

**PEMANFAATAN CaCO_3 DARI CANGKANG TELUR AYAM
NEGERI (*Gallus gallus domesticus*) TERAKTIVASI HCl
DAN NaOH UNTUK ADSORPSI ION LOGAM Pb^{2+}**

SKRIPSI

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



Oleh:

Tara Bintang Aghnia

1908036001

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2023**

**PEMANFAATAN CaCO_3 DARI CANGKANG TELUR AYAM
NEGERI (*Gallus gallus domesticus*) TERAKTIVASI HCl DAN
NaOH UNTUK ADSORPSI ION LOGAM Pb^{2+}**

SKRIPSI

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

Oleh:

Tara Bintang Aghnia

1908036001

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2023**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Tara Bintang Aghnia

NIM : 1908036001

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**PEMANFAATAN CaCO_3 DARI CANGKANG TELUR AYAM
NEGERI (*Gallus gallus domesticus*) TERAKTIVASI HCl DAN
NaOH UNTUK ADSORPSI ION LOGAM Pb^{2+}**

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

Semarang, 13 Desember 2023

Pembuat pernyataan,



Tara Bintang Aghnia

NIM: 1908036001



PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : Pemanfaatan CaCO_3 dari Cangkang Telur Ayam Negeri (*Gallus gallus domesticus*) Teraktivasi HCl dan NaOH untuk Adsorpsi Ion Logam Pb^{2+}
Penulis : Tara Bintang Aghnia
NIM : 1908036001
Jurusan : Kimia

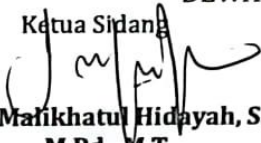
Telah diujikan dalam sidang munaqosah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu Kimia.


Semarang, 29 Desember 2023

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang

Sekretaris Sidang


**Dr. Hj. Malikhatul Hidayah, S.T.,
M.Pd., M.T**


Kholidah, M.Si
NIP: 198508112019032008

NIP: 198304152009122006

Penguji I


Penguji II


Mulyatun, M.Si
NIP: 198305042011012008


Dyah Hartasari, M.Si
NIP: 198507022019032017

Pembimbing I

Pembimbing II


Ika Nur Fitriani, S.Pd., M.Sc
NIP: 199303312019032018


Kholidah, M.Si
NIP: 198508112019032008

NOTA DINAS

Semarang, 15 Desember 2023

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

Assalamualaikum wr.wb.

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

Judul : **Pemanfaatan CaCO_3 dari Cangkang Telur Ayam Negeri (*Gallus gallus domesticus*) Teraktivasi HCl dan NaOH untuk Adsorpsi Ion Logam Pb^{2+}**

Nama : Tara Bintang Aghnia

NIM : 1908036001

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum wr.wb.

Pembimbing I



Ika Nur Fitriani, S.Pd., M.Sc

NIP: 199303312019032018

NOTA DINAS

Semarang, 15 Desember 2023

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

Assalamualaikum wr.wb.

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

Judul : **Pemanfaatan CaCO_3 dari Cangkang Telur Ayam Negeri (*Gallus gallus domesticus*) Teraktivasi HCl dan NaOH untuk Adsorpsi Ion Logam Pb^{2+}**

Nama : Tara Bintang Aghnia

NIM : 1908036001

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum wr.wb.

Pembimbing II



Kholidah, M.Sc

NIP: 198508112019032008

ABSTRAK

Judul : **Pemanfaatan CaCO_3 dari Cangkang Telur Ayam Negeri (*Gallus gallus domesticus*) Teraktivasi HCl dan NaOH untuk Adsorpsi Ion Logam Pb^{2+}**

