentonit terdapat dua jenis yaitu:

a. Na-Bentonit-*Swelling bentonite*

Na-Bentonit-*Swelling bentonite* mengandung ion Na^+ yang jauh lebih banyak dibandingkan dengan ion Ca^{2+} serta Mg^{2+} . Tipe bentonit ini mempunyai kemampuan dalam hal mengembang hingga sebanyak 8 kali ketika dicelupkan ke dalam air serta dapat tersebar dalam jangka tertentu. Pada kondisi yang kering dengan warna cream maupun putih, lalu pada kondisi yang basah ataupun terpapar sinar dari matahari bakal berubah menjadi putih mengkilat, suspensi koloid bersifat basa dengan pH 9,5-9,8. Ion Na^+ menempati kedudukan dari pertukaran ion. Na-Bentonit digunakan untuk penyumbat kebocoran bendungan, material pencampuran dalam bahan

baku farmasi, pembuatan cat, serta perekat pasir cetak dalam industri pengecoran suatu logam.

b. *Ca-Bentonit-nonswelling bentonite*

Ca-Bentonit-nonswelling bentonite bisa dikenal sebagai Mg-bentonit. Ca-bentonit mengandung kalsium dan magnesium yang jauh lebih banyak dibandingkan dengan natrium. Tipe bentonit ini tidak memiliki kemampuan mengembang. Ketika didispersikan dalam air akan cepat mengendap dikarenakan Ca-bentonit memiliki sifat sedikit menyerap air. Suspensi koloid bersifat asam pH sekitar 4-7. Ion Mg dan Ca menempati posisi pertukaran ion. Pada kondisi kering Ca-bentonit berwarna biru, abu-abu, merah, kuning, serta juga coklat. Ca-Bentonit ini banyak digunakan untuk bahan pemucat warna pada minyak (Atikah, 2018).

4. Adsorpsi

Adsorpsi ialah sebuah proses penyerapan molekul dari suatu senyawa yang terikat oleh permukaan zat padat. Proses adsorpsi terjadi akibat molekul pada zat padat maupun cair mempunyai gaya tarik menarik yang tidak seimbang serta lebih cenderung untuk tertarik ke arah dalam. Kesetimbangan gaya tarik menarik menyebabkan zat padat maupun cair yang dipergunakan

sebagai adsorben mengikat zat yang lain yang bersentuhan dengan permukaan dari adsorben (Sudarja & Caroko, 2012).

Proses adsorpsi terdapat 2 jenis interaksi yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat, yaitu :

a. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika terjadi dikarenakan adanya gaya Van der Waals pada permukaan adsorben. Panas adsorpsi diperkirakan tidak tinggi maupun lebih dari satu molekul lapisan yang terbentuk di permukaan adsorben.

b. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia terjadi karena terdapat reaksi yang ada diantara zat yang diadsorpsi oleh adsorben. Panas adsorpsi kimia relatif cukup tinggi yang umumnya terjadi dengan cara yang *irreversible* serta hanya ada satu lapisan molekul yang terjadi di permukaan adsorben (Auliah, 2009).

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi antara lain :

a. Luas Permukaan

Ukuran partikel serta jumlah dari suatu adsorben dapat menentukan luas permukaan

adsorben. Makin besar luas dari permukaan adsorben maka makin banyak jumlah zat yang teradsorpsi.

b. Jenis adsorbat

Jenis adsorbat seperti polarisabilitas, berat molekul, dan jenis rantai adsorbat dapat mempengaruhi proses adsorpsi. Peningkatan polarisabilitas adsorbat dapat meningkatkan kemampuan dari adsorpsi molekul yang memiliki polarisabilitas yang cukup tinggi. Semakin besar berat molekul adsorbat, semakin besar kapasitas adsorpsinya.

c. Temperatur

Laju adsorpsi mengalami peningkatan dengan meningkatnya temperatur, dan sebaliknya. Pengaktifan atau pemanasan adsorben menyebabkan pori-pori adsorben lebih terbuka dan meningkatkan daya serap adsorben. Sedangkan pemanasan dengan suhu tinggi menyebabkan rusaknya adsorben dengan menurunnya kemampuan adsorpsi.

d. Waktu kontak

Waktu kontak yang semakin lama memungkinkan dapat terjadinya tahapan difusi dan penempelan terhadap molekul adsorbat dan adsorben hingga tercapai kondisi optimal. Jika waktu

kontak optimal telah tercapai akan memungkinkan terjadinya desorpsi atau pelepasan molekul adsorbat pada permukaan adsorben.

e. pH

pH larutan dapat mempengaruhi proses adsorpsi yang mempengaruhi kelarutan dari pada ion logam, aktivitas gugus fungsi terhadap adsorben dan kompetisi ion logam. Kondisi pH yang rendah adsorben akan lebih mudah menyerap senyawa asam organik sedangkan pada pH yang lebih tinggi adsorben akan lebih mudah menyerap basa organik.

f. Konsentrasi adsorbat

Konsentrasi adsorbat dalam larutan dapat meningkatkan jumlah substansi yang terserap di permukaannya adsorben. Akan tetapi pada kondisi tertentu jumlah adsorbat yang terserap akan stabil atau terjadi proses kesetimbangan.

g. Kecepatan pengadukan

Kecepatan pengadukan dapat meningkatkan kemampuan laju adsorpsi dimana semakin lambat proses pengadukan maka dapat memperlambat kemampuan laju adsorpsi. Sedangkan tahapan pengadukan secara cepat bisa merusak struktur dari

adsorben hingga kemampuan adsorpsi kurang optimal (Syauqiah et al., 2011).

Proses adsorpsi juga diikuti dengan isoterm adsorpsi. Isoterm adsorpsi ialah hubungan antara jumlah zat terlarut yang teradsorpsi pada adsorben dengan konsentrasi adsorbat dalam larutan (Salam et al., 2011). Proses isoterm adsorpsi dapat digambarkan menggunakan persamaan. Persamaan yang umumnya digunakan yakni isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich (Kusuma *et al.*, 2014).

Isoterm Langmuir secara teoritis menganggap bahwa berbagai macam molekul zat yang teradsorpsi oleh adsorben dengan berbagai macam molekul yang tidak teradsorpsi terjadi kesetimbangan. Isoterm Langmuir juga mengasumsikan bahwasannya tahapan adsorpsi hanyalah terjadi pada lapisan monolayer, molekul-molekul zat yang teradsorpsi terlokalisasi, bagian permukaan adsorben memiliki sifat yang homogen, dan kemampuan adsorpsi molekul terhadap situs tidak bergantung pada situs yang lain (Kusuma *et al.*, 2014). Persamaan isoterm Langmuir dapat dirumuskan seperti berikut :

$$q_e = \frac{q_{max} \cdot k_L \cdot C_e}{1 + k_L \cdot C_e} \quad (2.1)$$

Persamaan (2.1) dapat diubah menjadi persamaan linear seperti berikut :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max} \cdot k_L} + \frac{C_e}{q_{max}} \quad (2. 2)$$

Keterangan : q_e adalah jumlah adsorbat yang teradsorpsi pada adsorben (mg/g), C_e adalah konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan (mg/L), q_{max} adalah kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g), k_L adalah konstanta Langmuir (L/mg) (Sadeek *et al.*, 2015).

Isoterm Freundlich mengasumsikan bahwa proses adsorpsi yang terjadi di permukaan adsorben memiliki sifat heterogen yang artinya tiap-tiap situs aktif di permukaan adsorben mempunyai kemampuan dalam mengadsorpsi yang berbeda-beda (Kusuma *et al.*, 2014). Persamaan isoterm Freundlich dapat dirumuskan seperti berikut :

$$q_e = k_F \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2. 3)$$

Persamaan 2.3 dapat diubah menjadi persamaan linear seperti berikut :

$$\log q_e = \log k_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2. 4)$$

Keterangan : q_e adalah jumlah adsorbat yang teradsorpsi pada adsorben (mg/g), C_e adalah konsentrasi adsorbat setelah adsorpsi, k_F adalah konstanta Freundlich, dan n adalah konstanta empiris (Handayani & Sulistiyono, 2015).

Kinetika adsorpsi ialah proses penyerapan adsorbat oleh adsorben dalam selang waktu tertentu. Proses penyerapan tersebut dapat diketahuinya dari laju adsorpsi yang dapat diketahui dari konstanta laju serta juga orde reaksi. Model kinetika adsorpsi yang digunakan secara umum yaitu kinetika *pseudo* orde satu dan kinetika *pseudo* orde dua (Anggriani *et al.*, 2021).

Kinetika *pseudo* orde satu diasumsikan bahwa konsentrasi adsorbat lebih banyak dibandingkan dengan situs aktif pada permukaan adsorben (Canra *et al.*, 2015). Menurut Lagergren persamaan kinetika *pseudo* orde satu dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{dq}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad (2.5)$$

Persamaan 2.5 dapat diubah menjadi persamaan linear dengan mengintegalkan persamaan dengan kondisi awal $q_t = 0$ pada $t = 0$ sehingga diperoleh persamaan :

$$\ln (q_e - qt) = \ln q_e - k_1 t \quad (2.6)$$

(Zaini & Sami, 2016)

Kinetika *Pseudo* orde dua diasumsikan bahwa kapasitas adsorpsi dalam kondisi setimbang terhadap jumlah situs aktif dari adsorben (Canra *et al.*, 2015). Persamaan *pseudo* orde dua dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{dq}{dt} = k_2 (q_e - qt)^2 \quad (2.7)$$

Persamaan 2.7 dapat diubah menjadi persamaan linear orde dua dengan mengintegrasikan persamaan dengan kondisi $qt = 0$ pada $t = 0$ sehingga diperoleh persamaan :

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (2.8)$$

Keterangan : q_e adalah kapasitas adsorpsi pada waktu setimbang (mg/g), qt adalah kapasitas adsorpsi pada waktu t , k_1 adalah konstanta laju pseudo orde satu, dan k_2 adalah konstanta laju pseudo orde dua

(Zaini & Sami, 2016).

5. Logam Berat Kadmium(II)

Logam merupakan zat dengan konduktivitas listrik tinggi, bersifat lentur, dan berkilau. Logam dapat dikategorikan menjadi dua yaitu logam ringan mempunyai berat kurang dari 5 gram setiap cm^3 dan logam berat mempunyai berat 5 gram atau lebih setiap cm^3 . Logam berat merupakan polutan berbahaya bagi lingkungan. Logam berat memiliki sifat sulit terurai, dapat mengalami bioakumulasi dan bersifat toksik dalam jumlah berlebih (Adhani & Husaini, 2017).

Logam berat terdapat 2 jenis yakni logam berat non esensial serta esensial. Logam berat esensial ialah sejumlah logam dalam organisme dan bersifat toksik dalam jumlah yang berlebih. Contoh logam berat esensial yaitu Cu, Zn, Co, Fe, Mn, serta yang lainnya. Lalu logam berat non esensial ialah sebuah logam yang tidak diketahui kegunaannya namun dapat beracun dalam tubuh makhluk hidup. Contoh logam berat non esensial yaitu Cd, Hg, Pb, Cr, serta yang lainnya (Said, 2018).

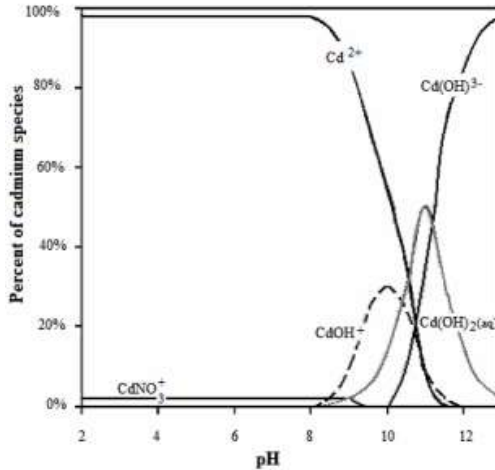
Kadmium merupakan logam yang memiliki nomor atom yang berjumlah 48, berat atom sebesar 112,4, titik didih 767°C , titik leleh mencapai 316°C , dan massa jenis sebesar $8,65 \text{ g/cm}^3$. Logam kadmium juga mempunyai ciri berwarna putih keperak-perakan seperti logam

aluminium, tahan terhadap panas, dan tidak bersifat korosi yang ditunjukkan pada gambar 2.4. Dalam senyawa logam kadmium yang terbentuk umumnya memiliki bilangan oksidasi 2+ dan sangat sedikit yang mempunyai bilangan oksidasi 1+. Pada larutan yang mengandung ion OH^- ion Cd^{2+} akan mengendap dan membentuk senyawa terhidrasi yang berwarna putih (Adhani & Husaini, 2017).



Gambar 2.4 Logam Kadmium
(Sumber : gardaremaja.blogspot.com)

Kelarutan logam Kadmium(II) pada berbagai pH dalam air dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut ini :



Gambar 2.5 Spesiasi kadmium dalam larutan (Ozel, 2012)

Gambar 2.5 menunjukkan bahwa ion logam kadmium dalam larutan akan membentuk ion Cd^{2+} pada pH 2-8. Pada pH 8-10 ion logam kadmium akan membentuk CdOH^+ dan $\text{Cd}(\text{OH})_2$. Pada $\text{pH} > 10$ akan mencapai nilai maksimum untuk membentuk endapan $\text{Cd}(\text{OH})_2$ (Ozel, 2012).

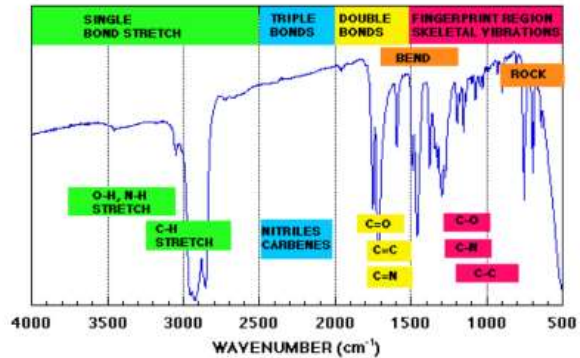
6. Spektroskopi Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Spektroskopi FTIR ialah suatu instrumen yang berfungsi mengidentifikasi gugus fungsi dari suatu senyawa berdasarkan spektrumnya. Spektroskopi FTIR juga dapat membedakan spektrum dari 2 buah macam sampel yang berbeda-beda didasarkan pada sifat struktur intramolekuler. Kemampuan suatu senyawa

dalam menyerap cahaya tergantung pada sifat fisikokimia, ikatan antara berbagai macam atom-atom senyawa, serta karakteristik gugus fungsinya (Siregar *et al.*, 2015).

Prinsip kerja dari spektroskopi FTIR yaitu apabila sinar inframerah melewati sampel senyawa organik, akan menghasilkan frekuensi yang diserap dan ditransmisikan. Cahaya yang diserap molekul bergantung pada struktur elektronik molekulnya. Serapan energi molekul menyebabkan adanya perubahan energi vibrasi dan energi tingkat rotasi (Suseno & Firdausi, 2008).

Spektroskopi FTIR secara umum memiliki empat daerah IR yang terdiri dari vibrasi ulur ikatan tunggal, ikatan rangkap tiga, ikatan ganda, dan daerah sidik jari seperti pada gambar 2.6 Ikatan tunggal (*stretching single bond*) berada pada bilangan gelombang $4000-2500\text{ cm}^{-1}$, ikatan rangkap tiga (*triple bonds*) pada $2500-2000\text{ cm}^{-1}$, ikatan ganda (*double bonds*) $2000-1500\text{ cm}^{-1}$, dan daerah sidik jari (*fingerprint region*) $1500-500\text{ cm}^{-1}$ (Khaldun, 2018).



Gambar 2.6 Daerah fundamental pada spektrum inframerah (Khaldun, 2018)

7. Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

Spektrofotometer AAS ialah sebuah instrumen yang secara kuantitatif menganalisis suatu unsur yang didasarkan pada penyerapan terhadap suatu cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam pada kondisi bebas (Anshori, 2005). Metode AAS ialah analisa yang didasarkan pada tahap penyerapan energi radiasi oleh berbagai macam atom yang ada di tingkat energi dasar dengan melakukan pengukuran terhadap intensitas dari radiasi yang ditransmisikan maupun melakukan pengukuran terhadap intensitas radiasi yang diserapnya (absorbansi) (Andrianto, 2008).

Skema umum komponen spektrofotometer AAS yang ditunjukkan pada gambar 2.6 sebagai berikut :

a. Sumber cahaya

Sumber cahaya berasal dari lampu yang dapat memancarkan energi yang cukup. Sumber cahaya yang sering digunakan yaitu lampu katoda cekung (*hallow cathode lamp*). Lampu katoda cekung terdiri dari anoda yang terbuat dari wolfram dan katoda yang terbuat dari logam yang akan dianalisis dalam suatu tabung yang diisi dengan gas Neon (Ne) atau Argon (Ag) dengan tekanan rendah (Djunaidi, 2018).

b. Atomisator

Atomisator/pembakar berfungsi untuk mengatomisasi logam sehingga dapat menyerap energi radiasi yang diberikan (Djunaidi, 2018). Kalor yang dibutuhkan pada proses atomisasi nyala dihasilkan dengan menggunakan gas pembakar baik yang bersifat oksidasi (O_2 , campuran O_2 , dan N_2O) maupun bersifat sebagai bahan bakar (propana, butana, H_2 , gas alam, dan asetilen) (Sari, 2010).

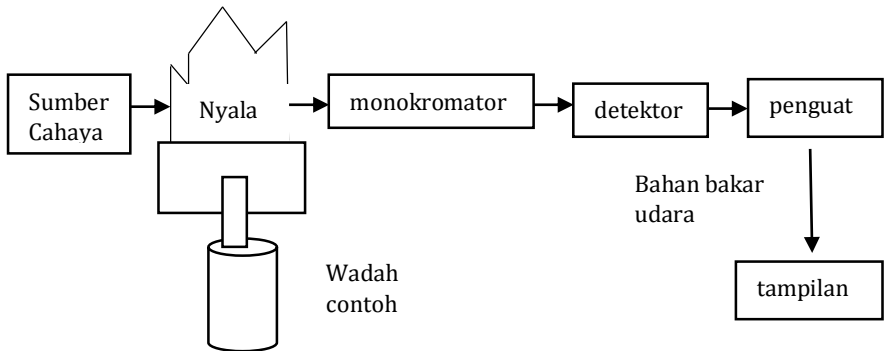
c. Monokromator

Monokromator umumnya memiliki resolusi 0,2 nm. Monokromator berfungsi untuk memisahkan atau menyeleksi antara radiasi dari *hollow cathode lamp* dan telah melewati gas pembakar dengan radiasi lain oleh gas pembakar sehingga yang sampai

ke detektor berupa radiasi monokromatis (Djunaidi, 2018).

d. Detektor

Detektor berfungsi sebagai alat untuk menentukan intensitas radiasi foton dari garis resonansi yang keluar dari monokromator serta mengubahnya menjadi arus listrik. Detektor umumnya menggunakan tabung pengganda foton. Tenaga listrik yang dihasilkan detektor akan diteruskan ke amplifier (Solikha, 2019)



Gambar 2.7 Skema umum komponen spektrofotometer AAS (Anshori, 2005).

8. *Scanning Electron Microscope- Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan instrumen jenis mikroskop yang digunakan untuk mengamati bentuk, struktur, dan sebaran pori pada

permukaan material dengan resolusi tinggi yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya (Susmanto *et al.*, 2020). Prinsip kerja dari SEM yaitu elektron beam dari filamen yang dihasilkan dari elektron gun. Elektron gun yang digunakan yaitu tungsten dengan filamen berupa lilitan tungsten yang bertindak sebagai katoda. Kemudian anoda akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron. Kemudian lensa magnetik memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel. Sinar elektron yang terfokus memindai sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel maka terjadi hamburan elektron dari permukaan sampel dan dideteksi oleh deketor sehingga muncul bentuk morfologi pada monitor CRT (Farikhin, 2016).