Nama : Tara Bintang Aghnia

NIM : 1908036001

Logam Pb merupakan bahan toksik yang mudah terakumulasi dalam organ manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi adsorben cangkang telur ayam teraktivasi asam dan basa terhadap ion logam Pb^{2+} . Hasil karakterisasi adsorben cangkang telur ayam tanpa aktivasi (ACTTA), adsorben cangkang telur ayam aktivasi asam (ACTAKA), dan adsorben cangkang telur ayam aktivasi basa (ACTAKB) menggunakan FTIR menunjukkan adanya gugus O-H, C=O, CO, CO_3^{2-} , dan Ca-C. Hasil karakteristik XRD pada ACTAKB menunjukkan terdapat gugus CaCO_3 . Hasil karakteristik SEM menunjukkan rata-rata diameter pori ACTTA sebesar $0,528 \mu\text{m}$, ACTAKA sebesar $0,418 \mu\text{m}$, dan ACTAKB sebesar $0,396 \mu\text{m}$. Kapasitas adsorpsi dari adsorben ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB secara berturut-turut pada pH 6 sebesar $46,4327 \text{ mg/g}$, $46,4261 \text{ mg/g}$, dan $46,44 \text{ mg/g}$. Kapasitas adsorpsi untuk waktu kontak ACTTA sebesar $39,1877 \text{ mg/g}$, ACTAKA $39,1247 \text{ mg/g}$, dan ACTAKB sebesar $39,1688 \text{ mg/g}$. Kapasitas adsorpsi ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB secara berturut-turut untuk konsentrasi larutan ion logam Pb^{2+} sebesar $128,884 \text{ ppm}$ yaitu sebesar $509,97 \text{ mg/g}$, $535,27 \text{ mg/g}$, dan $536,73 \text{ mg/g}$. Kinetika adsorben ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB mengikuti kinetika *pseudo* orde dua, sedangkan isoterm adsorpsi pada ACTTA mengikuti isoterm Freundlich serta ACTAKA dan ACTAKB mengikuti isoterm Langmuir.

Kata Kunci: *Adsorpsi, Cangkang telur ayam teraktivasi asam dan basa, Ion logam Pb^{2+} .*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyusun serta menyelesaikan skripsi ini tanpa ada halangan suatu apapun. Selawat serta salam tetap tercurahkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, para sahabat, serta para pengikutnya.

Rasa syukur penulis ucapkan sekali lagi kepada Allah SWT yang selalu memberikan kemudahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi dengan judul “Pemanfaatan CaCO_3 dari Cangkang Telur Ayam Negeri (*Gallus gallus domesticus*) Teraktivasi HCl dan NaOH untuk Adsorpsi Ion Logam Pb^{2+} ”. Skripsi ini disusun sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana sains ilmu kimia di UIN Walisongo Semarang, Fakultas Sains dan Teknologi. Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai pihak yang telah memberikan bimbingan, nasihat, dukungan, serta doa. Penulis ingin mengucapkan banyak-banyak terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Nizar Ali, M.Ag selaku PLT Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
2. Dr. H. Ismail, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.

3. Dr. Malikhatul Hidayah, S.T., M.Pd., M.T selaku Ketua Jurusan Kimia
4. Ika Nur Fitriani, S.Pd., M.Sc selaku dosen pembimbing I yang sudah membimbing penulis dengan sangat baik dan sabar, memberikan kritik, saran, serta masukan selama menyusun hingga menyelesaikan skripsi.
5. Kholidah, M.Sc selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing, memberikan masukan, dan motivasi, serta memberikan arahan dengan sangat baik kepada penulis sehingga penulis sangat terbantu dalam penyusunan skripsi.
6. Segenap Dosen, Pegawai, dan Civitas Akademik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama kuliah.
7. Kedua orang tua tersayang dan tercinta, Bapak Yudo Tejopramono dan Ibu Hartati yang selalu mendoakan penulis, memberikan nasihat, semangat, dan memberikan dukungan berupa materil kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi.
8. Adik penulis, Syifa Aulia Zahra yang selalu membantu penulis selama pengerjaan skripsi.
9. Sahabat terbaik penulis dari awal kuliah (Nisfakh Tri Oktafiani, Fatiyya Azzamuna, Sulistyaningsih) yang telah

memberikan semangat, dukungan, dan telah menghibur penulis untuk menyelesaikan skripsi.

10. Teman-teman kelas Kimia A dan teman-teman seperjuangan Kimia 2019 yang senantiasa memberikan semangat satu sama lain.
11. Kepada member SHINee, EXO, dan NCT yang selalu menjadi penghibur dan penyemangat dalam pengerjaan skripsi ini.
12. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan susunan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan Mahasiswa Program Studi Kimia UIN Walisongo Semarang khususnya dan bagi rekan-rekan pembaca lainnya serta bermanfaat untuk kepentingan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Semarang, 13 Desember 2023

Penulis

Tara Bintang Aghnia

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PERNGESAHAN	iii
NOTA DINAS	iv
NOTA DINAS	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	9
C. Tujuan Penelitian.....	9
D. Manfaat Penelitian.....	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	11
A. Logam Berat.....	11
B. Adsorpsi.....	13
C. Cangkang Telur.....	19
D. Isoterm Adsorpsi.....	21
E. Kinetika Adsorpsi.....	24
F. Spektroskopi Inframerah (FTIR).....	26
G. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).....	29

H. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	31
I. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	34
J. Kajian Riset yang Relevan.....	36
K. Hipotesis.....	38
BAB III METODE PENELITIAN.....	40
A. Alat dan Bahan.....	40
B. Prosedur Kerja.....	41
1. Preparasi Cangkang Telur	41
2. Pembuatan Larutan Baku $Pb(NO_3)_2$ 1000 ppm.....	41
3. Pembuatan Deret Larutan Standar Pb.....	41
4. Perlakuan Cangkang Telur	42
5. Karakterisasi Adsorben Cangkang Telur.....	43
6. Penentuan Kondisi Optimum.....	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	49
A. Preparasi Cangkang Telur.....	49
B. Perlakuan Cangkang Telur.....	50
C. Karakterisasi Adsorben Cangkang Telur.....	53
1. Uji Kadar Air	53
2. Uji Kadar Abu Total.....	54
3. Uji Zat Mudah Menguap.....	55
4. Uji Kadar Karbon Terikat.....	56
5. Uji Spektroskopi Inframerah (FTIR).....	57
6. Uji <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	60
7. Uji <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	62
D. Penentuan Kondisi Optimum	64
1. pH Optimum.....	64

2. Waktu Adsorpsi Optimum	67
3. Konsentrasi Adsorpsi Optimum Ion Logam Pb ²⁺	73
BAB V PENUTUPAN	81
A. Kesimpulan	81
B. Saran	83
DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN	94
RIWAYAT HIDUP	146

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Ion logam Pb^{2+}	12
Gambar 2. 2	Cangkang Telur	19
Gambar 2. 3	Instrumen FTIR.....	26
Gambar 2. 4	Spektra FTIR adsorben cangkang telur sebelum dan sesudah adsorpsi	28
Gambar 2. 5	Skema Umum Komponen SSA	29
Gambar 2. 6	Instrumen XRD.....	31
Gambar 2. 7	Difraktogram adsorben cangkang telur ayam	33
Gambar 2. 8	Instrumen SEM.....	34
Gambar 2. 9	Hasil SEM adsorben cangkang telur ayam.....	36
Gambar 4. 1	(a) Cangkang telur sebelum dikalsinasi dan (b) Cangkang telur sesudah dikalsinasi	51
Gambar 4. 2	Spektra FTIR ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB.....	58
Gambar 4. 3	Hasil Difraktogram ACTAKB.....	61
Gambar 4. 4	Morfologi permukaan adsorben ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB.....	62
Gambar 4. 5	Diagram spesiasi ion logam Pb^{2+}	65
Gambar 4. 6	Pengaruh variasi pH terhadap efisiensi adsorpsi.....	66
Gambar 4. 7	Pengaruh waktu adsorpsi optimum terhadap kapasitas adsorpsi.....	68
Gambar 4. 8	Model kinetika pseudo orde satu	71
Gambar 4. 9	Model kinetika pseudo orde dua	71
Gambar 4. 10	Pengaruh konsentrasi adsorpsi optimum terhadap kapasitas adsorpsi	74
Gambar 4. 11	Kurva isoterm Langmuir ACTTA	76
Gambar 4. 12	Kurva isoterm Langmuir ACTAKA.....	76
Gambar 4. 13	Kurva isoterm Langmuir ACTAKB.....	77
Gambar 4. 14	Kurva isoterm Freundlich ACTTA.....	77
Gambar 4. 15	Kurva isoterm Freundlich ACTAKA	78
Gambar 4. 16	Kurva isoterm Freundlich ACTAKB	78