Instrumen SEM umumnya dilengkapi dengan *Energy Dispersive X-Ray (EDX)* yang dapat analisa komposisi unsur yang berada dalam sampel dengan menggunakan mikroskop elektron. Prinsip analisis unsur menggunakan EDX yaitu mendeteksi sinar-X yang dipancarkan pada sampel. Elektron yang memiliki energi tinggi ditembakkan pada elektron atom yang ada pada sampel sehingga menyebabkan elektron akan mengalami eksitasi ke orbital yang lebih tinggi. Elektron

yang mengalami eksitasi cenderung akan kembali pada orbital yang lebih rendah dengan memancarkan sinar X. Emisi sinar-X yang dihasilkan merupakan karakteristik struktur atom dari unsur yang terpancar. Emisi sinar-X tersebut dapat menentukan unsur yang berada pada sampel melalui panjang gelombangnya. Hasil yang didapatkan dalam analisis sampel menggunakan EDX yaitu jenis dan presentase yang ada dalam sampel yang diperoleh dari tingginya intensitas (Hartini, 2014).

B. Kajian Pustaka

Oktaviandra *et al.*, (2020) berhasil melakukan penelitian mengenai pemanfaatan tempurung kluwak teraktivasi HCl sebagai adsorben untuk menurunkan kadar logam tembaga. Hasil penelitiannya diperoleh bahwa adsorben tempurung kluwak dapat menyerap logam tembaga dengan waktu kontak 80 menit dengan efisiensi penyerapan sebesar 25,38 %.

Rustandi (2020) berhasil melakukan penelitian mengenai pembuatan arang aktif cangkang kluwak dengan aktivasi NaOH dan HCl dalam penurunan kadar logam kromium. Hasil penelitiannya diperoleh bahwa hasil yang terbaik dalam pembuatan arang aktif cangkang kluwak pada aktivator HCl 30% dengan kadar air 0,07%, kadar abu 1,55%, dan daya serap iod 1055,05 mg/g dengan efektivitas

adsorpsi arang aktif cangkang kluwak terhadap penurunan kadar logam krom sebesar 78,48%.

Kustomo *et al.*, (2022) berhasil melakukan penelitian mengenai penggunaan arang aktif dari kulit buah matoa untuk adsorpsi ion logam Cd(II). Hasil penelitiannya diperoleh bahwa kondisi optimum adsorpsi ion logam Cd(II) menggunakan kulit buah matoa pada pH 9, waktu kontak 40 menit, dan konsentrasi 20 ppm dengan kapasitas adsorpsi sebesar 59,75 mg.g.

Bath *et al.*, (2012) berhasil melakukan penelitian mengenai penggunaan tanah bentonit sebagai adsorben logam Cu. Hasil penelitiannya diperoleh bahwa adsorben bentonit yang diaktivasi menggunakan HCl pada kondisi optimum massa 4 gram dalam 100 ppm larutan logam Cu dengan waktu kontak selama 2 jam dapat menyerap logam Cu sebesar 99,16%.

Nugraha *et al.*, (2017) berhasil melakukan penelitian mengenai pemanfaatan bentonit yang diaktivasi menggunakan HCl sebagai adsorben ion logam Cd(II). Hasil penelitiannya diperoleh bahwa kondisi optimum adsorpsi pada pH 5 selama 45 menit dengan konsentrasi awal 70 mg/L dengan konstanta laju adsorpsi 117,2 g/mg.menit.

Baylan & Mericboyu (2016) berhasil melakukan penelitian mengenai adsorpsi Pb dan Cu menggunakan

bentonit dan karbon aktif biji anggur dalam sistem ion tunggal dan biner. Hasil penelitiannya diperoleh bahwa nilai kapasitas adsorpsi pada bentonit lebih tinggi dibandingkan karbon aktif biji anggur pada keadaan pH 5 dengan konsentrasi 800 ppm.

Sumayya *et al.*, (2017) berhasil melakukan penelitian mengenai efisiensi penyerapan ion logam Pb^{2+} menggunakan campuran bentonit dan eceng gondok dengan berbagai variasi perbandingan komposisi eceng gondok dan bentonit. Hasil penelitiannya diperoleh bahwa komposisi terbaik adalah 50:50 dengan massa total 8 gram dengan efisiensi penyerapan ion logam Pb^{2+} 99,99% waktu kontak 60 menit kecepatan pengadukan 200 rpm.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang dilakukan sebelumnya, perbedaan penelitian ini terletak pada pencampuran bentonit pada arang aktif tempurung kluwak dan limbah logam yang diadsorpsi

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan mulai bulan Maret sampai dengan Juli tahun 2022. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang untuk perlakuan awal antara lain preparasi arang aktif tempurung kluwak, bentonit teraktivasi, dan pengujian campuran karbon aktif tempurung kluwak dan bentonit terhadap penurunan ion logam kadmium(II). Karakterisasi FTIR dan SEM EDX pada sampel dilakukan pada Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro Semarang.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Peralatan yang dibutuhkan untuk penelitian ini yaitu labu ukur, gelas beaker, kurs porselin, desikator, kertas saring, oven, *magnetic stirrer*, *shaker*, pipet tetes, batang pengaduk, neraca analitik, *stopwatch*, *furnace (Thermo Scientific Thermolyne)*, penyaring ukuran 100 mesh, erlenmeyer, corong, pH Universal, *Atomic Absorption Spektrofotometer (AAS) (Thermo Scientific iCE 3000 AA05194702)*, *Fourier Transform*

Infra-red (FTIR) (*PerkinElmer 10.6.1*), Scanning Electron Microscope- Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) (*Jeol JED-2300 Series*).

2. Bahan

Bahan yang dibutuhkan untuk penelitian ini yaitu tempurung kluwak yang diperoleh dari pasar Pepedan Kabupaten Tegal, Bentonit diperoleh dari toko kimia indrasari Semarang, asam klorida (HCl) *Mallinckrodt* (p.a) 1,2M dan 1M, asam nitrat (HNO₃) *merck* (p.a) 0,1M, natrium hidroksida (NaOH) *merck* (p.a) 0,1M, metilen biru (teknis), aquades, dan kadmium(II) asetat anhidrat (Cd(CH₃COO)₂.2H₂O) *merck* (p.a).

C. Preparasi Arang Aktif Tempurung Kluwak (AATK)

Biji kluwak dihancurkan dan dipisahkan antara tempurung dan dagingnya. Tempurung yang telah dipisahkan dicuci sampai bersih dan dijemur dibawah sinar matahari selama 1 hari. Tempurung kluwak kemudian dipanaskan dalam oven dengan suhu 105°C selama 1 jam (Oktaviandra *et al.*, 2020). Tempurung kluwak kemudian dikalsinasi dalam *furnace* pada suhu 700°C selama 1 jam. Arang yang terbentuk kemudian didiamkan pada desikator, ditumbuk, dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh (Sirajuddin *et al.*, 2020).

Tempurung kluwak sebanyak 20 gram direndam ke dalam 250 mL larutan HCl 1,2 M selama 24 jam. Kemudian campuran disaring dan dicuci dengan aquades hingga pH sama dengan pH aquades. Lalu arang aktif dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam (Oktaviandra *et al*, 2018).

D. Preparasi Bentonit Teraktivasi (BT)

Bentonit sebanyak 150 gram diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Sebanyak 50 gram bentonit ukuran 100 mesh dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan 250 mL larutan HCl 1,0 M dengan diaduk menggunakan *magnetic stirer* selama 24 jam. Kemudian bentonit disaring dan dicuci menggunakan aquades hingga pH netral. Residu yang diperoleh dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 3 jam (Bath' *et al.*, 2012).

E. Preparasi Pencampuran AATK-BT

Arang aktif tempurung kluwak (AATK) dan bentonit teraktivasi (BT) dicampurkan dengan variasi komposisi yang ditunjukkan pada tabel 3.1 dari massa total 0,1 g.

Tabel 3.1 Komposisi Pencampuran AATK-BT

Sampel	AATK (g)	BT (g)	Prosentase (%)
1	0,1	0	100%:0%
2	0,075	0,025	25%:75%
3	0,05	0,05	50%:50%
4	0,025	0,075	75%:25%
5	0	0,1	0%:100%

F. Karakterisasi

Karakterisasi arang aktif tempurung kluwak sebelum aktivasi (ATK) dan AATK meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, dan kadar karbon. ATK, AATK, bentonit (B), dan bentonit teraktivasi (BT) dikarakterisasi menggunakan daya serap metilen biru. ATK, AATK, B, BT, dan campuran AATK-BT optimum sebelum dan sesudah adsorpsi dikarakterisasi gugus fungsi menggunakan instrumen FTIR. Campuran AATK-BT optimum sebelum dan sesudah adsorpsi dikarakterisasi morfologi permukaan dan komposisi unsur menggunakan instrumen SEM-EDX.

1. Uji Kadar Air

Satu gram arang aktif dimasukkan ke dalam cawan porselin yang diketahui beratnya. Kemudian arang aktif dioven pada suhu 105°C lalu didinginkan dalam desikator dan ditimbang hingga beratnya

konstan. Kadar air dihitung melalui persamaan 3.1 berikut :

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \times 100\% \quad (3.1)$$

Keterangan : M1 adalah massa cawan kosong, M2 massa cawan dan sampel sebelum pemanasan, dan M3 adalah massa cawan dan sampel setelah pemanasan.

2. Uji Kadar Abu

Arang aktif dimasukkan ke dalam cawan porselin yang diketahui beratnya. Kemudian dipanaskan dalam oven dengan suhu 105°C sampai massa konstan. Lalu dimasukkan ke dalam *furnace* pada suhu 650°C selama 4 jam, kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Kadar abu dihitung melalui persamaan 3.2 berikut :

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \times 100\% \quad (3.2)$$

Keterangan : M1 adalah massa cawan kosong , M2 massa cawan dan sampel sebelum pemanasan, dan M3 adalah massa cawan dan abu setelah pemanasan.

3. Uji Kadar Zat Menguap

Arang aktif dimasukkan ke dalam kurs porselin yang diketahui bobot keringnya. Kemudian arang aktif

dipanaskan dalam *furnace* dengan temperatur 900°C selama 10 menit. Kemudian karbon aktif didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Kadar zat menguap dapat diketahui melalui persamaan 3.3 berikut :

$$VM (\%) = \frac{M2-M3}{M2-M1} \times 100\% - \%Kadar Air \quad (3.3)$$

Keterangan : M1 adalah massa cawan kosong, M2 massa cawan dan sampel sebelum pemanasan, dan M3 adalah massa cawan dan sampel setelah pemanasan.

4. Uji Kadar Karbon

Kadar karbon diperoleh dari selisih kadar total karbon aktif dengan persentase kadar air, kadar abu dan kadar zat menguap. Kadar karbon dapat dihitung melalui persamaan 3.4 berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kadar karbon (\%)} = 100\% - (\%kadar air + & (3.4) \\ \%kadar abu + & \\ \%kadar zat mudah & \\ menguap) & \end{aligned}$$

(Saputri, 2016)

5. Uji Daya Serap Metilen Biru

Larutan metilen biru 4 ppm diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer *UV-Vis* pada panjang gelombang 600-700 nm untuk mengetahui panjang gelombang maksimum. Kurva standar metilen biru

dibuat pada konsentrasi 0, 1, 2, 3, 4, dan 5 ppm. Kemudian larutan kurva standar diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum yang diperoleh (Suhendarwati *et al.*, 2014).

Adsorben ATK, AATK, Bentonit, dan BT sebanyak 0,01 gram dimasukkan ke dalam 20 mL larutan metilen biru 100 ppm dan ditutup menggunakan alumunium foil. Sampel diaduk dengan *magnetic stirer* selama 60 menit. Kemudian larutan disaring dan filtrat dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Konsentrasi metilen biru yang teradsorpsi dapat dihitung dengan persamaan 3.5 berikut:

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{m} \times V \quad (3.5)$$

dengan : Q_e adalah kapasitas adsorpsi metilen biru (mg/g), C_o adalah konsentrasi awal metilen biru (mg/L), C_e adalah konsentrasi akhir metilen biru (mg/L), V adalah volume larutan (L), dan m adalah massa adsorben (g) (Jubilate *et al.*, 2016).

6. Karakterisasi Gugus Fungsi

ATK, AATK, B, BT, dan AATK-BT yang optimum sebelum adsorpsi dan setelah adsorpsi dikarakterisasi untuk mengetahui gugus fungsi menggunakan

spektrofotometer Fourier Transform Infrared (FTIR) dengan spektrum 2 cm^{-1} pada daerah $400 - 4000\text{ cm}^{-1}$ dengan metode pellet KBr.

7. Karakterisasi Morfologi Struktur Permukaan dan Komposisi Unsur

AATK-BT yang optimum sebelum adsorpsi dan setelah adsorpsi dikarakterisasi untuk mengetahui morfologi permukaan dan unsur yang ada pada sampel menggunakan SEM-EDX.

G. Preparasi Larutan ion Logam Kadmium(II)

1. Pembuatan Larutan Induk 1000 ppm

Larutan induk Cd^{2+} 1000 ppm dibuat dengan cara melarutkan 2,379 gram $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dengan aquades ke dalam gelas kimia 100 mL. Kemudian larutan dipindahkan ke dalam labu ukur 1000 mL dan ditambahkan dengan aquades sampai tanda batas (Masitoh & Sianita, 2013).

2. Pembuatan Kurva Standar

Larutan standar Cd^{2+} dengan konsentrasi 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; dan 0,8 ppm dan dianalisis menggunakan spektrofotometer AAS. Kemudian dibuat kurva kalibrasi dengan memplotkan absorbansi vs konsentrasi sehingga diperoleh persamaan garis lurus $y=ax+b$ (Wardani, 2012).

H. Adsorpsi Ion Logam Kadmium (II)

Adsorben dari arang tempurung kluwak, bentonit, dan campuran arang aktif tempurung kluwak dengan bentonit (AATK-BT) disiapkan dengan variasi perbandingan massa AATK-BT secara berturut-turut 100%:0%, 75%:25%, 50%:50%, 25%:75%, 0%:100% dengan total massa 0,1 g. Kemudian adsorben dimasukkan ke dalam 25 mL $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 20 ppm dan diaduk dengan kecepatan 150 rpm selama 60 menit. Kemudian disaring dan filtrat yang diperoleh dianalisa menggunakan AAS. Komposisi adsorben dengan kapasitas adsorpsi terbaik terhadap logam kadmium(II) digunakan untuk tahap selanjutnya.

I. Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi Limbah Logam Kadmium (II) Oleh AATK:BT

1. Penentuan pH Optimum

Sebanyak 20 mg adsorben ditimbang dengan kapasitas adsorpsi optimum yang telah diketahui pada langkah H. Adsorben kemudian dimasukkan ke dalam 25 mL larutan Cd^{2+} 20 ppm pada pH 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10. pH diatur dengan menambahkan larutan HNO_3 0,1 M dan NaOH 0,1 M. Kemudian larutan digojok selama 60 menit dengan kecepatan 150 rpm. Kemudian

larutan disaring dan filtrat dianalisa menggunakan AAS.

2. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Sebanyak 20 mg adsorben ditimbang dengan kapasitas adsorpsi optimum yang telah diketahui pada langkah H. Adsorben kemudian dimasukkan ke dalam 25 mL larutan Cd^{2+} 20 ppm dengan pH optimum. Kemudian digojok selama 10, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, dan 240 menit dengan kecepatan 150 rpm. Kemudian larutan disaring dan filtrat dianalisa menggunakan AAS (Marlinawati *et al.*, 2015).

3. Penentuan Konsentrasi Optimum

Sebanyak 20 mg adsorben ditimbang dengan kapasitas adsorpsi optimum yang telah diketahui pada langkah H. Adsorben kemudian dimasukkan ke dalam 25 mL larutan Cd^{2+} dengan variasi konsentrasi 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, dan 200 ppm dengan pH optimum. Larutan digojok dengan waktu optimum dengan kecepatan 150 rpm. Kemudian larutan disaring dan filtrat dianalisa menggunakan AAS (Marlinawati *et al.*, 2015).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan data serta membahas dari hasil penelitian pemanfaatan adsorben campuran arang aktif tempurung kluwak dan bentonit untuk menyerap ion logam kadmium(II) yang dilakukan melalui beberapa langkah yakni preparasi dan aktivasi dari arang tempurung kluwak dan bentonit, karakterisasi arang aktif berdasarkan SNI dan beberapa instrumen seperti FTIR dan SEM-EDX, serta uji kapasitas adsorpsi dari pencampuran arang aktif tempurung kluwak dan bentonit teraktivasi (AATK-BT) pada kondisi optimum yang meliputi optimasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi terhadap ion logam kadmium(II).

A. Preparasi Arang Aktif Tempurung Kluwak (AATK)

Sampel tempurung kluwak yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari pasar Pepedan, Kecamatan Dukuhturi, Kabupaten Tegal. Tempurung kluwak dipreparasi dengan beberapa tahapan seperti pengeringan, karbonisasi, dan aktivasi menurut prosedur yang telah dilakukan Sirajuddin *et al.* (2020). Langkah awal pada preparasi sampel yaitu memisahkan antara tempurung dengan daging dari biji kluwak. Kemudian tempurung kluwak dicuci dengan bersih yang bertujuan untuk membersihkan tempurung dari kotoran yang masih

menempel seperti sisa dari dagingnya. Selanjutnya sampel didehidrasi menggunakan oven pada suhu 105°C selama 1 jam untuk menghilangkan air yang terkandung di dalam tempurung kluwak. Tempurung kluwak diaktivasi fisika melalui metode karbonisasi menggunakan *furnace* pada suhu 700°C selama 1 jam. Karbonisasi merupakan suatu tahap dalam mengubah bahan organik menjadi karbon melalui proses pembakaran yang tidak sempurna. Proses karbonisasi mengakibatkan terjadinya penurunan massa sampel yang disebabkan adanya pemutusan rantai polimer, pelepasan unsur selain karbon seperti hidrogen, oksigen, nitrogen (Mulyati & Pujiono, 2017). Selanjutnya arang dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang lebih kecil serta seragam. Semakin kecil ukuran partikel maka permukaan dari adsorben semakin luas. Permukaan yang luas akan meningkatkan kontak antara larutan aktivator dan adsorben pada proses aktivasi sehingga jumlah rongga pada karbon aktif yang terbentuk semakin banyak (Wahyuni *et al.*, 2022).

Arang diaktivasi menggunakan larutan HCl 1,2 M. Penambahan larutan HCl yang merupakan asam kuat dapat berperan dalam mengikat mineral yang masih menempel pada rongga arang, agen pendehidrasi air yang

terjebak dalam rongga-rongga karbon, serta membuka rongga-rongga baru atau memperbesar diameter pori pada arang (Alfiany *et al.*, 2013). Selanjutnya arang aktif dicuci menggunakan aquades hingga pH mendekati netral hal ini berguna menghilangkan pengotor yang masih menempel pada arang aktif kemudian arang aktif dikeringkan untuk mendapatkan arang yang terbebas dari air dengan cara arang yang dihasilkan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 2 jam (Verayana *et al.*, 2018). Arang aktif tempurung kluwak berwarna hitam keabuan dan berbentuk serbuk halus dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Arang Aktif Tempurung Kluwak (Sumber : Dokumentasi Pribadi)

B. Preparasi Bentonit Teraktivasi (BT)

Sampel bentonit yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari toko kimia Indrasari, Kota Semarang. Bentonit dipreparasi dengan aktivasi kimia. Tahap awal preparasi bentonit yaitu dilakukan pengayakan dengan

ukuran 100 mesh yang bertujuan untuk mendapatkan ukuran bentonit yang lebih kecil dan seragam. Kemudian bentonit diaktivasi menggunakan larutan HCl. Penggunaan larutan HCl sebagai aktivator karena ion H^+ dari larutan asam dapat mengalami pertukaran kation dengan komponen seperti Fe^{3+} , Al^{3+} , Mg^{2+} , dan pengotor lainnya yang mengisi lapisan interlayer. Pertukaran kation ini menyebabkan bentonit menjadi lebih berpori sehingga semakin besar luas permukaan serta kemampuan penyerapan akan semakin baik (Anwar *et al.*, 2016). Bentonit teraktivasi dicuci menggunakan aquades yang bertujuan melarutkan kotoran yang menempel pada bentonit. Bentonit kemudian dikeringkan pada suhu $105^{\circ}C$ untuk menghilangkan kandungan air yang ada pada permukaan bentonit (Fauziyati, 2019). Hasil preparasi bentonit teraktivasi berwarna kecoklatan serta berbentuk serbuk halus dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Bentonit Teraktivasi (Sumber : Dokumentasi Pribadi)

C. Karakterisasi Arang Aktif

1. Uji Kadar Air

Pengujian kadar air pada arang aktif dilakukan untuk mengetahui sifat higroskopis dari arang aktif yang mana arang aktif memiliki sifat afinitas yang cukup besar terhadap air (Siregar *et al.*, 2015). Berdasarkan data pengujian kadar air untuk ATK dan AATK ditunjukkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Kadar Air ATK dan AATK

Arang Tempurung Kluwak	Kadar Air (%)		Keterangan
	Penelitian	SNI 06-3730-1995	
Tanpa Aktivasi	8	Max 15	Sesuai
Aktivasi HCl 1,2 M	6	Max 15	Sesuai

Hasil uji kadar air pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa kadar air AATK lebih rendah dibandingkan ATK. Penggunaan larutan HCl yang bertindak sebagai zat aktivator merupakan agen pendehidrasi. Keberhasilan zat aktivator dalam mengikat molekul air yang terkandung dalam adsorben menghasilkan kadar air yang rendah. Kadar air yang semakin rendah menunjukkan bahwa air yang menutupi rongga pada arang semakin sedikit yang menyebabkan luas

permukaan menjadi semakin besar sehingga proses penyerapan adsorbat akan lebih baik (Verayana *et al.*, 2018).

2. Uji Kadar Abu

Pengujian kadar abu pada karbon aktif dilakukan untuk mengetahui kadar oksida logam yang terdapat pada arang aktif yang tidak dapat menguap pada saat karbonisasi yang berupa mineral logam kalium, natrium, magnesium, dan kalsium (Permatasari *et al.*, 2014). Berdasarkan data penetapan uji kadar abu pada ATK dan AATK ditunjukkan pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Kadar Abu ATK dan AATK

Arang Tempurung Kluwak	Kadar Abu (%)		Keterangan
	Penelitian	SNI 06-3730-1995	
Tanpa Aktivasi	3,26	Max 10	Sesuai
Aktivasi HCl 1,2 M	3,19	Max 10	Sesuai

Hasil uji kadar abu pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa kadar abu AATK lebih rendah dibandingkan ATK. Hal tersebut diperkirakan larutan HCl yang digunakan sebagai zat aktivator bersifat dapat melarutkan zat-zat mineral yang terkandung dalam arang yang terbentuk. Menurunnya kadar abu menyebabkan daya serap arang aktif semakin baik

dikarenakan tidak adanya kandungan mineral pada arang yang menyumbat pori-pori (Nurrahman *et al.*, 2021).

3. Uji Kadar Zat Menguap

Pengujian kadar zat menguap dilakukan untuk mengetahui kandungan senyawa yang belum menguap pada saat karbonisasi dan aktivasi. Komponen yang akan menguap pada arang aktif dengan suhu pemanasan diatas 900°C seperti nitrogen dan sulfur (Maulana *et al.*, 2017). Berdasarkan data penetapan kadar zat menguap ditunjukkan pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Kadar Zat Menguap ATK dan AATK

Arang Tempurung Kluwak	Kadar Zat Menguap (%)		Keterangan
	Penelitian	SNI 06-3730-1995	
Tanpa Aktivasi	25,33	Max 25	Tidak Sesuai
Aktivasi HCl 1,2 M	27,33	Max 25	Tidak Sesuai

Hasil uji kadar zat menguap pada tabel 4.3 menunjukkan bahwa arang aktif teraktivasi HCl lebih tinggi dibandingkan arang tanpa aktivasi serta tidak memenuhi standar SNI 06-3730-1995. Kadar zat menguap yang tinggi menunjukkan bahwa pada arang aktif masih terdapat senyawa non karbon. Semakin banyak senyawa non karbon yang menutupi pori arang

aktif menyebabkan kemampuan adsorpsi yang rendah (Maulana *et al.*, 2017).

4. Uji Kadar Karbon (*Fixed Carbon*)

Penentuan kadar karbon dilakukan untuk mengetahui kadar karbon tetap yang terkandung dalam arang aktif. Kadar karbon tetap dapat diketahui dari selisih kadar total karbon dengan persentase kadar air, kadar abu, dan kadar zat menguap (Sahara *et al.*, 2017). Berdasarkan data penetapan kadar karbon pada ATK dan AATK ditunjukkan pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Kadar Karbon Tetap ATK dan AATK

Arang Tempurung Kluwak	Kadar Karbon Tetap (%)		Keterangan
	Penelitian	SNI 06-3730-1995	
Tanpa Aktivasi	63,41	Min 65	Tidak Sesuai
Aktivasi HCl 1,2 M	65,48	Min 65	Sesuai

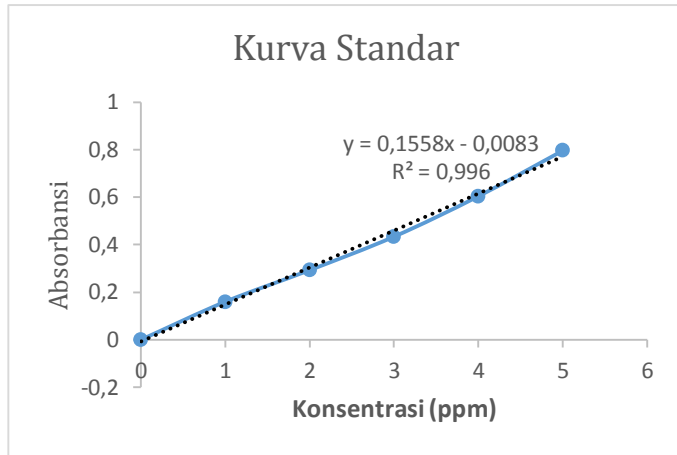
Hasil uji kadar karbon pada tabel 4.4 menunjukkan bahwa kadar karbon tetap ATK tidak memenuhi SNI sedangkan pada AATK sesuai dengan SNI. Tinggi rendahnya kadar karbon tetap dipengaruhi oleh kadar air, abu, serta kadar zat menguap. Selain itu juga kandungan selulosa dan lignin dari bahan adsorben yang akan dikonversi menjadi atom karbon mempengaruhi kadar karbon. Kadar karbon tetap yang

semakin tinggi menyebabkan kemampuan adsorpsi semakin baik (Sa'diyah *et al.*, 2020).

5. Uji Daya Serap Metilen Biru

Pengujian daya serap metilen biru pada arang tempurung kluwak (ATK), arang aktif tempurung kluwak (AATK), bentonit (B), dan Bentonit teraktivasi (BT) dilakukan untuk mengetahui kemampuan penyerapan adsorben terhadap larutan metilen biru. Pada pengujian ini tahap awal dilakukan pengukuran panjang gelombang maksimum pada rentang 600-700 nm didasarkan pada warna komplementer larutan standar metilen biru. Hasil dari panjang gelombang maksimum yang diperoleh yaitu 664 nm dengan absorbansi 0,302. Tahap selanjutnya yaitu pembuatan kurva kalibrasi yang berguna untuk mengetahui hubungan absorbansi dan konsentrasi larutan sesuai dengan hukum Lambert-Beer serta mendapatkan persamaan regresi linear yang akan digunakan dalam menentukan konsentrasi setelah teradsorpsi (Nurzihan

et al., 2019). Kurva standar metilen biru dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Kurva Standar Metilen Biru

Data pengujian daya serap metilen biru pada arang aktif ditunjukkan pada tabel 4.5

Tabel 4. 5 Kapasitas Adsorpsi ATK, AATK, B, dan BT

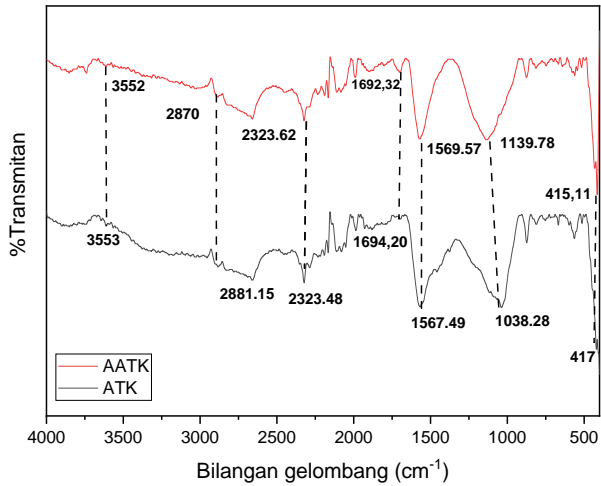
Adsorben	Kapasitas Adsorpsi	Keterangan
	(Q_e) (mg/g) Penelitian	
ATK	126,88	Sesuai
AATK	130,83	Sesuai
B	175,778	Sesuai
BT	180,36	Sesuai

Hasil uji daya serap metilen biru pada tabel 4.5 menunjukkan AATK dan bentonit teraktivasi memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar dibandingkan ATK

dan bentonit tanpa aktivasi. Hal ini dikarenakan proses aktivasi pada adsorben dapat membuka pori-pori sehingga penyerapan adsorben terhadap zat metilen biru mengalami peningkatan hal ini sesuai dengan penelitian Meilianti (2018) yang menyatakan bahwa karbon aktif yang diaktivasi kimia memiliki daya serap metilen biru yang tinggi dibandingkan dengan karbon aktif tanpa aktivasi.

D. Karakterisasi Adsorben Menggunakan Instrumen FTIR

Adsorben yang dikarakterisasi menggunakan instrumen FTIR dalam penelitian ini yaitu arang tempurung kluwak (ATK), arang aktif tempurung kluwak (AATK), bentonit (B), dan bentonit teraktivasi (BT). Karakterisasi adsorben menggunakan instrumentasi *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) berperan dalam mengetahui berbagai macam gugus fungsi yang terdapat dalam adsorben. Spektra FTIR dari ATK dan AATK dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Spektra FTIR dari ATK dan AATK

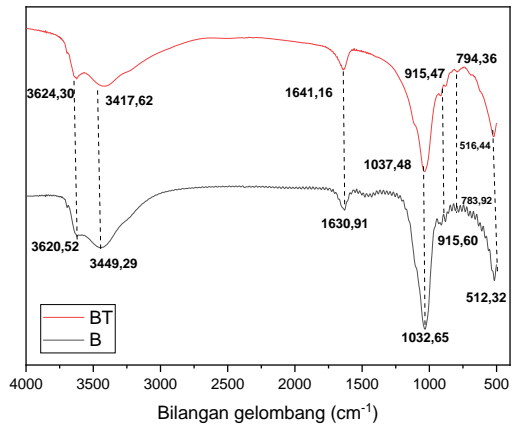
Gambar 4.4 menunjukkan bahwa ATK dan AATK memiliki gugus-gugus yang spesifik seperti O-H, C-H alifatik, C≡C, C=O, C=C aromatik, C-O, dan C-H aromatik. Gugus-gugus tersebut secara berurutan muncul pada bilangan gelombang 3510,45 cm^{-1} , 2931,80 cm^{-1} , 1698,40 cm^{-1} , 2366 cm^{-1} , 1584,2 cm^{-1} , 1300-800 cm^{-1} , 700-400 cm^{-1} (Perdani *et al.*, 2021; Wibowo *et al.*, 2011; Mendame *et al.*, 2021; Tiwow *et al.*, 2021). Bilangan gelombang dari ATK dan AATK dapat dilihat pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Perbedaan bilangan gelombang dari ATK dan AATK (^aPerdani *et al.*, 2021; ^bWibowo *et al.*, 2011; ^cMendame *et al.*, 2021; ^dTiwow *et al.*, 2021).

Gugus Fungsi	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)		
	Referensi	ATK	AATK
O-H	3510,45 ^a	3553	3552
C-H alifatik	2931,80 ^a	2870	2881,15
Asetilen (C≡C)	2366 ^b	2323.48	2323.62
C=O	1698,40 ^b	1694,20	1692,32
C=C aromatik	1584,2 ^c	1567.49	1569.57
C-O	1300-800 ^d	1038.28	1139.78
C-H aromatik	700-400 ^d	417	415,11

Berdasarkan tabel 4.6 arang aktif sebelum diaktivasi dan setelah diaktivasi mengalami pergeseran bilangan gelombang,, serta pengurangan intensitas. Hal ini disebabkan karena penggunaan zat aktivator yang dapat menyusun kembali struktur karbon membentuk heksagonal (Tiwow *et al.*, 2021). Gugus C=C yang terbentuk pada arang aktif mengalami pergeseran bilangan gelombang akibat proses aktivasi yang mengindikasikan adanya peningkatan kadar karbon. Hasil spektrum FTIR arang aktif tempurung kluwak memiliki gugus fungsi hidroksil, karbonil, dan karboksil. Keberadaan gugus tersebut mengindikasikan bahwa karbon aktif yang dihasilkan cenderung bersifat polar serta gugus tersebut dapat berperan sebagai ligan dalam membentuk ikatan dengan ion logam kadmium(II) (Mentari *et al.*, 2018).

Spektra FTIR dari bentonit dan bentonit teraktivasi dapat dilihat pada gambar 4.5



Gambar 4.5 Spektra FTIR dari Bentonit dan Bentonit aktivasi

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa bentonit dan bentonit teraktivasi memiliki gugus-gugus spesifik dengan munculnya daerah serapan pada bilangan gelombang 3622,5 cm^{-1} , 3450,4 cm^{-1} , 1633,4 cm^{-1} , 1033,3 cm^{-1} , 918,12 cm^{-1} , 796,0 cm^{-1} , 519,92 cm^{-1} . Bilangan gelombang secara berturut-turut tersebut menunjukkan adanya vibrasi ulur – OH yang terikat pada lapisan oktahedral Al-Al-OH, gugus – OH yang terhidrasi oleh molekul air, vibrasi tekuk dari H-O-H, vibrasi Si-O-Si (SiO_2), vibrasi tekuk dari gugus Al-OH-Al, vibrasi Si-O-Al, dan vibrasi tekuk dari Si-O-Al (Karapinar & Donat, 2009; Mahmudha & Nugraha, 2016; Darmadinata *et*

al., 2019). Bilangan gelombang dari bentonit dan bentonit teraktivasi ditunjukkan pada tabel 4.7

Tabel 4. 7 Perbedaan bilangan gelombang Bentonit dan Bentonit aktivasi (^aKarapinar&Donat, 2009;^bMahmudah&Nugraha, 2016;^cDarmadinata *et al.*, 2019)

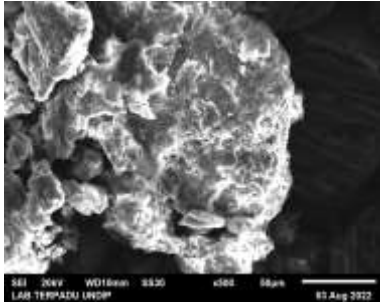
Gugus Fungsi	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)		
	Referensi	B	BT
Vibrasi ulur -OH pada lapisan oktahedral Al-OH-Al	3622,5 ^a	3620,53	3624,30
Vibrasi ulur gugus -OH terhidrasi H ₂ O	3450,4 ^a	3449,29	3417,62
Vibrasi tekuk H-O-H	1633,4 ^a	1630,91	1641,16
Si-O-Si (Kuarsa)	1033,3 ^a	1032,65	1037,48
Vibrasi tekuk hidroksi Al-OH-Al	918,12 ^b	915,60	915,47
Vibrasi Si-O-Al	796,0 ^c	783,92	794,36
Vibrasi tekuk Si-O-Al	519,92 ^b	512,32	516,44

Berdasarkan tabel 4.7 bentonit sebelum diaktivasi dan bentonit teraktivasi memiliki puncak yang hampir sama hanya mengalami pergeseran bilangan gelombang. Pergeseran bilangan gelombang pada vibrasi -OH yang terhidrasi molekul air (H₂O) menunjukkan bahwa molekul yang berada pada antar lapis bentonit berkurang akibat dari proses aktivasi (Fauziyati, 2019). Pergeseran bilangan

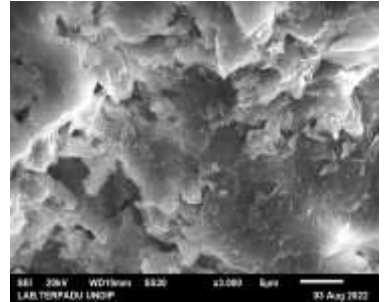
gelombang pada gugus fungsi Si-O-Al juga menunjukkan bahwa proses aktivasi mengalami dealuminasi yang menyebabkan bentonit menjadi aktif (Machfud & Rusmini, 2017).

E. Karakterisasi Adsorben Menggunakan Instrumen SEM dan EDX

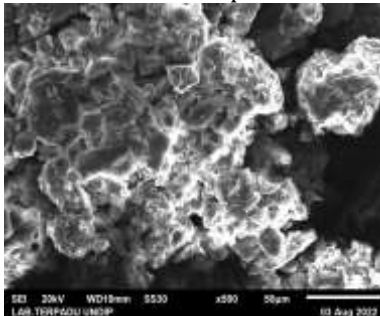
Adsorben yang dikarakterisasi menggunakan instrumen SEM-EDX dalam penelitian ini yaitu campuran arang aktif tempurung kluwak dan bentonit (AATK-BT) yang optimum untuk mengadsorpsi ion logam kadmium(II) (AATK-BT 25%:75%) sebelum adsorpsi dan setelah adsorpsi. Karakterisasi adsorben menggunakan instrumentasi *Scanning electron microscope* (SEM) bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan adsorben AATK-BT dan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) bertujuan untuk mengetahui komposisi unsur adsorben AATK-BT. Hasil Analisis SEM dan EDX dari perbandingan AATK-BT (25%:75%) sebelum adsorpsi dan setelah adsorpsi dapat dilihat pada gambar 4.6



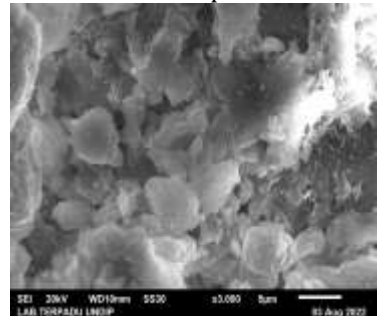
(a) perbesaran 500x sebelum adsorpsi



(b) perbesaran 3000x sebelum adsorpsi



(c) perbesaran 500x setelah adsorpsi

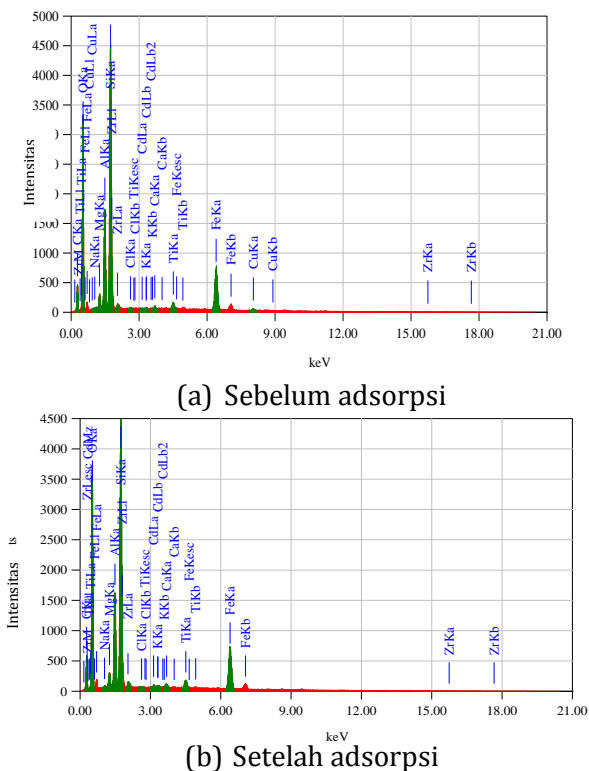


(d) perbesaran 3000x setelah adsorpsi

Gambar 4.6 Morfologi permukaan adsorben AATK-BT 25%:75% sebelum adsorpsi dan setelah adsorpsi ion logam kadmium(II).