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil uji kadar air	53
Tabel 4. 2 Hasil uji kadar abu total	55
Tabel 4. 3 Hasil uji kadar zat mudah menguap	56
Tabel 4. 4 Hasil uji kadar karbon terikat	57
Tabel 4. 5 Intepretasi data FTIR.....	59
Tabel 4. 6 Hasil data pH optimum.....	65
Tabel 4. 7 Hasil data waktu adsorpsi optimum	68
Tabel 4. 8 Parameter kinetika adsorpsi	72
Tabel 4. 9 Hasil data konsentrasi optimum.....	74
Tabel 4. 10 Parameter isoterm adsorpsi	79

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Skema Prosedur Kerja	94
Lampiran 2 Diagram Alir Penelitian.....	95
Lampiran 3 Data Hasil Percobaan	103
Lampiran 4 Perhitungan Analisa Data.....	106
Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian.....	138
Lampiran 6 Hasil Karakterisasi Penelitian.....	140

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pencemaran air telah mencapai tingkat yang mengkhawatirkan saat ini, karena untuk memperoleh air bersih yang memenuhi standar tertentu, saat ini menjadi barang yang mahal karena air sudah banyak terkontaminasi oleh berbagai jenis limbah dari aktivitas manusia, baik limbah dari aktivitas rumah tangga, limbah emisi dari industri dan aktivitas lainnya. Ketergantungan manusia terhadap air pun semakin meningkat seiring dengan meningkatnya perkembangan penduduk (Sulistia & Septisya, 2020).

Semakin meningkatnya perkembangan industri dapat menyebabkan turunnya kualitas air. Hal ini disebabkan karena adanya limbah yang tidak diolah terlebih dahulu sebelum tahap pembuangan yang menyebabkan limbah tersebut dapat menjadi sumber pencemar air. Efek yang timbul akibat terjadinya penurunan kualitas air adalah terganggunya kesehatan makhluk hidup serta terjadinya perubahan fisik air seperti warna, bau, dan rasa air (Santosa, 2013). Peringatan serta dampak terhadap lingkungan yang akan ditimbulkan akibat pencemaran air

telah dijelaskan dalam firman Allah SWT dalam Q.S. *Ar-Rum* (30) ayat 41 yang berbunyi:

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

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

Ayat tersebut menjelaskan bahwa telah terjadi kerusakan di darat maupun di laut yang disebabkan oleh ulah manusia. Pencemaran air terjadi karena masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, atau komponen lain ke dalam air melalui kegiatan manusia, sehingga menyebabkan menurunnya fungsi dan mutu air tersebut (Artajaya *et al.*, 2021). Salah satu contoh dari pencemaran air yaitu terkandungnya logam berat di wilayah perairan. Adanya logam berat tersebut akan memberikan dampak buruk bagi kehidupan organisme yang ada di air dan di darat. Adanya logam berat yang terkandung dalam perairan disebabkan karena adanya pemanfaatan logam berat yang menyisakan limbah tanpa diproses terlebih dahulu sebelum proses pembuangan (Rahayu & Mangkoedihardjo,

2022). Salah satu limbah logam berat yang dapat ditemukan di perairan adalah ion logam Pb^{2+} .