Hasil SEM pada gambar 4.6 memperlihatkan bahwa adanya perbedaan pada morfologi permukaan adsorben. Morfologi permukaan sebelum adsorpsi terdapat pori-pori yang terbuka. Hal ini memungkinkan logam kadmium (Cd) dapat mengisi pori yang terbuka pada permukaan adsorben. Sedangkan pada morfologi sesudah adsorpsi pori-pori cenderung tertutup dan tidak beraturan yang

menandakan bahwa adanya ion logam kadmium(II) yang menempel pada permukaan adsorben (Pranoto *et al.*, 2020). Selain itu untuk membuktikan bahwa logam kadmium (Cd) telah menempel pada adsorben menggunakan EDX yang dapat dilihat pada gambar 4.7 dan tabel 4.8



Gambar 4.7 Grafik EDX dari pencampuran AATK-BT 25%:75% sebelum dan setelah adsorpsi

Tabel 4.8 komposisi unsur pencampuran AATK-BT 25%:75% sebelum dan setelah adsorpsi

Komponen Unsur	Sebelum adsorpsi		Setelah adsorpsi	
	Massa (%)	Atom (%)	Massa (%)	Atom (%)
C	21,74	32,20	22,62	32,81
O	46,35	51,56	48,33	52,62
Mg	0,85	0,62	0,73	0,53
Al	4,74	3,12	4,35	2,81
Si	13,24	8,39	12,33	7,65
Ca	0,18	0,08	0,26	0,11
Fe	10,38	3,31	9,25	2,89
Cd	0,14	0,02	0,32	0,05

Berdasarkan gambar 4.7 dan tabel 4.8 menunjukkan bahwa terdapat komponen berupa karbon, oksigen, alumunium, dan silika. Hal tersebut menandakan bahwa adanya pencampuran antara arang aktif dan bentonit. Selain itu, terdapat logam-logam yang lain seperti Mg, Ca, Fe, dan Cd. Komposisi unsur kadmium (Cd) pada adsorben AATK-BT mengalami peningkatan dari 0,14% menjadi 0,32%. Hal ini menunjukkan bahwa ion logam kadmium(II) telah menempel pada adsorben AATK-BT 25%:75%.

F. Adsorpsi Ion Logam Kadmium(II)

Pengujian adsorpsi terhadap ion logam kadmium(II) dilakukan menggunakan adsorben dengan berbagai variasi massa untuk mengetahui jenis adsorben dengan kapasitas adsorpsi yang maksimal untuk tahap selanjutnya.

Perbandingan pencampuran arang aktif tempurung kluwak (AATK) dan bentonit teraktivasi (BT) dalam penelitian ini yaitu 100%:0%, 75%:25%, 50%:50%, 25%:75%, dan 0%:100% dari total massa 0,1 gram yang digunakan untuk mengadsorpsi 25 mL larutan ion logam kadmium(II) 20 ppm selama 60 menit. Data pengujian yang dihasilkan ditunjukkan pada tabel 4.9

Tabel 4.9 Kapasitas Adsorpsi Pencampuran AATK-BT terhadap Ion Logam Kadmium(II)

Perbandingan AATK-BT (%)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)
100:0	14,92	3,959	2,740
75:25	14,92	0,947	3,493
50:50	14,92	0,553	3,590
25:75	14,92	0,228	3,673
0:100	14,92	0,25	3,667

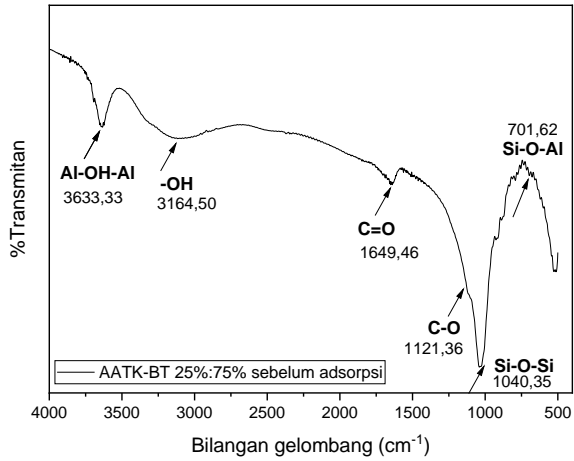
Hasil pengujian pada tabel 4.9 menunjukkan adsorben 100% AATK memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih kecil dibandingkan dengan 100% BT sedangkan pada pencampuran adsorben AATK-BT dengan bertambahnya bentonit proses adsorpsi semakin baik. Penyerapan ion logam kadmium(II) dengan kapasitas adsorpsi yang terbaik menggunakan pencampuran adsorben AATK-BT 25%:75% dengan kapasitas adsorpsi 3,673 mg/g . Hal ini dikarenakan

penambahan bentonit yang cukup banyak menyebabkan terjadinya pertukaran kation yang terjadi pada bagian dalam serta pembentukan gugus Si-O dan Al-O pada bagian luar permukaan (Baylan & Mericboyu, 2016).

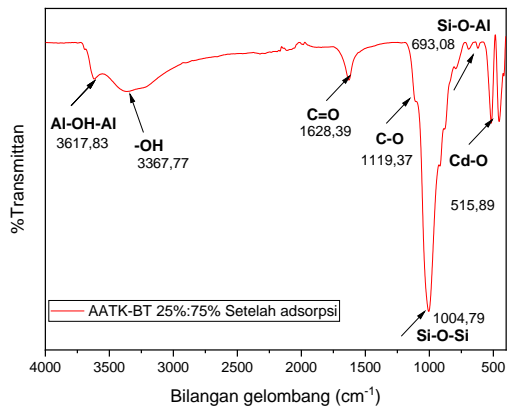
G. Karakterisasi Adsorben AATK-BT Menggunakan Instrumen FTIR

Adsorben AATK-BT yang dikarakterisasi menggunakan FTIR pada penelitian ini merupakan campuran AATK-BT yang optimum untuk mengadsorpsi ion logam kadmium(II) sebelum dan setelah adsorpsi. Karakterisasi AATK-BT sebelum adsorpsi bertujuan untuk mengetahui adanya gugus fungsi yang terdapat dalam arang aktif dan bentonit sedangkan karakterisasi AATK-BT setelah adsorpsi untuk interaksi antara gugus fungsi adsorben dengan adsorbat ion logam kadmium(II). Spektra FTIR dari adsorben AATK-BT

sebelum dan setelah adsorpsi dapat dilihat pada gambar 4.8 dan gambar 4.9



Gambar 4.8 Spektra FTIR dari AATK-BT 25%:75% sebelum adsorpsi



Gambar 4.9 Spektra FTIR dari AATK-BT 25%:75% setelah adsorpsi

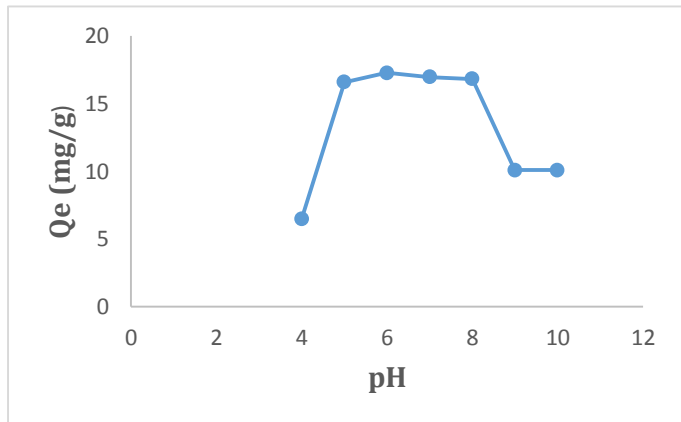
Berdasarkan gambar 4.8 menunjukkan bahwa AATK yang dicampurkan dengan bentonit muncul gugus fungsi baru seperti Al-OH-Al, Si-O-Si, dan Si-O-Al dengan bilangan gelombang secara berturut-turut $3633,33\text{ cm}^{-1}$, $1040,35\text{ cm}^{-1}$, $701,62\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan gugus fungsi dari bentonit. Selain itu terlihat pergeseran bilangan gelombang pada gambar 4.9 yang terlihat pada gugus -OH dari bilangan gelombang $3164,50\text{ cm}^{-1}$ menjadi $3367,77\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya interaksi antara ion logam kadmium(II) dengan hidroksil (-OH) dari arang aktif yang membentuk ikatan kovalen koordinasi. Selain itu juga muncul serapan pada bilangan gelombang $515,89\text{ cm}^{-1}$ yang membuktikan bahwa adanya ikatan antara ion logam kadmium(II) dan O membentuk ikatan Cd-O (Tanasal *et al.*, 2015).

H. Penentuan Kondisi Optimum Penyerapan Ion Logam Kadmium(II) oleh Adsorben AATK-BT

Penentuan kondisi optimum ini dilakukan dengan memvariasikan pH, waktu kontak, dan konsentrasi pada ion logam kadmium(II) yang bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum pada proses penyerapan ion logam kadmium(II) oleh adsorben AATK-BT 25%:75%.

1. Kondisi pH Optimum

Penentuan kondisi pH optimum pada penelitian ini dilakukan guna mengetahui pengaruh pH terhadap jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi oleh permukaan adsorben. Variasi pH yang dilakukan adalah 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10. Pengaturan pH dilakukan menggunakan HNO_3 0,1 M untuk membuat larutan menjadi asam dan NaOH 0,1 M untuk larutan menjadi basa. Data optimasi pH ditunjukkan pada gambar 4.10



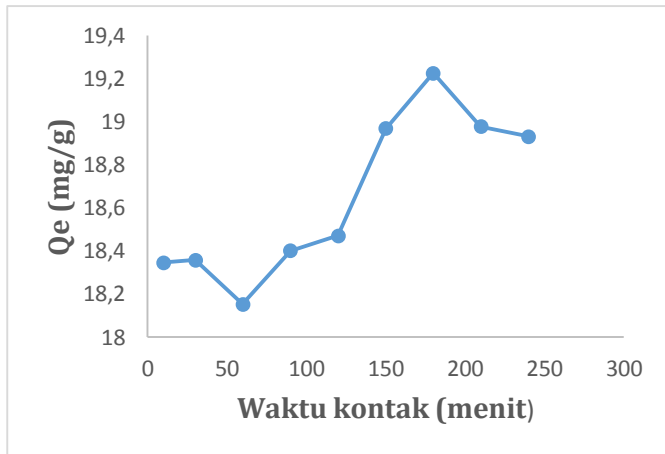
Gambar 4.10 Pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi ion logam Kadmium(II)

Hasil uji kondisi pH optimum pada gambar 4.10 menunjukkan pH larutan memiliki pengaruh terhadap adsorpsi ion logam kadmium(II) disebabkan pH larutan dapat menentukan muatan pada permukaan adsorben, derajat ionisasi, serta spesiasi dari larutan

ion logam berat yang digunakan (Salam *et al.*, 2011). Kapasitas adsorpsi ion logam kadmium(II) pada pH 4-5 mengalami peningkatan hal ini disebabkan rendahnya pH mengakibatkan gugus fungsional dari adsorben mengalami protonasi oleh ion H^+ sehingga bermuatan positif. Kondisi ini mengakibatkan ion H^+ teradsorpsi dahulu dibandingkan dengan ion Cd^{2+} . Kapasitas adsorpsi pada pH 6 merupakan kondisi optimum dalam mengadsorpsi logam kadmium (II) diakibatkan dengan naiknya pH dapat menurunkan tingkat protonasi pada gugus fungsional adsorben. Kapasitas adsorpsi pada pH diatas 8 menurun signifikan, hal ini disebabkan meningkatnya konsentrasi ion OH^- sehingga proses adsorpsi ion logam pada adsorben terhambat serta ion logam mulai mengendap dengan adanya ion OH^- menjadi endapan $Cd(OH)_2$ dengan terlampauinya harga K_{sp} $Cd(OH)_2$ (Susanto, 2011). Harga K_{sp} $Cd(OH)_2$ adalah $7,2 \times 10^{-15}$ (Farida *et al.*, 2019). Hal ini sesuai dengan spesiasi logam kadmium(II) yang mana ion Cd^{2+} dalam larutan berada pada pH 2-8. Ion logam Cd dalam larutan pada pH 8-10 akan mulai terbentuk $Cd(OH)^+$ dan endapan $Cd(OH)_2$ pada pH 8-12 (Wang *et al.*, 2010).

2. Kondisi Waktu Kontak Optimum

Penentuan kondisi waktu kontak optimum pada penelitian ini dilakukan guna mengetahui waktu yang diperlukan adsorben dan adsorbat dalam berinteraksi secara maksimal untuk mencapai keadaan setimbang. Waktu kesetimbangan merupakan waktu dimana laju adsorpsi sama dengan laju desorpsi. Desorpsi merupakan pelepasan molekul adsorbat pada permukaan adsorben (Wilhan *et al.*, 2016). Variasi waktu kontak yang dilakukan yaitu 10, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, dan 240 menit dengan pH optimum yang telah dilakukan sebelumnya. Data optimasi waktu kontak ditunjukkan pada gambar 4.11



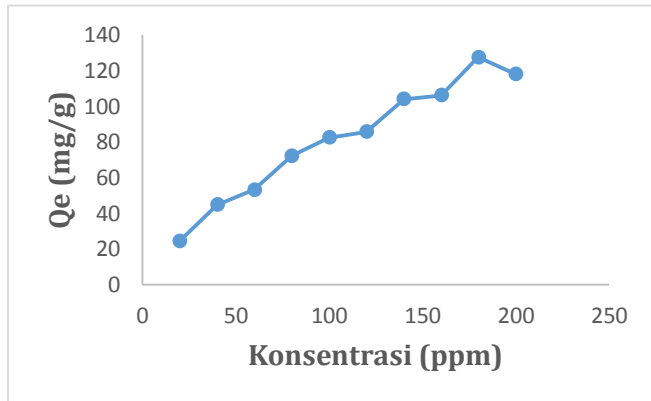
Gambar 4.11 Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi ion logam kadmium(II)

Hasil uji kondisi waktu kontak optimum pada gambar 4.11 menunjukkan waktu kontak memiliki pengaruh terhadap adsorpsi ion logam kadmium(II). Waktu kontak optimum dalam penelitian ini dicapai pada menit ke 180 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 19,225 mg/g. Waktu kontak 10 menit hingga 180 menit mengalami peningkatan yang mana semakin lama waktu kontak menyebabkan tumbukan partikel antara adsorben dengan ion logam semakin banyak. Sedangkan pada menit 210 dan 240 mengalami penurunan kapasitas adsorpsi yang menunjukkan bahwa adsorpsi telah mencapai keadaan setimbang pada waktu kontak optimum serta permukaan adsorben telah jenuh sehingga tidak mengalami peningkatan kapasitas adsorpsi bahkan adsorben mengalami desorpsi (Winda *et al.*, 2014).

3. Kondisi Konsentrasi Optimum

Penentuan kondisi konsentrasi optimum berguna untuk mengetahui kapasitas adsorpsi yang digunakan. Variasi konsentrasi yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu 20 ppm, 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm, 100 ppm, 120 ppm, 140 ppm, 160 ppm, 180 ppm, dan 200 ppm dengan kondisi larutan pada pH 6 dan waktu kontak

180 menit. Hasil penentuan konsentrasi optimum ion logam kadmium(II) dapat dilihat pada gambar 4.12



Gambar 4.12 Pengaruh konsentrasi terhadap kapasitas adsorpsi ion logam Kadmium(II)

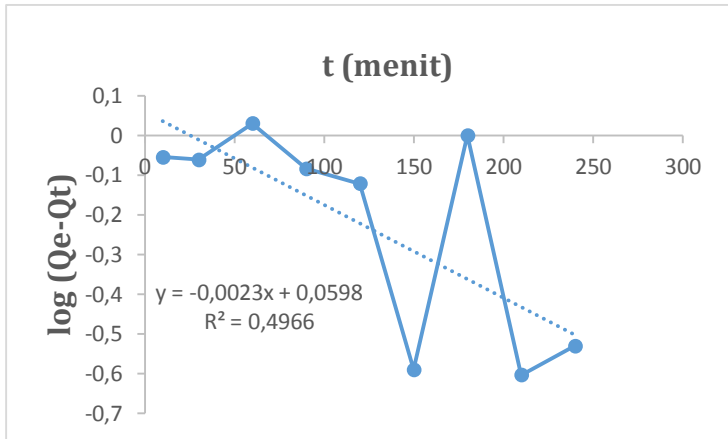
Hasil uji kondisi konsentrasi optimum pada gambar 4.12 menandakan bahwa kapasitas adsorpsi ion logam kadmium(II) semakin meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi ion logam kadmium(II). Hal ini disebabkan kandungan ion kadmium(II) yang semakin banyak sehingga jumlah partikel yang berinteraksi dengan adsorben juga meningkat. Kapasitas adsorpsi terus meningkat dengan bertambahnya konsentrasi hingga adsorben yang digunakan mencapai titik jenuh. Kapasitas adsorpsi akan stabil atau mengalami penurunan apabila adsorben telah jenuh atau semua sisi aktif dari

adsorben telah berinteraksi dengan ion logam kadmium(II) (Lestari *et al.*, 2014). Hasil kapasitas adsorpsi pada konsentrasi optimum dari penelitian ini pada konsentrasi 180 ppm sebesar 127,53 mg/g.

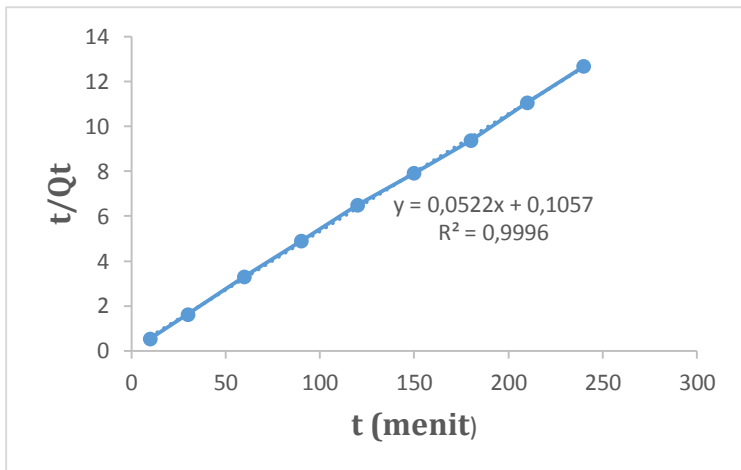
I. Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi merupakan gambaran dari laju penyerapan adsorben terhadap adsorbat. Penentuan kinetika adsorpsi berguna dalam menentukan orde reaksi dalam hasil penelitian yang berdasarkan koefisiensi regresi linear (R^2) mendekati 1 dan nilai kapasitas adsorpsi (Q_e) teoritis mendekati nilai kapasitas adsorpsi (Q_e) eksperimen. Penentuan kinetika adsorpsi dalam penelitian ini menggunakan data variasi waktu kontak optimum dengan menggunakan persamaan pseudo orde satu dan pseudo orde dua. Kurva kinetika adsorpsi pseudo orde satu dapat dibuat dengan memplotkan waktu kontak sebagai sumbu x dan nilai $\text{Log } Q_e - Q_t$ sebagai sumbu y. Sedangkan Kurva pseudo orde dua dapat dibuat dengan memplotkan antara waktu kontak sebagai sumbu x dan t/Q_t sebagai

sumbu y (Zahrah *et al*, 2013). Hasil kurva yang diperoleh dapat ditunjukkan melalui gambar 4.13 dan gambar 4.14



Gambar 4.13 Kurva Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu



Gambar 4.14 Kurva Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua

Hasil kurva kinetika adsorpsi pada gambar 4.13 dan 4.14 maka dapat diperoleh data yang disajikan pada tabel 4.10

Tabel 4.10 Parameter Kinetika Adsorpsi

Qe Penelitian (mg/g)	Pseudo Orde Satu			Pseudo Orde Dua		
	Qe teoritis (mg/g)	K ₁ (g mg ⁻¹ min ⁻¹)	R ²	Qe teoritis (mg/g)	K ₂ (g mg ⁻¹ min ⁻¹)	R ²
19,225	1,1476	-0,00529	0,4966	19,157	0,0257	0,996

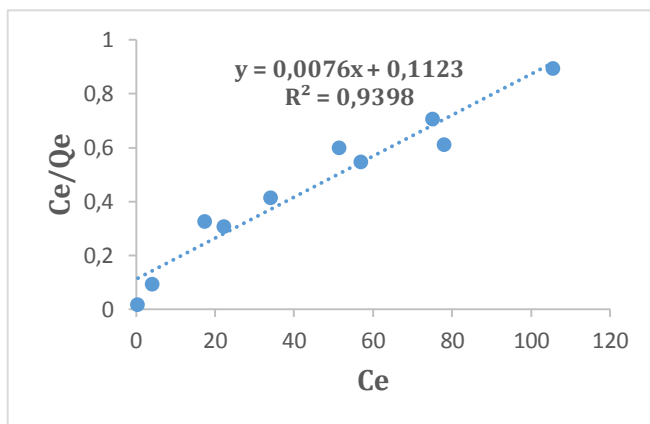
Data pada tabel 4.10 menunjukkan bahwa pseudo orde dua memberikan kesesuaian yang baik dibandingkan dengan pseudo orde satu dikarenakan nilai Qe teoritis pada pseudo orde dua lebih mendekati nilai Qe eksperimen. Selain itu nilai koefisiensi regresi linear (R²) dari pseudo orde dua mendekati 1. Kinetika pseudo orde dua menunjukkan bahwa laju adsorpsi setara dengan kuadrat konsentrasi ion logam kadmium(II) yang disimbolkan dengan (Qe-Qt)² (Maula *et al.*, 2020). Selain itu model kinetika pseudo orde dua mengasumsikan bahwa ion logam yang berinteraksi pada permukaan adsorben membentuk ikatan koordinasi dari penggunaan pasangan elektron secara bersama (Nurhidayati *et al.*, 2022).

J. Isoterm Adsorpsi

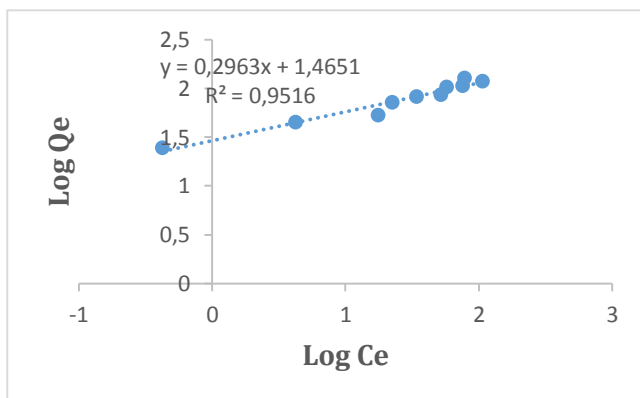
Penentuan isoterm adsorpsi bertujuan untuk mengetahui perubahan konsentrasi adsorbat yang di adsorpsi oleh adsorben dengan mekanisme adsorpsinya. Isoterm adsorpsi yang umum digunakan yaitu model isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich. Model kesetimbangan ditentukan berdasarkan harga koefisien determinan (R^2) yang tertinggi atau mendekati 1 (Gultom & Lubis, 2014)

Isoterm Langmuir mengasumsikan bahwa lapisan yang terbentuk monolayer yang ikatan adsorben dengan adsorbat cukup kuat dikarenakan terbentuknya suatu ikatan kimia. Kurva model isoterm Langmuir dapat dibuat dengan memplotkan hubungan antara C_e sebagai sumbu x dan C_e/Q_e sebagai sumbu y. Sedangkan isoterm Freundlich mengasumsikan bahwa lapisan yang terbentuk multilayer dengan ikatan antara adsorben dan adsorbat terjadi dikarenakan gaya Van der Waals sehingga ikatan cukup lemah. Kurva model isoterm Freundlich dengan memplotkan hubungan antara $\log C_e$ sebagai sumbu x dan

Log Q_e sebagai sumbu y (Arif, 2014). Hasil kurva yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 4.15 dan gambar 4.16



Gambar 4.15 Kurva Isoterm Langmuir



Gambar 4.16 Kurva Isoterm Freundlich

Hasil kurva model isoterm adsorpsi pada gambar 4.15 dan 4.16 maka dapat diperoleh data yang disajikan pada tabel 4.11

Tabel 4.11 Parameter Isoterm Adsorpsi

Model Isoterm Langmuir			Model Isoterm Freundlich		
Q_m (mg/g)	k_L (L/mg)	R^2	k_F (mg/g) (L/mg) ^{1/n}	n	R^2
131,57	0,0667	0,9398	29,180	3,374	0,9516

Bersasarkan data pada tabel 4.11 menunjukkan bahwa isoterm adsorpsi ion logam kadmium(II) oleh campuran AATK-BT 25%:75% mengikuti model isoterm Freundlich yang mana nilai R^2 sebesar 0,9516. Hal ini menandakan bahwa adsorpsi mengikuti isoterm Freundlich situs aktif pada permukaan adsorben bersifat heterogen, interaksi yang terjadi pada ion logam kadmium(II) dengan adsorben berupa gaya Van der Waals karena molekul ion logam kadmium(II) yang menempel pada permukaan adsorben bersifat cukup lemah yang memungkinkan berlangsungnya proses adsorpsi dengan lapisan multilayer (Anggriani *et al.*, 2021).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan uraian pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa :

1. Karakteristik dari adsorben AATK memiliki kadar air 6%, kadar abu sebesar 3,19%, kadar zat menguap sebesar 27,33%, kadar karbon sebesar 65,48%, daya serap terhadap metilen biru sebesar 130,83 mg/g, serta memiliki gugus fungsi -OH, C=O, dan C-O. Adsorben BT memiliki karakteristik daya serap terhadap metilen biru sebesar 180,36 mg/g, serta memiliki gugus fungsi Si-O-Si dan Si-O-Al. Sedangkan pada adsorben AATK-BT memiliki karakteristik -OH dan C=O yang menandakan keberadaan adsorben AATK serta adanya gugus Al-OH-Al, Si-O-Si, dan Si-O-Al yang menandakan keberadaan BT.
2. Pencampuran adsorben AATK-BT yang optimum untuk mengadsorpsi ion logam kadmium(II) pada perbandingan 25%:75% dengan kapasitas adsorpsi sebesar 3,673 mg/g.
3. Kondisi optimum AATK-BT 25%:75% dari total massa 20 mg untuk mengadsorpsi ion logam kadmium(II) dengan konsentrasi 180 ppm pada pH 6 dalam waktu kontak 180 menit.

4. Model kinetika adsorpsi dalam penelitian ini yaitu mengikuti pseudo orde dua dengan nilai Q_e teoritis sebesar 19,157 mg/g, k_2 sebesar 0,0247 g.mg⁻¹ min⁻¹, dan R^2 sebesar 0,996 dan model isoterm adsorpsi mengikuti isoterm Freundlich dengan nilai R^2 sebesar 0,9516

B. Saran

Penelitian berikutnya diharapkan untuk menggunakan aktivator yang lain guna meningkatkan kapasitas adsorpsi dari arang aktif tempurung kluwak dan bentonit serta perlu dilakukan karakterisasi menggunakan SEM-EDX untuk adsorben arang tempurung kluwak, arang aktif tempurung kluwak, bentonit, dan bentonit teraktivasi serta karakterisasi menggunakan instrumen SAA untuk mengetahui luas permukaan dan pori-pori yang terbentuk dan karakterisasi menggunakan XRD.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhani, R., & Husaini. (2017). *Logam Berat sekitar manusia*. Lambung Mangkurat University Press.
- Alfianny, H., Bahri, S., & Nurakhirawati. (2013). Kajian Penggunaan Arang Aktif Tongkol Jagung Sebagai Adsorben Logam Pb dengan Beberapa Aktivator Asam. *Natural Science*, 2(3), 75–86.
- Andrianto, A. (2008). Penentuan Unsur Cu, Cd dan Pb dalam Sampel Limbah (Sludge) Industri Kertas secara Spektrofotometri Serapan Atom (AAS). *Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir*, 160–163.
- Anggriani, U. M., Hasan, A., & Purnamasari, I. (2021). Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) Dan Timbal (Pb). *Jurnal Kinetika*, 12(02), 29–37.
- Anshori, A. J. (2005). *Materi Ajar Spektrofotometri Serapan Atom*. 1–10.
- Anwar, R. N., Sunarto, W., & Kusumastuti, E. (2016). Pemanfaatan Bentonit Teraktivasi asam klorida untuk pengolahan minyak goreng bekas. *Indo J Chem*, 5(3), 1–6.
- Arif, A. R. (2014). Adsorpsi Karbon Aktif dari tempurung kluwak. In *Skripsi*. UIN Alauddin.
- Astuti, W. (2018). *Adsorpsi menggunakan materisal berbasis lignoselulosa*. Unnes Press.
- Atikah, A. (2018). Efektifitas Bentonit Sebagai Adsorben Pada Proses Peningkatan Kadar Bioetanol. *Jurnal Distilasi*, 2(2), 23. <https://doi.org/10.32502/jd.v2i2.1200>
- Auliah, A. (2009). Lempung Aktif Sebagai Adsorben Ion Fosfat Dalam Air Activated Clay as Adsorber of Phosphate Ions in Water. *Chemica*, 10(2), 14–23.
- Ayu Lestari, I., Alimuddin, & Yusuf, B. (2014). Adsorpsi Logam Kadmium (Cd) Oleh Arang Aktif Dari Tempurung Aren (*Arenga pinnata*) Dengan Aktivator HCl. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 12(November), 25–31.

- Baylan, N., & Mericboyu, A. E. (2016). Adsorption of lead and copper on bentonite and grapeseed activated carbon in single- and binary-ion systems. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 51(14), 2360–2368. <https://doi.org/10.1080/01496395.2016.1212888>
- Canra, M., Fadli, A., & Komalasari. (2015). Kinetika Adsorpsi Ion Logam Cu²⁺ Menggunakan Tricalciumphosphate sebagai Adsorben dengan Variasi Kecepatan Pengadukan dan Temperatur. *Jom Fteknik*, 2(2), 1–7.
- Daniel S Bath', Jenal M Siregar, & M Turmuzi Lubis. (2012). Penggunaan Tanah Bentonit Sebagai Adsorben Logam Cu. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 1(1), 1–4. <https://doi.org/10.32734/jtk.v1i1.1396>
- Darmadinata, M., Jumaeri, & Sulistyaningsih, T. (2019). Pemanfaatan bentonit teraktivasi asam sulfat sebagai adsorben anion fosfat dalam air. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 8(1), 1–8.
- Desianna, I., Putri, C. A., Yulianti, I., & Sujarwata. (2017). Selulosa Kulit Jagung sebagai Adsorben Logam Cromium (Cr) pada Limbah Cair Batik. *Unnes Physics Journal*, 6(1), 19–24.
- Dewi, M. T. I., & Hidajati, N. (2012). Peningkatan Mutu Minyak Goreng Curah Menggunakan Adsorben Bentonit Teraktivasi. *Chemistry*, 1(2), 47–53.
- Djunaidi, C. (2018). Studi Interferensi Pada AAS (Atomic Absorption Spectroscopy). *Food Toxicants Analysis*, 637–665.
- Eren, E., & Afsin, B. (2008). An investigation of Cu(II) adsorption by raw and acid-activated bentonite: A combined potentiometric, thermodynamic, XRD, IR, DTA study. *Journal of Hazardous Materials*, 151(2–3), 682–691. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.06.040>
- Farida, A., Ariyani, S., Sulistyaningsih, N. E., & Kurniasari, L. (2019). Pemanfaatan Limbah Kulit Jagung (*Zea mays*L.) Sebagai Adsorben Logam Kadmium Dalam Larutan. *Inovasi Teknik Kimia*, 4(2), 27–32.

- Farikhin, F. (2016). Analisa Scanning Electron Microscope Komposit Polyester Dengan Filler Karbon Aktif. *Publikasi Ilmiah*.
- Fauziyati, M. R. (2019). Uji Adsorpsi Bentonit Teraktivasi KOH Terhadap Logam Cu (II). *Walisongo Journal of Chemistry*, 2(2), 80–88.
- Gultom, E. M., & Lubis, M. T. (2014). Aplikasi Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Aktivator H₃PO₄ Untuk Penyerapan Logam Berat Cd dan Pb. *Teknik Kimia*, 3(1), 5–10.
- Handayani, M., & Sulistiyono, E. (2015). Uji Persamaan Langmuir dan Freundlich Pada Penyerapan Mn(II) Oleh Komposit Fe₃O₄-Zeolit. *Jurnal Dampak*, 12(2), 114. <https://doi.org/10.25077/dampak.12.2.114-119.2015>
- Hartini, L. (2014). *Karakterisasi karbon aktif teraktivasi NaCl dari ampas tahu*. UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Jubilate, F., Zaharah, T. A., & Syahbanu, I. (2016). Pengaruh Aktivasi Arang Dari Limbah Kulit Pisang Kepok Sebagai Adsorben Besi (II) Pada Air Tanah. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 5(4), 14–21. <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jkkmipa/article/view/16743/14397>
- Karapinar, N., & Donat, R. (2009). Adsorption behaviour of Cu²⁺ and Cd²⁺ onto natural bentonite. *Desalination*, 249(1), 123–129. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.12.046>
- Kavand, M., Eslami, P., & Rازه, L. (2020). The adsorption of cadmium and lead ions from the synthesis wastewater with the activated carbon: Optimization of the single and binary systems. *Journal of Water Process Engineering*, 34(January), 101151. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101151>
- Kurniati, E. (2008). Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Arang Aktif. *Jurnal Penelitian Ilmu Teknik*, 8(2), 96–103.
- Kustomo, Faza, N. lajja Z., & Haarstrick, A. (2022). Adsorption of Cd (II) into Activated Charcoal from Matoa Fruit Peel.

- Walisongo Journal of Chemistry*, 5(1), 83–93.
- Kusuma, A. H., Prartono, T., Atmadipoera, A. S., & Arifin, T. (2015). Sebaran Logam Berat Terlarut dan Terendapkan di Perairan Teluk Jakarta Pada Bulan September 2014. *Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 6(1), 41–49.
- Kusuma, I. D. G. D. P., Wirantini, N. M., & Wiratma, I. G. L. (2014). Isoterm Adsorpsi Cu^{2+} Oleh Biomassa Rumput Laut *Eucaema Spinosum*. *Kimia Visvitalis*, 2, 1–10.
- Latifan, R., & Susanti, D. (2012). Aplikasi Karbon Aktif dari Tempurung Kluwak (Pangium Edule) dengan Variasi Temperatur Karbonisasi dan Aktifasi Fisika Sebagai Electric Double Layer Capacitor. *Teknik Material Dan Metalurgi*, 1(1), 1–6.
- Machfud, M., & Rusmini. (2017). Pengaruh Waktu Interaksi Bentonit Teraktivasi Terhadap Daya Serap Iodium. *Indonesian Chemistry and Application Journal*, 1(1), 1–8.
- Mahmudha, S., & Nugraha, I. (2016). Pengaruh Penggunaan Bentonit Teraktivasi Asam Sebagai Katalis Terhadap Peningkatan Kandungan Senyawa Isopulegol Pada Minyak Sereh Wangi Kabupaten Gayo Lues-Aceh. *Chimica et Natura Acta*, 4(3).
- Manocha, S. M. (2003). Porous Carbon. *Sadhana*, 28(1&2), 109–127. <https://doi.org/10.1016/B978-008044163-4/50007-3>
- Marlinawati, Yusuf, B., & Alimuddin. (2015). Pemanfaatan Arang Aktif dari Kulit Durian (*Durio zibethunu L.*) sebagai Adsorben Ion Logam Kadmium (II). *Jurnal Kimia Mulawarman*, 13(1), 23–27.
- Masitoh, Y., & Sianita, M. (2013). Pemanfaatan Arang Aktif Kulit Buah Coklat (*Theobroma Cacao L.*) Sebagai Adsorben Logam Berat Cd (II) Dalam Pelarut Air. *UNESA Journal of Chemistry*, 2(2), 23–28.
- Maula, N. A., Hidayah, M., & Azizati, Z. (2020). Adsorpsi Ion Logam Kromium Heksavalen Cr (VI) Dalam Larutan Menggunakan Zeolit Berlapis Oksida Mangan (MnO_2). *Walisongo Journal of Chemistry*, 3(2), 52.

<https://doi.org/10.21580/wjc.v3i2.6073>

- Maulana, G. G. R., Agustina, L., & Susi. (2017). Proses aktivasi arang aktif dari cangkang kemiri (*Aluerrites moluccana*) dengan variasi jenis dan konsentrasi aktivator kimia. *Ziraa'ah*, 42(3), 247–256.
- Meilianti, M. (2018). Karakteristik Karbon Aktif Dari Cangkang Buah Karet Menggunakan Aktivator H_3PO_4 . *Jurnal Distilasi*, 2(2), 1. <https://doi.org/10.32502/jd.v2i2.1146>
- Mendame, L. L., Silangen, P., & Rampengan, A. (2021). Perbandingan Karakterisasi Karbon Aktif Arang Tempurung Kelapa dan Arang Tempurung Kemiri Menggunakan Scanning Electron Microscopic dan Fourier Transform Infra Red. *Fisika Dan Terapan*, 2(2), 105–108.
- Mentari, V. anggun, Handika, G., & Maulina, S. (2018). Perbandingan Gugus Fungsi dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif Dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator Asam Fosfat (H_3PO_4) dan Asam Nitrat (HNO_3). *Teknik Kimia USU*, 7(1), 16–20.
- Mulyati, T. A., & Pujiono, F. E. (2017). Preparasi dan karakterisasi karbon aktif dari limbah ampas tebu menggunakan aktivator KOH. *Indonesian Chemistry and Application Journal*, 1(2), 1–7.
- Nafi, R. (2016). Kinetika Adsorpsi Pb (II) dengan Adsorben Arang Aktif dari Sabut Siwalan. *Farmasi Sains Dan Praktis*, 1(2), 28–37.
- Nugraha, M. S., Mahatmanti, F. W., & Sulistyaningsih, T. (2017). Pemanfaatan Bentonit Teraktivasi HCl sebagai Adsorben Ion Logam Cd (II). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(3), 2–7.
- Nur, F. (2013). Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd). *Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi*, 1(1), 74–83. <https://doi.org/10.24252/bio.v1i1.450>
- Nurdiansah, H., & Susanti, D. (2013). Pengaruh Variasi Temperatur Karbonisasi dan Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Kapasitansi Electric Double Layer Capacitor. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), 13–18.