Ion logam Pb^{2+} merupakan bahan toksik yang mudah terakumulasi dalam organ manusia. Dampak yang disebabkan oleh ion logam Pb^{2+} yaitu dapat merusak berbagai organ tubuh manusia, seperti rusaknya sistem saraf, ginjal, sistem pembentukan reproduksi, dan sistem jantung, apabila jumlah ion logam Pb^{2+} di dalam darah tinggi dapat menyebabkan terjadinya gangguan saluran pencernaan, hipertensi, kerusakan saraf pusat, dan perubahan tingkah laku (Ardillah, 2016).

Paparan tinggi dari ion logam Pb^{2+} pada manusia dapat menyebabkan gangguan sistem saraf tepi dan saraf pusat. Salah satu contoh dampak akibat paparan ion logam Pb^{2+} pada sistem saraf tepi ialah penurunan aktivitas motorik akibat hilangnya selubung mielin yang mengisolasi saraf. Paparan ion logam Pb^{2+} dapat merusak transduksi impuls saraf dan mengganggu regulasi kalsium pada kasus koordinasi otot, kelelahan dan kelemahan otot, serta aktivitas biologis lainnya. Pengaruh ion logam Pb^{2+} pada otak dapat merusak hipokampus, korteks serebral prefrontal, dan otak kecil sehingga menimbulkan berbagai gangguan saraf, seperti keterbelakangan mental, kerusakan

otak, penyakit sistem saraf, serta kelainan perilaku (Sanders *et al.*, 2009).

Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004, batas konsentrasi Pb di dalam perairan sebesar 0,008 mg/L (Parawita *et al.*, 2009). Menurut *World Health Organization* (WHO), batas maksimum kandungan Pb di air yang aman dikonsumsi adalah sebesar 0,1 mg/L (Putra *et al.*, 2020). Kadar maksimum Pb yang diperbolehkan dalam air bersih berdasarkan peraturan Menteri Kesehatan RI No. 416/MENKES/PER /IX/1990 adalah sebesar 0,05 ppm (Handriyani *et al.*, 2020).

Salah satu contoh kadar Pb yang telah melebihi konsentrasi yang diperbolehkan untuk logam Pb di dalam perairan yaitu berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Clara (2022) di mana pada penelitian tersebut dijelaskan bahwa kadar Pb di Sungai Tapak, Kota Semarang berkisar antara 2,18 – 2,77 mg/L. Solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi limbah logam berat yaitu dengan proses fisika dan kimia yang meliputi presipitasi (penambahan sejumlah zat kimia tertentu untuk mengubah senyawa yang mudah larut ke bentuk padatan yang tak larut), koagulasi (proses pencampuran kimiawi dengan air sehingga membentuk gumpalan yang menyatu), pemisahan dengan membran (suatu lapisan tipis yang dapat

memisahkan zat dengan ukuran yang berbeda serta membatasi transpor dari berbagai spesi berdasarkan sifat fisik dan kimianya), dan adsorpsi (Rosema *et al.*, 2021). Proses penurunan kadar limbah logam berat menggunakan metode presipitasi, koagulasi, dan pemisahan dengan membran cenderung lebih mahal dibanding metode adsorpsi, sehingga pada penelitian ini metode yang dipilih untuk penurunan limbah ion logam Pb^{2+} menggunakan metode adsorpsi.

Proses adsorpsi merupakan teknik yang lebih efektif digunakan untuk menjernihkan atau memurnikan air dengan biaya yang lebih terjangkau dan ekonomis dibanding dengan metode lainnya dalam pengolahan air dan limbah (Al-Asheh *et al.*, 2000). Proses adsorpsi juga banyak digunakan untuk teknik pemurnian air terhadap ion logam pada limbah cair (Dhanakumar *et al.*, 2018). Penggunaan adsorben sebagai bahan penjerap merupakan salah satu alternatif yang sedang dikembangkan, karena lebih selektif, kompetitif, efektif, dan hemat biaya. Potensi dari adsorben murah dapat ditemukan pada senyawa alam yang terkandung dalam limbah pertanian (sekam padi, bonggol jagung, ampas penggilingan tebu, sabut kelapa, dan sebagainya) atau buangan industri rumah tangga (Muamar *et al.*, 2020). Cangkang telur merupakan salah satu contoh

limbah buangan industri rumah tangga yang dapat digunakan sebagai adsorben atau bahan penjerap.