- Nurhidayati, I., Mellisani, B., Puspita, F., Amelia, F., & Putri, R. (2022). Penentuan Isoterm dan Kinetika Adsorpsi Ion Besi oleh Sedimen Sebagai Adsorben. *Warta Akab*, 46(1), 75–83.
- Nurrahman, A., Permana, E., Gusti, D. R., & Lestari, I. (2021). Pengaruh Konsentrasi Aktivator Terhadap Kualitas Karbon Aktif dari Batubara Lignit. *Jurnal Daur Lingkungan*, 4(2), 44. <https://doi.org/10.33087/daurling.v4i2.86>
- Nurzihan, A., Nuri, R. U., Siregar, S. H., & Nasution, H. (2019). Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue Menggunakan Bentonit Termodifikasi Ethylene Diamine Tetra Aceticacid (EDTA). *Jurnal UMRI*, 1, 1–13.
- Oktaviandra, R. R. R., Nurlaeli, P. D., & Billah, M. (2020). Pemanfaatan Tempurung Kluwak Sebagai Adsorben dalam Menurunkan Kadarlogam Berat Tembaga. *ChemPro*, 1(01), 41–45. <https://doi.org/10.33005/chempro.v1i01.40>
- Ozel, H. U. (2012). *Biosorption of Cd (II) ions by nordmann fir cones*. 21(9).
- Perdani, F. P., Riyanto, C. A., & Martono, Y. (2021). Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Singkong (Manihot esculenta Crantz) Berdasarkan Variasi Konsentrasi H3PO4 dan Lama Waktu Aktivasi. *Indonesian Journal of Chemical Analysis*, 04(02), 72–81. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol4.iss2.art4>
- Permatasari, A. R., Khasanah, L. U., & Widowati, E. (2014). Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Singkong (Manihot utilissima) Dengan Variasi Jenis Aktivator. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, VII(2), 70–75.
- Praetorius, S., & Schoßer, B. (2017). Bentonite Handbook. In *Ernst&Sohn*. <https://doi.org/10.1002/9783433606520>
- Pranoto, P., Martini, T., & Maharditya, W. (2020). Uji Efektivitas dan Karakterisasi Komposit Tanah Andisol/Arang Tempurung Kelapa Untuk Adsorpsi Logam Berat Besi (Fe). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 16(1), 50. <https://doi.org/10.20961/alchemy.16.1.33286.50-66>

- Putra, K. E. A., Negara, D. N. K. P., & Kencanawati, C. I. P. K. (2018). Pengaruh Waktu Karbonisasi Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Bambu Swat (*Gigantochloa verticillata*). *Ilmiah Teknik Desain Mekanika*, 7(4), 335–340.
- Ramdja, A. F., Halim, M., & Handi, J. (2008). Pembuatan Karbon Aktif dari Pelelepah Kelapa (*Cocos nucifera*). *Teknik Kimia*, 15(0258), 1–8.
- Raya, I., & Ramlah. (2012). The Bioaccumulation Of Cd (II) Ions On *Euchema Cottoni* Seaweed Bioaccumulation Ion Cd (II) Pada Rumpun Laut *Euchema Cottoni*. *Marina Chimica Acta*, 13(1i).
- Rokhati, N., & Prasetyaningrum, A. (2004). Adsorpsi Logam Berat Limbah Cair Industry Kerajinan Kuningan Juana Menggunakan Campuran Betonit Dan Abu Sekam Padi. In *Reaktor* (Vol. 8, Issue 1, p. 29). <https://doi.org/10.14710/reaktor.8.1.29-32>
- Rustandi, R. (2020). *Pemanfaatan arang aktif dari cangkang kluwek (Pangium Edule) Dengan Aktivasi Terbaik Serap Krom Dari NaOH dan HCl berdasarkan Uji kadar air, kadar abu, dan Kadar Iod*. Universitas Satya Negara Indonesia.
- Sa'diyah, K., Lusiani, C. E., Chrisnandari, R. D., Witasari, W. S., Aula, D. L., & Triastutik, S. (2020). Pengaruh Proses Aktivasi Kimia Terhadap Karakteristik Adsorben Dari Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata* L.). *Jurnal Chemurgy*, 4(1), 18. <https://doi.org/10.30872/cmg.v4i1.4074>
- Sadeek, S. A., Negm, N. A., Hefni, H. H. H., & Abdel Wahab, M. M. (2015). Metal adsorption by agricultural biosorbents: Adsorption isotherm, kinetic and biosorbents chemical structures. *International Journal of Biological Macromolecules*, 81, 400–409. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.08.031>
- Sahara, E., Dahliani, N. K., & Manuaba, I. B. P. (2017). Pembuatan dan Karakterisasi arang aktif dari batang tanaman gumitir (*Tagetes Erecta*) dengan aktivator NaOH. *Kimia*, 11(2), 174–180.

- Said, N. I. (2018). Metoda Penghilangan Logam Berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni, dan Zn) Di dalam Air Limbah Industri. *Jurnal Air Indonesia*, 6(2), 136–148. <https://doi.org/10.29122/jai.v6i2.2464>
- Salam, O. E. A., Reiad, N. A., & Elshafei, M. M. (2011). A study of the removal characteristics of heavy metals from wastewater by low-cost adsorbents. *Journal of Advanced Research*, 2(4), 297–303. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2011.01.008>
- Salamah, S. (2008). Pembuatan Karbon Aktif Dari Kulit Buah Mahoni Dengan Perlakuan Perendaman Dalam Larutan KOH. *Prosiding Seminar Nasional*, 5, 55–59.
- Saputri, D. E. (2016). *Pengaruh Konsentrasi dan Suhu Aktivator KOH pada Proses Pembuatan Karbon aktif dari Cangkang Sawit untuk Mengolah POME*. Muhammadiyah Palembang.
- Sari, N. K. (2010). Analisa Instrumentasi. In *Yayasan Humaniora*.
- Sembiring, M. T., & Sinaga, T. S. (2003). Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya). *USU Digital Library*, 1–9.
- Sirajuddin, Harjanti, & Agustin, A. D. (2020). Pengaruh Temperatur Karbonisasi Terhadap Karakteristik Arang Aktif Dari Tempurung Kluwak (Pangium Edule). *Prosiding 4th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Masyarakat*, 60–64.
- Siregar, R. D., Zaharah, T. A., & Wahyuni, N. (2015). Penurunan Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Limbah Cair Industri Kelapa Sawit Menggunakan Arang Aktif Biji Kapuk (Ceiba Petandra). *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 4(2), 62–66. <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jkkmpa/article/view/9724/9496>
- Siregar, Y. D. I., Heryanto, R., Lela, N., & Lestari, T. H. (2015). Karakterisasi Karbon Aktif Asal Tumbuhan dan Tulang Hewan Menggunakan FTIR dan Analisis Kemometrika.

- Jurnal Kimia VALENSI*, 1(November), 103–116.
<https://doi.org/10.15408/jkv.v0i0.3146>
- Solikha, D. F. (2019). Penentuan Kadar Tembaga (II) Pada Sampel Menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA) pada Perkin Erlmer Analys 100 Metode Kurva Kalibrasi. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 4(2), 1.
- Sudarja, & Caroko, N. (2012). Kaji Eksperimental Efektifitas Penyerapan Limbah Cair Industri Batik Taman Sari Yogyakarta Menggunakan Arang Aktif Mesh 80 dari Limbah Gergaji Kayu Jati. *Ilmiah Semesta Teknika*, 14(1), 50–58.
- Suhendarwati, L., Bambang, B., & Susanawati, L. D. (2014). Pengaruh Konsentrasi Larutan Kalium Hidroksida pada Abu Dasar Ampas Tebu Teraktivasi. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 1(1), 19–25.
<http://jsal.ub.ac.id/index.php/jsal/article/view/101/97>
- Sumayya, A. S., Zubair, A., & Ibrahim, R. (2017). Efisiensi Penyerapan Logam Pb²⁺ dengan menggunakan campuran bentonit dan eneng gondok. 1–9.
- Susanto, T. (2011). Kajian Kemampuan Adsorpsi Zeolit Alam Aktif Terimmobilisasi Dithizon Terhadap Limbah Ion Logam Cd(II) Terkompetisi Mg(II) dan Cu(II) Secara Simultan. *Dinamika Penelitian Industri*, 22(1), 41–47.
- Suseno, J. E., & Firdausi, K. S. (2008). Rancang Bangun Spektroskopi FTIR (Fourier Transform Infrared) untuk Penentuan Kualitas Susu Sapi. *Berkala Fisika*, 11(1), 23–28–28.
- Susmanto, P., Yandriani, Y., Dila, A. P., & Pratiwi, D. R. (2020). Pengolahan Zat Warna Direk Limbah Cair Industri Jumpitan Menggunakan Karbon Aktif Limbah Tempurung Kelapa pada Kolom Adsorpsi. *JRST (Jurnal Riset Sains Dan Teknologi)*, 4(2), 77.
<https://doi.org/10.30595/jrst.v4i2.7309>
- Syauqiah, I., Amalia, M., & Kartini, H. A. (2011). Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengadukan Pada Proses Adsorpsi Logam Berat Dengan Arang Aktif. 12(1), 11–20.

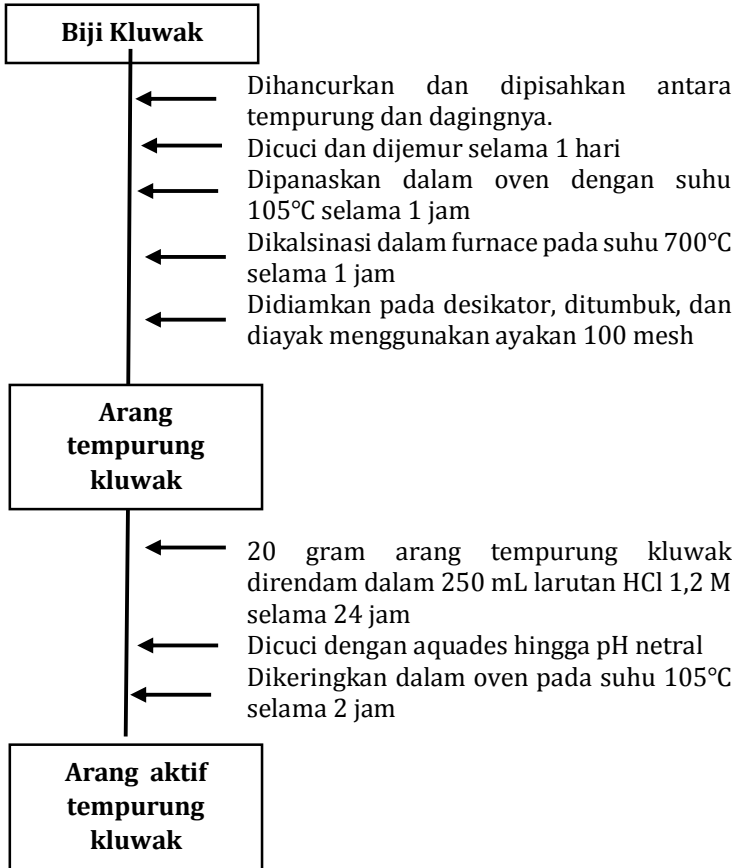
- Tanasal, A. M., Nafie, N. La, & Taba, P. (2015). *Biosorpsi Ion Logam Cd(II) Oleh Kulit Buah Naga*.
- Tangkuman, H. D., & Aritomang, H. F. (2009). Perbandingan Kualitas Karbon Aktif Yang Dibuat Dari Batok Kelapa Hibrida Dan Batok Kelapa Dalam. *Chem Prog*, 2(1), 29–32. <https://doi.org/10.35799/cp.2.1.2009.60>
- Tiwow, V. A., Rampe, M. J., Rampe, H. L., & Apita, A. (2021). Pola Inframerah Arang Tempurung Kelapa Hasil Pemurnian Menggunakan Asam. *Chemistry Progress*, 14(2), 116. <https://doi.org/10.35799/cp.14.2.2021.37191>
- Udyani, K., Purwaningsih, D. Y., Setiawan, R., & Yahya, K. (2019). Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Bakau Menggunakan gabungan aktivasi kimia dan Fisika dengan Microwave. *Iptek*, 23(1), 39–46. <https://doi.org/10.31284/j.ipitek.2019.v23i1>
- Verayana, Paputungan, M., & Iyabu, H. (2018). Pengaruh aktivator HCl dan H₃PO₄ terhadap karakteristik (morfologi pori) arang aktif tempurung kelapa serta uji adsorpsi pada logam timbal (Pb). *Jurnal Entropi*, 13(1), 67–75.
- Wahyuni, D., Nurhanisa, M., Bahtiar, A., Fisika, J., Mipa, F., Tanjungpura, U., Prof, J., & Nawawi, H. H. (2022). Optimasi Sintesis Karbon Aktif dari Bambu Buluh (*Schizostachyum brachycladum*) dengan Variasi Suhu Karbonisasi untuk Penyerapan Besi pada Air Sumur Gambut. *Jurnal Fisika Unand*, 11(3), 292–298.
- Wang, F. Y., Wang, H., & Ma, J. W. (2010). Adsorption of cadmium (II) ions from aqueous solution by a new low-cost adsorbent — Bamboo charcoal. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1-3), 300–306. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.032>
- Wardalia. (2016). Karakterisasi Pembuatan Adsorben Dari Sekam Padi Sebagai Pengadsorp Logam Timbal Pada Limbah Cair. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(2), 83–88.
- Wardani, R. K. (2012). *Pemanfaatan abu bawah batubara (Bottom Ash) Teraktivasi Sebagai Adsorben Ion Logam*

- Cd²⁺*. Universitas Airlangga.
- Wibowo, S., Syafi, W., & Pari, G. (2011). Karakterisasi Permukaan Arang Aktif Tempurung Biji Nyamplung. *Makra Teknologi*, 15(1), 17–24.
- Wilhan, A. R., Taufiq, A., & Widiastuti, D. (2016). *Optimasi Waktu Kontak dan pH Terhadap Adsorpsi Biru Metilena Dengan Silika Gel Sintesis Abu Tongkol Jagung*. 1–6.
- Winda, D. T., Hastuti, R., & Haris, A. (2014). Pengaruh Penambahan PPVA-Sulfonasi pada Tongkol Jagung (*Zea mays L.*) Sebagai Adsorben Ion Logam Pb²⁺. *Kimia Sains Dan Aplikasi*, 17(1), 31–36.
- Zaini, H., & Sami, M. (2016). Kinetika Adsorpsi Pb (II) Dalam Air Limbah Laboratorium Kimia Menggunakan Sistem Kolom Dengan Bioadsorben Kulit Kacang Tanah. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi, November 2016*, p-ISSN : 2407 – 1846 e-ISSN : 2460 – 8416 1-9.
- Zamroni, H., & Las, T. (2003). Lempung Berpilar untuk keselamatan pengelolaan limbah radioaktif. *Seminar Tahunan Pengawasan Pemanfaatan Tenaga Nuklir*, 221–229.
- Zarifah, M. S. (2010). *To Produce the Activated Carbon from Matured Palm Kernel Shell*. November, 39.

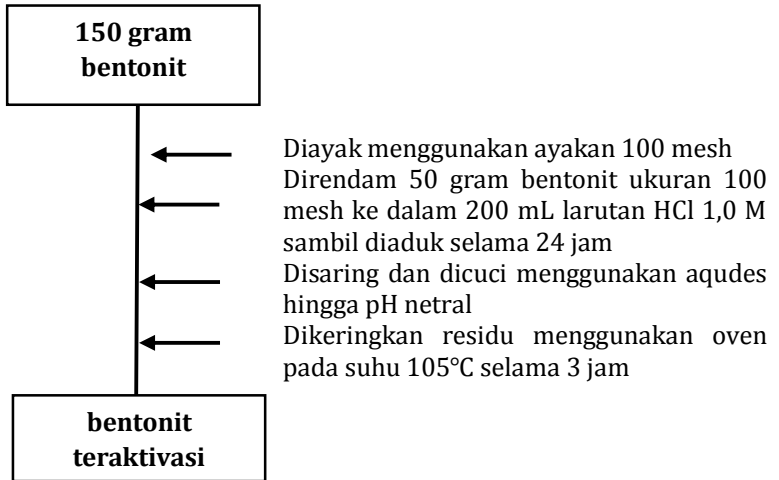
LAMPIRAN

Lampiran 1: Skema Prosedur Kerja

1. Preparasi Arang Aktif Tempurung Kluwak

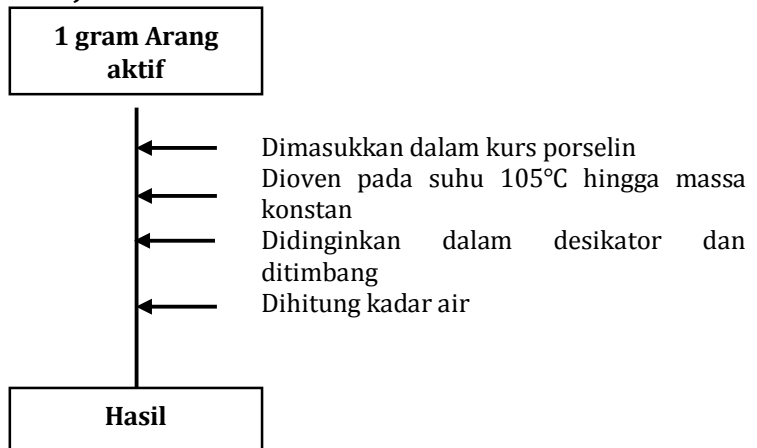


2. Preparasi Bentonit Teraktivasi

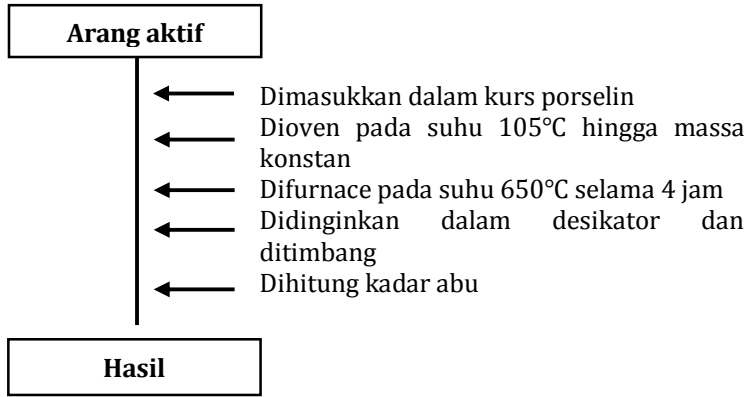


3. Pengujian Arang Aktif

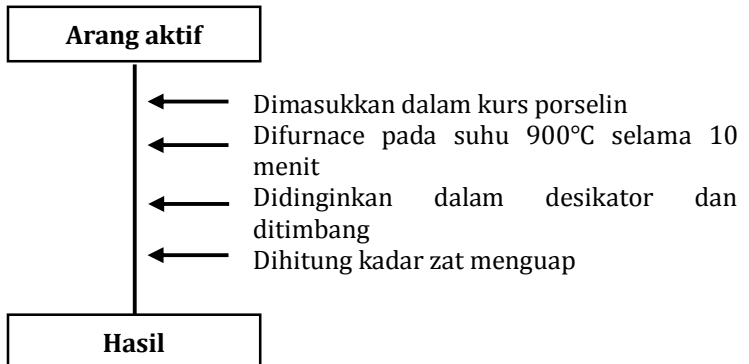
a. Uji Kadar Air



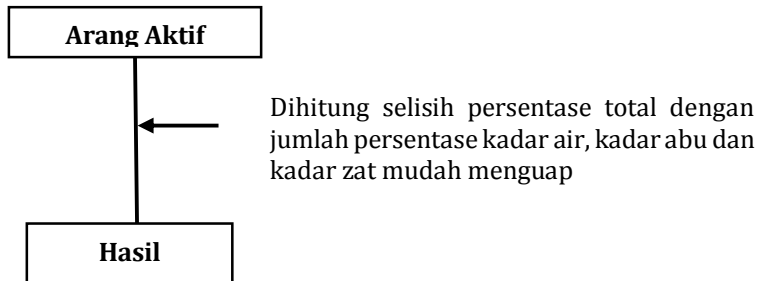
b. Uji Kadar Abu



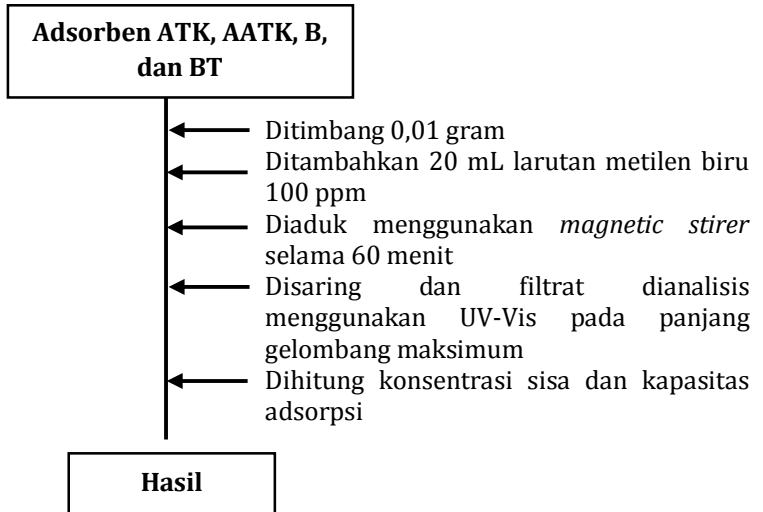
c. Uji kadar Zat menguap



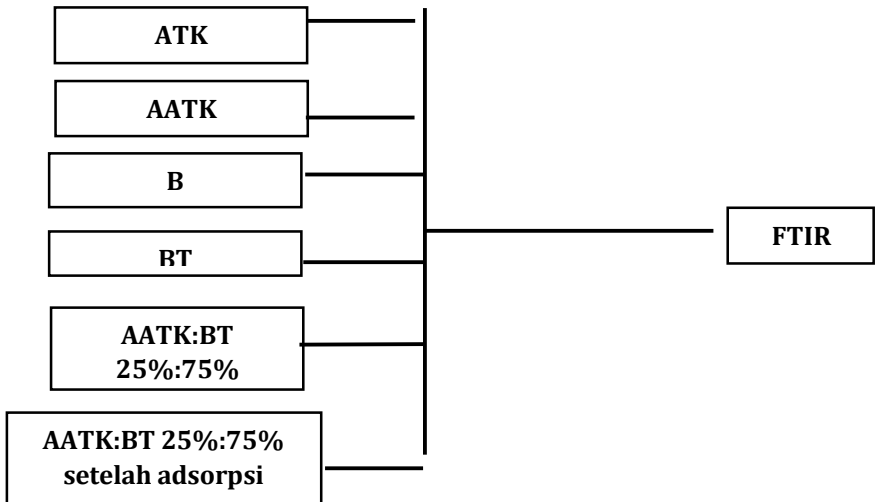
d. Uji Kadar Karbon



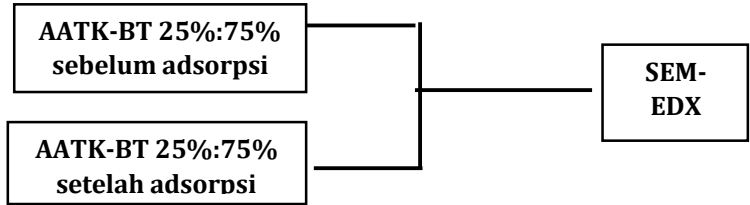
e. Uji daya serap metilen biru



f. Karakterisasi menggunakan FTIR

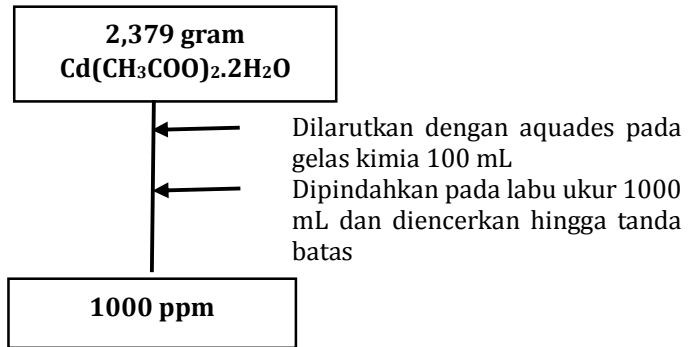


g. Karakterisasi menggunakan SEM EDX

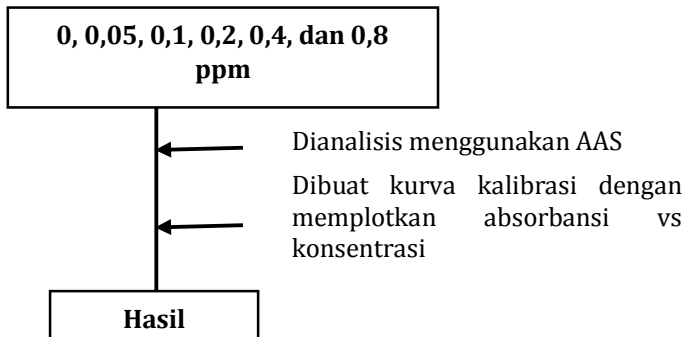


4. Pembuatan larutan kadmium(II)

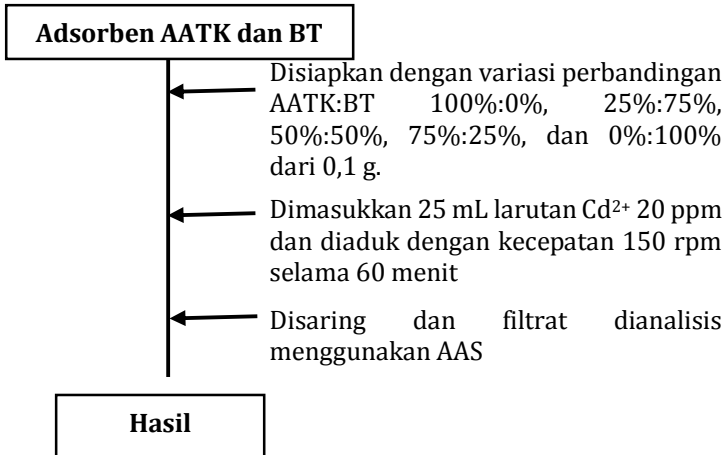
a. Larutan induk 1000 ppm



b. Kurva standar

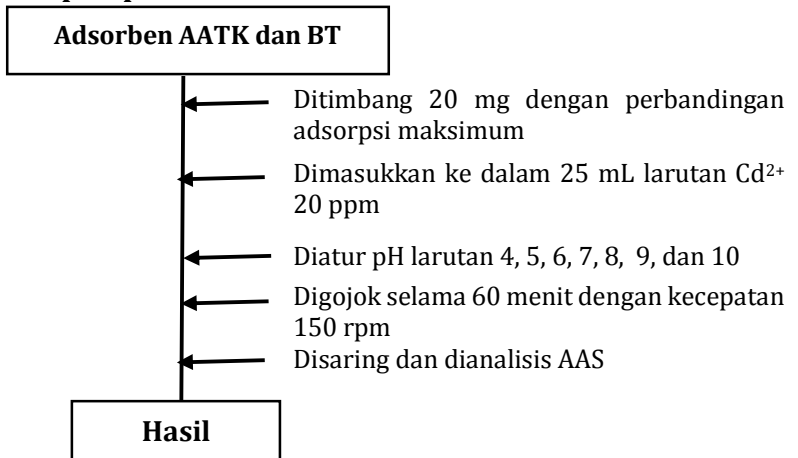


5. Adsorpsi Logam Kadmium(II)

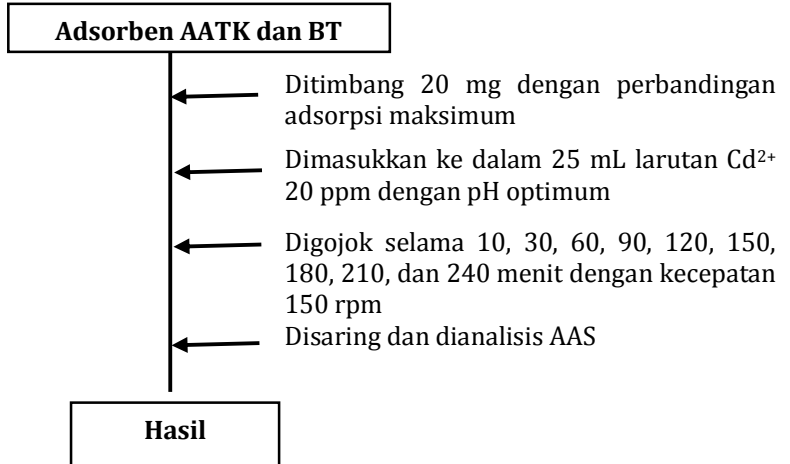


6. Penentuan Kondisi Optimum

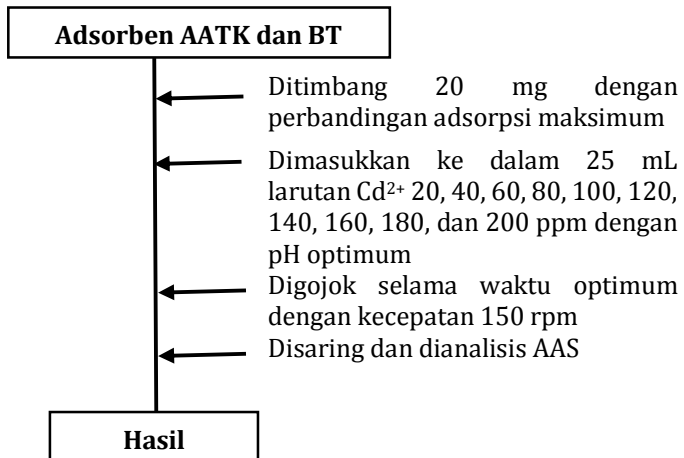
a. pH optimum



b. Waktu kontak optimum



c. Penentuan Konsentrasi Optimum



Lampiran 2: Data Hasil Percobaan

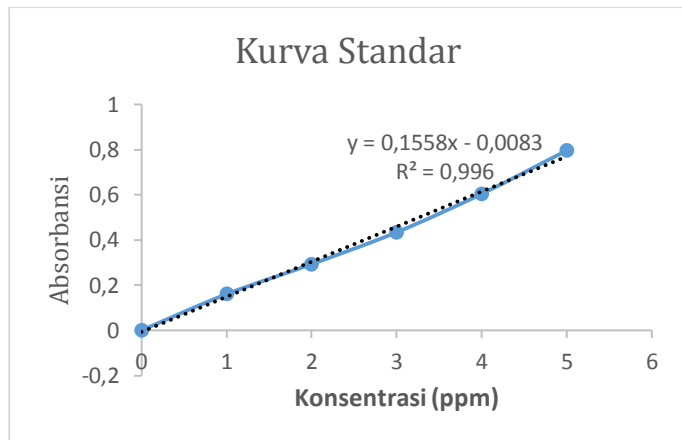
A. Data Pengujian Arang Tempurung Kluwak

Pengujian	ATK	AATK
Kadar Air	8%	6%
Kadar Abu	3,26%	3,19%
Kadar Zat Menguap	25,33%	27,33%
Kadar Karbon	63,41%	65,48%

B. Data Pengujian Daya Serap Metilen Biru

1. Kurva Kalibrasi Larutan Standar Metilen Biru

Konsentrasi	Absorbansi
0	0,000
1	0,160
2	0,293
3	0,434
4	0,604
5	0,796



2. Data Absorbansi Adsorben

Adsorben	Absorbansi
ATK	4,192
AATK	3,884
B	0,383
BT	0,026

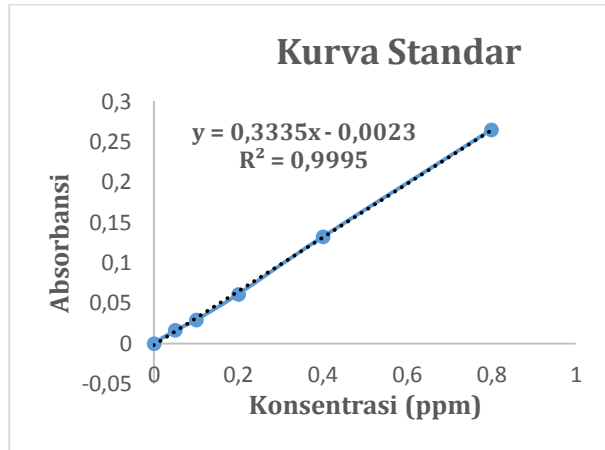
3. Data kapasitas adsorpsi pada metilen biru

Adsorben	Konsentrasi Awal (Co) (mg/L)	Konsentrasi Akhir (Ce) (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Qe) (mg/g)
ATK	90,4	26,959	126,88
AATK	90,4	24,982	130,83
B	90,4	2,511	175,778
BT	90,4	0,220	180,36

C. Data Penentuan Kapasitas Adsorpsi Maksimum Terhadap Logam Kadmium(II)

1. Kurva Kalibrasi Logam Kadmium(II)

Konsentrasi	Absorbansi
0	0,000
0,05	0,016
0,1	0,029
0,2	0,061
0,4	0,132
0,8	0,265



2. Data Kapasitas Adsorpsi Pencampuran AATK-BT

Perbandingan AATK-BT	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)
100%:0%	14,92	3,959	2,740
75%:25%	14,92	0,947	3,493
50%:50%	14,92	0,553	3,590
25%:75%	14,92	0,228	3,673
0%:100%	14,92	0,25	3,667

D. Data Penentuan Kondisi Optimum

1. Variasi pH

pH	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)
4	14,92	9,75	6,462
5	14,92	1,654	16,582
6	14,92	1,1135	17,258
7	14,92	1,3515	16,960
8	14,92	1,459	16,826
9	14,92	6,861	10,073
10	14,92	6,87	10,062

2. Variasi Waktu Kontak

Waktu Kontak (menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)
10	15,67	0,994	18,345
30	15,67	0,983	18,358
60	15,67	1,147	18,153
90	15,67	0,949	18,401
120	15,67	0,894	18,470
150	15,67	0,495	18,968
180	15,67	0,290	19,225
210	15,67	0,489	18,976
240	15,67	0,526	18,930

3. Variasi Konsentrasi

Konsentrasi (ppm)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)
20	120	0,421	24,47
40	40	4,183	44,77
60	60	17,44	53,2
80	80	22,21	72,23
100	100	34,09	82,38
120	120	51,42	85,72
140	140	56,87	103,91
160	160	75,11	106,11
180	180	77,97	127,53
200	200	105,6	118

Lampiran 3: Analisis Data

A. Perhitungan Pembuatan Larutan HCl 1,2M Sebanyak 250 mL

$$\begin{aligned}M &= \frac{10 \times \% \times \rho}{Mr \text{ HCl}} \\ &= \frac{10 \times 37 \times 1,19}{36,46} \\ &= 12,076 \text{ M}\end{aligned}$$

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

$$12,076 \text{ M} \times V_1 = 1,2 \text{ M} \times 250 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{300}{12,076}$$

$$V_1 = 24,84 \text{ mL}$$

B. Perhitungan Pembuatan Larutan HCl 1M Sebanyak 250 mL

$$\begin{aligned}M &= \frac{10 \times \% \times \rho}{Mr \text{ HCl}} \\ &= \frac{10 \times 37 \times 1,19}{36,46} \\ &= 12,076 \text{ M}\end{aligned}$$

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

$$12,076 \text{ M} \times V_1 = 1 \text{ M} \times 250 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{250}{12,076}$$

$$V_1 = 20,70 \text{ mL}$$

C. Perhitungan Pembuatan Larutan Ion Logam Kadmium(II)

1. Pembuatan Larutan Induk 1000 ppm dalam 1 L

$$\begin{aligned}\text{Massa Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} &= \frac{M \times V \times \text{Mr Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar Cd}} \\ &= \frac{1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1 \text{ L} \times 266,52 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{112 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \\ &= \frac{266.520}{112} \\ &= 2.379,64 \text{ mg} \\ &= 2,379 \text{ gram}\end{aligned}$$

D. Pengujian Arang Aktif Tempurung Kluwak

1. Uji kadar Air

a) Kadar Air ATK

$$\% \text{ Kadar Air ATK} = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \times 100\%$$

$$\% \text{ Kadar Air ATK} = \frac{35,05 - 34,97}{35,05 - 34,05} \times 100\% = 8\%$$

b) Kadar Air AATK

$$\% \text{ Kadar Air AATK} = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \times 100\%$$

$$\% \text{ Kadar Air AATK} = \frac{36,06 - 36,00}{36,06 - 35,06} \times 100\% = 6\%$$

2. Uji Kadar Abu

a) Kadar Abu ATK

$$\% \text{ Kadar Abu ATK} = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \times 100\%$$

$$\% \text{ Kadar Abu ATK} = \frac{34,03 - 34,00}{34,92 - 34,00} \times 100\% = 3,26\%$$

b) Kadar Abu AATK

$$\% \text{ Kadar Abu AATK} = \frac{M3-M1}{M2-M1} \times 100\%$$

$$\% \text{ Kadar Abu AATK} = \frac{35,02-34,99}{35,93-34,99} \times 100\% = 3,19\%$$

3. Uji Kadar Zat Menguap

a) Kadar Zat Menguap ATK

$$\% \text{ loss} = \frac{M2-M3}{M2-M1} \times 100\%$$

$$\% \text{ loss} = \frac{34,03-34,02}{34,03-34,00} \times 100\% = 33,33\%$$

$$\% \text{ VM} = \% \text{ loss} - \% \text{ kadar air}$$

$$\% \text{ VM} = 33,33\% - 8\% = 25,33\%$$

b) Kadar Zat Menguap AATK

$$\% \text{ loss} = \frac{M2-M3}{M2-M1} \times 100\%$$

$$\% \text{ loss} = \frac{35,02-35,01}{35,02-34,99} \times 100\% = 33,33\%$$

$$\% \text{ VM} = \% \text{ loss} - \% \text{ kadar air}$$

$$\% \text{ VM} = 33,33\% - 6\% = 27,33\%$$

4. Uji Kadar Karbon

a) Kadar Karbon ATK

$$\% \text{ Kadar Karbon} = 100\% - (\% \text{ kadar air} + \% \text{ kadar abu} + \% \text{ VM})$$

$$\% \text{ Kadar Karbon} = 100\% - (8\% - 3,26\% - 25,33\%)$$

$$\% \text{ Kadar Karbon} = 63,41\%$$

b) Kadar Karbon AATK

$$\% \text{ Kadar Karbon} = 100\% - (\% \text{kadar air} + \% \text{kadar abu} + \% \text{VM})$$

$$\% \text{ Kadar Karbon} = 100\% - (6\% - 3,19\% - 25,33\%)$$

$$\% \text{ Kadar Karbon} = 65,48\%$$

5. Uji Daya Serap Metilen Biru

a) Bentonit

$$y = 0,1558x - 0,0083$$

$$0,383 = 0,1558x - 0,0083$$

$$0,1558x = 0,3913$$

$$x = 2,511$$

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e) \times V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(90,4 - 2,511) \text{ mg/L} \cdot 0,02 \text{ L}}{0,01 \text{ g}}$$

$$Q_e = 175,778 \text{ mg/g}$$

b) Bentonit teraktivasi (BT)

$$y = 0,1558x - 0,0083$$

$$0,026 = 0,1558x - 0,0083$$

$$0,1558x = 0,0343$$

$$x = 0,220$$

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e) \times V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(90,4 - 0,220) \text{ mg/L} \cdot 0,02 \text{ L}}{0,01 \text{ g}}$$

$$Q_e = 180,36 \text{ mg/g}$$

c) Arang Tempurung Kluwak (ATK)

$$y = 0,1558x - 0,0083$$

$$4,192 = 0,1558x - 0,0083$$

$$0,1558x = 4,2003$$

$$x = 26,959$$

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e) \times V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(90,4 - 26,959) \text{ mg/L} \cdot 0,02 \text{ L}}{0,01 \text{ g}}$$

$$Q_e = 126,88 \text{ mg/g}$$

d) Arang Aktif Tempurung Kluwak (AATK)

$$y = 0,1558x - 0,0083$$

$$3,884 = 0,1558x - 0,0083$$

$$0,1558x = 3,8923$$

$$x = 24,982$$

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e) \times V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(90,4 - 24,982) \text{ mg/L} \cdot 0,02 \text{ L}}{0,01 \text{ g}}$$

$$Q_e = 130,83 \text{ mg/g}$$

E. Perhitungan Adsorpsi Maksimum Perbandingan AATK-BT Terhadap Ion Logam Kadmium(II)

a. AATK-BT 100%:0%

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e) \cdot V}{m}$$

$$= \frac{(14,92 - 3,959) \text{ mg/L} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,1 \text{ g}}$$

$$= 2,740 \text{ mg/g}$$

b. AATK-BT 75%:25%

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e).V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(14,92 - 0,947) \text{ mg/L} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,1 \text{ g}}$$

$$Q_e = 3,493 \text{ mg/g}$$

c. AATK-BT 50%:50%

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e).V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(14,92 - 0,553) \text{ mg/L} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,1 \text{ g}}$$

$$Q_e = 3,591 \text{ mg/g}$$

d. AATK-BT 25%:75%

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e).V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(14,92 - 0,228) \text{ mg/L} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,1 \text{ g}}$$

$$Q_e = 3,673 \text{ mg/g}$$

e. AATK-BT 0%:100%

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e).V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(14,92 - 0,25) \text{ mg/L} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,1 \text{ g}}$$

$$Q_e = 3,667 \text{ mg/g}$$

F. Perhitungan Penentuan Kondisi Optimum

1. Variasi pH

a) pH 4

$$Q_e = \frac{(C_o - C_s).V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(14,92 - 9,75) \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 6,462 \text{ mg/g}$$

b) pH 5

$$Q_e = \frac{(C_o - C_s) \cdot V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(14,92 - 1,654) \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 16,58 \text{ mg/g}$$

c) pH 6

$$Q_e = \frac{(C_o - C_s) \cdot V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(14,92 - 1,1135) \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 17,25 \text{ mg/g}$$

d) pH 7

$$Q_e = \frac{(C_o - C_s) \cdot V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(14,92 - 1,3515) \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 16,96 \text{ mg/g}$$

e) pH 8

$$Q_e = \frac{(C_o - C_s) \cdot V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(14,92 - 1,459) \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 16,82 \text{ mg/g}$$

f) pH 9

$$Q_e = \frac{(C_o - C_s) \cdot V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(14,92 - 6,861) \text{ mg}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L}$$
$$Q_e = \frac{\quad}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 10,07 \text{ mg/g}$$

g) pH 10

$$Q_e = \frac{(C_o - C_s) \cdot V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(14,92 - 6,87) \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 10,06 \text{ mg/g}$$