Cangkang telur merupakan bagian terluar telur yang melindungi komponen isi telur dari kerusakan fisik, kimia maupun mikrobiologis. Menurut Asip *et al.* (2008) cangkang telur merupakan limbah rumah tangga yang belum dimanfaatkan dengan baik, umumnya cangkang telur hanya dimanfaatkan sebagai kerajinan tangan. Perkiraan pori-pori yang dimiliki oleh cangkang telur yaitu sebanyak 10.000-20.000 pori-pori, sehingga cangkang telur diperkirakan dapat digunakan sebagai adsorben. Kandungan yang paling banyak terdapat pada cangkang telur adalah kalsium karbonat (Asip *et al.*, 2008).

Kalsium karbonat merupakan adsorben polar. Menurut Godelitsas *et al.* (2003) kalsium karbonat dapat berinteraksi kuat dengan beberapa ion logam divalen (M^{2+}). Proses penyerapan ion logam berat pada larutan dapat dilakukan melalui adsorpsi. Cangkang telur mengandung protein (asam amino), di mana asam amino ini berfungsi sebagai senyawa aktif dalam proses adsorpsi. Cangkang telur yang telah dikalsinasi pada suhu 600°C juga mengandung kalsium karbonat, di mana kalsium karbonat ini merupakan salah satu kandungan yang dapat mempengaruhi optimalnya proses adsorpsi (Azizanie *et al.*,

2023). Cangkang telur merupakan salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan untuk adsorben. Penggunaan cangkang telur sebagai adsorben merupakan salah satu cara untuk mendukung penerapan minimalisasi limbah karena efisiensi dan produktivitas limbah cangkang telur dapat ditingkatkan melalui prinsip pakai ulang (*reuse*) dan pungut ulang (*recovery*) (Prasidha, 2012). Kapasitas adsorpsi dapat ditingkatkan dengan cara melakukan proses aktivasi (Wardani *et al.*, 2020).

Proses aktivasi memiliki tujuan untuk memperbesar kapasitas adsorpsi dengan menghilangkan pengotor yang menempel pada permukaan dan pori-pori adsorben, baik secara fisika maupun kimia. Proses aktivasi umumnya menggunakan beberapa jenis aktivator baik asam maupun basa. Aktivasi asam yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan HCl sedangkan untuk basanya dengan NaOH. Menurut Nurbaeti *et al.* (2018) aktivasi menggunakan larutan asam akan menghasilkan adsorben dengan situs aktif yang lebih tinggi karena larutan asam akan bereaksi dengan komponen berupa tar, garam Ca dan Mg yang menutupi pori-pori adsorben. Menurut Patri & Oktasari (2019) penggunaan aktivator basa dapat berfungsi untuk melarutkan senyawa organik yang dapat menghambat proses adsorpsi dalam adsorben, contohnya

adalah lignin. Keberadaan lignin akan menurunkan proses adsorpsi. Hal ini disebabkan karena lignin akan menghalangi proses transfer ion logam ke sisi aktif adsorben. Mengacu terhadap penelitian yang telah dilakukan oleh Sulistyani & Huda (2017) bahwa aktivasi basa pada kulit kacang tanah untuk mengadsorpsi logam berat kadmium menunjukkan kapasitas penyerapan adsorpsi logam kadmium sebesar 19,865 mg/g.