2. Variasi Waktu Kontak

a) 10 menit

$$Q_e = \frac{(C_o - C_s) \cdot V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(15,67 - 0,994) \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 18,345 \text{ mg/g}$$

b) 30 menit

$$Q_e = \frac{(C_o - C_s) \cdot V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(15,67 - 0,983) \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 18,358 \text{ mg/g}$$

c) 60 menit

$$Q_e = \frac{(C_o - C_s) \cdot V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(15,67 - 1,147) \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 18,153 \text{ mg/g}$$

d) 90 menit

$$Q_e = \frac{(C_o - C_s).V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(15,67 - 0,949) \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 18,401 \text{ mg/g}$$

e) 120 menit

$$Q_e = \frac{(C_o - C_s).V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(15,67 - 0,894) \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 18,470 \text{ mg/g}$$

f) 150 menit

$$Q_e = \frac{(C_o - C_s).V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(15,67 - 0,495) \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 18,968 \text{ mg/g}$$

g) 180 menit

$$Q_e = \frac{(C_o - C_s).V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(15,67 - 0,290) \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 19,225 \text{ mg/g}$$

h) 210 menit

$$Q_e = \frac{(C_o - C_s).V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(15,67 - 0,489) \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 18,976 \text{ mg/g}$$

i) 240 menit

$$Q_e = \frac{(C_o - C_s).V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(15,67 - 0,526) \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 18,930 \text{ mg/g}$$

3. Variasi Konsentrasi

a) 20 ppm

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e).V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(20 - 0,421) \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 24,47 \text{ mg/g}$$

b) 40 ppm

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e).V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(40 - 4,183) \text{ mg/L} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 44,77 \text{ mg/g}$$

c) 60 ppm

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e).V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(60 - 17,44) \text{ mg/L} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 53,2 \text{ mg/g}$$

d) 80 ppm

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e).V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(80-22,21)\text{mg/L} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 72,23 \text{ mg/g}$$

e) 100 ppm

$$Q_e = \frac{(\text{Co}-\text{Ce}) \cdot V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(100-34,09)\text{mg/L} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 82,38 \text{ mg/g}$$

f) 120 ppm

$$Q_e = \frac{(\text{Co}-\text{Ce}) \cdot V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(120-51,42)\text{mg/L} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 85,72 \text{ mg/g}$$

g) 140 ppm

$$Q_e = \frac{(\text{Co}-\text{Ce}) \cdot V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(140-56,87)\text{mg/L} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 103,91 \text{ mg/g}$$

h) 160 ppm

$$Q_e = \frac{(\text{Co}-\text{Ce}) \cdot V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(160-75,11)\text{mg/L} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 106,11 \text{ mg/g}$$

i) 180 ppm

$$Q_e = \frac{(\text{Co}-\text{Ce}) \cdot V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(180-77,97)\text{mg/L} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 127,53 \text{ mg/g}$$

j) 200 ppm

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e) \cdot V}{m}$$

$$Q_e = \frac{(200 - 105,6) \text{ mg/L} \cdot 0,025 \text{ L}}{0,02 \text{ g}}$$

$$Q_e = 118 \text{ mg/g}$$

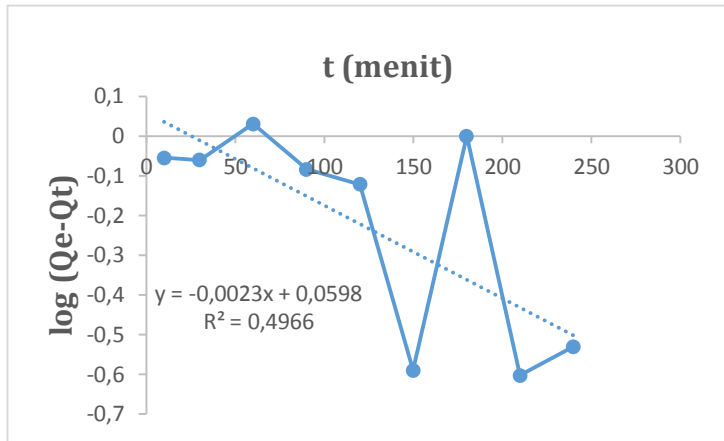
G. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

1. Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu

Tabel L3.1 Data Penentuan Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu

t (menit)	Qt (mg/g)	Qe (mg/g)	Qe-Qt	log (Qe-Qt)
10	18,345	19,225	0,880	-0,055
30	18,358	19,225	0,867	-0,061
60	18,153	19,225	1,072	0,030
90	18,401	19,225	0,824	-0,084
120	18,470	19,225	0,755	-0,122
150	18,968	19,225	0,257	-0,590
180	19,225	19,225	0	0
210	18,976	19,225	0,249	-0,603
240	18,930	19,225	0,295	-0,530

Data pada tabel L3.1 dapat dibuat kurva persamaan linear antara t vs Log Qe-Qt dengan intersep = Qe dan sloponya = k₁. Kurva t vs Log Qe-Qt ditunjukkan pada gambar L3.1



Gambar L3.1 Kurva Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu

Berdasarkan pada gambar L3.1 didapatnya persamaan kinetika adsorpsi pseudo orde satu dengan $y = -0,0023x + 0,0598$ dan $R^2 = 0,4966$. Nilai k_1 dan Q_e dapat dihitung menggunakan cara seperti berikut :

$$y = ax + b$$

$$y = -0,0023x + 0,0598$$

$$\frac{k_1}{2,303} = a$$

$$k_1 = -0,0023 (2,303)$$

$$k_1 = -0,00529$$

$$\text{Log } Q_e = b$$

$$Q_e = 10^b$$

$$Q_e = 10^{0,0598}$$

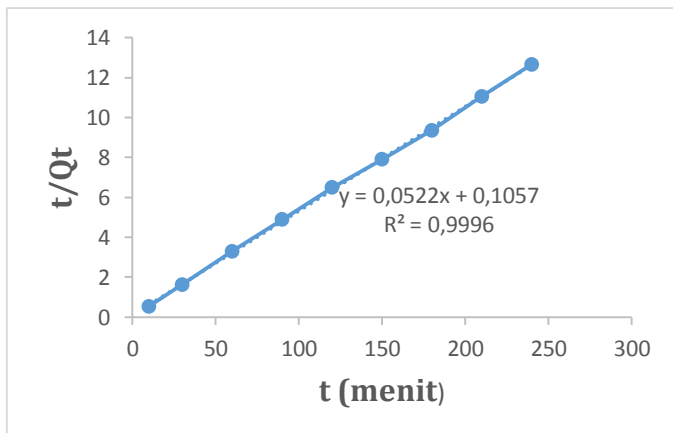
$$Q_e = 1,1476$$

2. Kinetika Pseudo Orde 2

Tabel L3.2 Data Penentuan Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua

t (menit)	Qt (mg/g)	t/Qt
10	18,345	0,545
30	18,358	1,634
60	18,153	3,305
90	18,401	4,891
120	18,470	6,497
150	18,968	7,908
180	19,225	9,362
210	18,976	11,066
240	18,930	12,678

Data pada tabel L3.2 dapat dibuat kurva persamaan linear antara t vs t/Qt dengan intersep = $1/k_2Q_e^2$ dan sloponya = $1/Q_e$. Kurva t vs t/Qt ditunjukkan pada gambar L3.2



Gambar L3.2 Kurva Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua

Berdasarkan pada gambar L3.2 didapatkan persamaan kinetika adsorpsi pseudo orde satu dengan $y = 0,0522x + 0,1057$ dan $R^2 = 0,9996$. Nilai k_2 dan Q_e dapat dihitung menggunakan cara seperti berikut :

$$y = ax + b$$

$$y = 0,0522x + 0,1057$$

$$\frac{1}{Q_e} = a$$

$$\frac{1}{Q_e} = 0,0522$$

$$\frac{1}{0,0522} = Q_e$$

$$Q_e = 19,157$$

$$\frac{1}{k_2 Q_e^2} = b$$

$$\frac{1}{k_2 (19,157)^2} = 0,1057$$

$$\frac{1}{0,1057 (19,157)^2} = k_2$$

$$k_2 = \frac{1}{38,790}$$

$$k_2 = 0,0257$$

H. Perhitungan Isoterm Adsorpsi

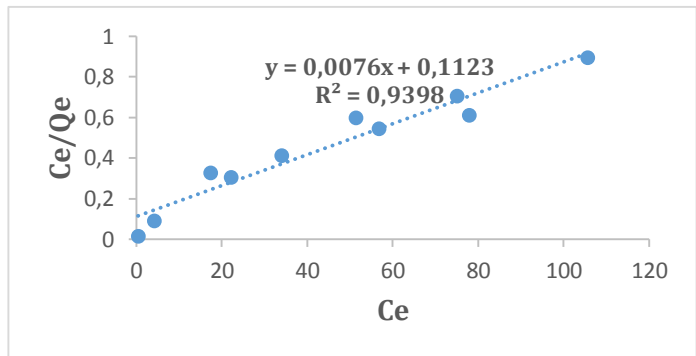
1. Isoterm Langmuir

Tabel L3.3 Data Penentuan Isoterm Langmuir

Konsentrasi (ppm)	Ce (mg/L)	Qe (mg/L)	Ce/Qe
20	0,421	24,47	0,017
40	4,183	44,77	0,093
60	17,44	53,2	0,327

80	22,21	72,23	0,307
100	34,09	82,38	0,413
120	51,42	85,72	0,599
140	56,87	103,91	0,547
160	75,11	106,11	0,707
180	77,97	127,53	0,611
200	105,6	118	0,894

Data pada tabel L3.3 dapat dibuat kurva persamaan linear antara Ce vs Ce/Qe dengan intersep $\frac{1}{kL \cdot qm}$ dan slopnya $\frac{1}{qm}$. Kurva Ce vs Ce/Qe ditunjukkan pada gambar L3.3



Gambar L3.3 Kurva Isoterm Langmuir

Berdasarkan pada gambar L3.3 didapatkan persamaan isoterm langmuir dengan $y = 0,0076 + 0,1123$ dan $R^2 = 0,9398$. Nilai k_L dan Q_{max} dapat dihitung menggunakan cara seperti berikut :

$$\frac{1}{Q_{max}} = a$$

$$\frac{1}{a} = Q_{max}$$

$$\frac{1}{0,0076} = Q_{max}$$

$$131,57 = Q_{max}$$

$$\frac{1}{kl.Qmax} = b$$

$$\frac{1}{kl.131,57} = 0,1123$$

$$k_L = \frac{8,904}{131,57}$$

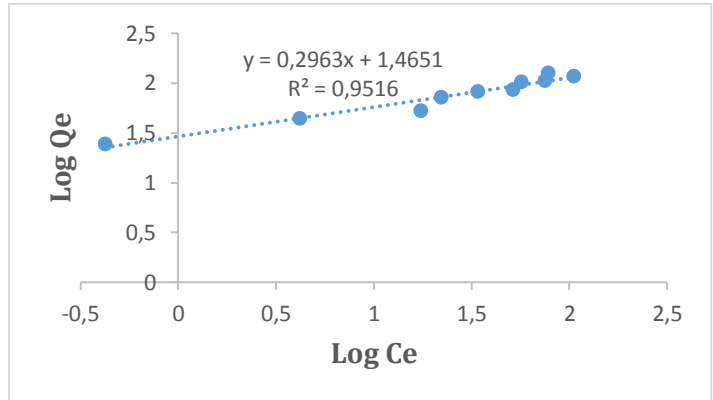
$$k_L = 0,067$$

2. Isoterm Freundlich

Tabel L3.4 Data Penentuan Isoterm Freundlich

Konsentrasi (ppm)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Log Ce	Log Qe
20	0,421	22,47	-0,375	1,388
40	4,183	44,77	0,621	1,650
60	17,44	53,2	1,241	1,725
80	22,21	72,23	1,346	1,858
100	34,09	82,38	1,532	1,915
120	51,42	85,72	1,711	1,933
140	56,87	103,91	1,754	2,016
160	75,11	106,11	1,875	2,025
180	77,97	127,53	1,891	2,105
200	105,6	118	2,203	2,071

Data pada tabel L3.4 dapat dibuat kurva persamaan linear antara Log Ce vs Log Qe dengan intersep Log kf dan sloponya $\frac{1}{n}$. Kurva Log Ce vs Log Qe ditunjukkan pada gambar L3.4



Gambar L3.4 Kurva Isoterm Freundlich

Berdasarkan pada gambar L3.4 didapatnya persamaan isoterm freundlich dengan $y = 0,2963x + 1,4651$ dan $R^2 = 0,9516$. Nilai K_F dan n dapat dihitung menggunakan cara seperti berikut :

$$\text{Log } k_f = b$$

$$\text{Log } k_f = 1,4651$$

$$k_f = 10^{(1,4651)}$$

$$k_f = 29,180$$

$$1/n = a$$

$$1/n = 0,2963$$

$$n = 1/0,2963$$

$$n = 3,374$$

I. Perhitungan Qsp (Hasil Kali Kelarutan Ion)

$$K_{sp} \text{ Cd(OH)}_2 = 7,2 \times 10^{-15}$$

$$Q_{sp} < K_{sp} \rightarrow \text{Larut}$$

Qsp = Ksp → Tepat jenuh

Qsp > Ksp → Lewat jenuh (mengendap)

Konsentrasi yang digunakan 20 ppm dan Volume 25 mL

$$20 \text{ ppm} = \frac{20 \text{ mg}}{1000 \text{ mL}} = \frac{1 \text{ mg}}{25 \text{ mL}}$$

Ar Cd = 112 gram/mol

$$\frac{112 \text{ mg}}{1 \text{ mol}} = \frac{1 \text{ mg}}{x}$$

1 gram = 0,0000089286 mol

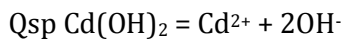
1 gram = $8,9286 \times 10^{-6}$ mol

$$\begin{aligned} M &= \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ &= \frac{8,9286 \times 10^{-6}}{25 \times 10^{-3}} \\ &= 0,357144 \times 10^{-3} \\ &= 3,57144 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

a) pH 4

$$\text{POH} = 10$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-10}$$



$$\begin{aligned} \text{Qsp} &= s \quad 2s \\ &= 3,57144 \cdot 10^{-4} (10^{-10})^2 \\ &= 3,57144 \cdot 10^{-24} \text{ (Larut)} \end{aligned}$$

b) pH 5

$$\text{POH} = 9$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-9}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{sp} \text{ Cd(OH)}_2 &= \text{Cd}^{2+} + 2\text{OH}^- \\
 Q_{sp} &= s \quad 2s \\
 &= 3,57144 \cdot 10^{-4} (10^{-9})^2 \\
 &= 3,57144 \cdot 10^{-22} \text{ (Larut)}
 \end{aligned}$$

c) pH 6

$$\text{POH} = 8$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-8}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{sp} \text{ Cd(OH)}_2 &= \text{Cd}^{2+} + 2\text{OH}^- \\
 Q_{sp} &= s \quad 2s \\
 &= 3,57144 \cdot 10^{-4} (10^{-8})^2 \\
 &= 3,57144 \cdot 10^{-20} \text{ (Larut)}
 \end{aligned}$$

d) pH 7

$$\text{POH} = 7$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-7}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{sp} \text{ Cd(OH)}_2 &= \text{Cd}^{2+} + 2\text{OH}^- \\
 Q_{sp} &= s \quad 2s \\
 &= 3,57144 \cdot 10^{-4} (10^{-7})^2 \\
 &= 3,57144 \cdot 10^{-18} \text{ (Larut)}
 \end{aligned}$$

e) pH 8

$$\text{POH} = 6$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-6}$$

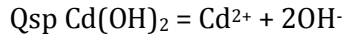
$$\begin{aligned}
 Q_{sp} \text{ Cd(OH)}_2 &= \text{Cd}^{2+} + 2\text{OH}^- \\
 Q_{sp} &= s \quad 2s \\
 &= 3,57144 \cdot 10^{-4} (10^{-6})^2
 \end{aligned}$$

$$= 3,57144 \cdot 10^{-16} \text{ (Larut)}$$

f) pH 9

$$\text{POH} = 5$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-5}$$



$$\text{Qsp} = s \quad 2s$$

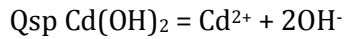
$$= 3,57144 \cdot 10^{-4} (10^{-5})^2$$

$$= 3,57144 \cdot 10^{-14} \text{ (endapan)}$$

g) pH 10

$$\text{POH} = 4$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-4}$$



$$\text{Qsp} = s \quad 2s$$

$$= 3,57144 \cdot 10^{-4} (10^{-4})^2$$

$$= 3,57144 \cdot 10^{-12} \text{ (endapan)}$$

Lampiran 4: Dokumentasi Percobaan



Preparasi Arang Aktif Tempurung Kluwak



Preparasi Bentonit Teraktivasi



**Sampel Adsorpsi Metilen Biru
B,BT,ATK, dan AATK**



**Sampel Perbandingan maksimum AATK-BT
terhadap adsorpsi ion logam kadmium(II)**



Sampel Variasi pH



**Sampel Variasi Waktu
Kontak**



Sampel Variasi Konsentrasi

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

Nama : Dewi Salsabila
Tempat, Tanggal Lahir : Tegal, 29 November 2000
Agama : Islam
Alamat : Jalan Anggrek No 30 Rt 19 Rw
06 Desa Tegalwangi Kec. Talang
Kab. Tegal
Telepon/Hp : 089633494432
Email : salsadewi.ds@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. TK Arum Tegalwangi (2004-2006)
2. SDN 01 Tegalwangi (2006-2012)
3. SMP N 10 Kota Tegal (2012-2015)
4. MAN 1 Tegal (2015-2018)
5. UIN Walisongo Semarang Angkatan 2018