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Sulistyani & Huda (2017) serta hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Ferriansyah (2021) dan Ngapa (2017) mengenai adsorben yang diaktivasi dengan asam HCl dan basa NaOH dalam mengurangi permasalahan penyerapan logam berat kromium (Cr) dengan hasil penelitian yaitu semakin banyak adsorben serbuk tulang ayam dan adsorben zeolit yang digunakan maka akan mempengaruhi efektivitas adsorpsi yang didapat dan zat warna biru metilena dengan hasil penelitian yaitu meningkatnya kemampuan adsorpsi zeolit yang semakin besar seiring dengan ditambahkan konsentrasi HCl dan NaOH. Penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini juga akan melakukan hal yang sama, namun berbeda dari variasi bahan adsorben yang akan digunakan serta ion logam yang akan diuji, yaitu dengan cangkang telur dan ion logam Pb^{2+} .

Limbah yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah cangkang telur ayam dengan aktivasi asam dan basa untuk membuat adsorben yang berguna untuk mengurangi kadar ion logam berat, yaitu ion logam Pb^{2+} . Hal yang akan diselidiki pada penelitian ini yaitu kemampuan dari limbah cangkang telur ayam dengan aktivasi asam dan basa dalam menyerap ion logam berat Pb^{2+} , di mana ion logam tersebut banyak digunakan dalam industri dan memiliki dampak pencemaran yang besar pada lingkungan.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik adsorben yang dihasilkan dari limbah cangkang telur ayam dengan aktivasi asam, basa, dan tanpa aktivasi?
2. Bagaimana kapasitas adsorpsi limbah cangkang telur ayam dengan aktivasi asam, basa, dan tanpa aktivasi pada ion logam berat Pb^{2+} ?
3. Bagaimana kinetika dan isoterm adsorpsi limbah cangkang telur ayam dengan aktivasi asam, basa, dan tanpa aktivasi pada ion logam berat Pb^{2+} ?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui karakteristik adsorben yang dihasilkan dari limbah cangkang telur ayam dengan aktivasi asam, basa, dan tanpa aktivasi

2. Untuk mengetahui kapasitas adsorpsi limbah cangkang telur ayam dengan aktivasi asam, basa, dan tanpa aktivasi pada ion logam berat Pb^{2+}
3. Untuk mengetahui kinetika dan isoterm adsorpsi limbah cangkang telur ayam dengan aktivasi asam, basa, dan tanpa aktivasi pada ion logam berat Pb^{2+}

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu dapat memberikan informasi bahwa limbah cangkang telur ayam dapat digunakan sebagai alternatif adsorben ion logam berat sehingga diharapkan dapat digunakan sebagai upaya dalam mengurangi pencemaran lingkungan, terkhusus pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh ion logam berat Pb^{2+} .

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Logam Berat

Logam berat adalah komponen alami tanah. Logam berat tidak dapat didegradasi maupun dihancurkan. Logam berat dapat dikatakan berbahaya karena memiliki rapatannya massa yang tinggi yaitu sebesar 5 g/cm^3 dan memiliki sejumlah konsentrasi kecil yang bersifat racun dan berbahaya. Logam berat dapat tersimpan dan terakumulasi pada tubuh suatu organisme untuk jangka waktu yang lama sebagai racun. Herlandien (2013) mengatakan bahwa berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

a. Logam berat esensial

Logam berat esensial ini keberadaannya sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun apabila terlalu berlebihan akan bersifat racun bagi organisme tersebut, contoh dari logam berat jenis ini yaitu Fe, Zn, Cu, Co, Mn, dan sebagainya.

b. Logam berat non esensial

Logam berat jenis ini bersifat racun dan keberadaannya di dalam tubuh belum diketahui manfaatnya, contoh dari logam berat jenis ini adalah Pb, Hg, Cd, Cr, dan sebagainya.

Logam berat dapat bersifat membahayakan bagi kehidupan apabila kadar dari logam berat tersebut telah melebihi ambang batas yang telah ditentukan. Logam berat pada dasarnya memiliki sifat beracun dan toksik, meskipun sebagian diantaranya dibutuhkan dalam jumlah yang kecil (Supriatno & Lelifajri, 2009)

1. Ion Logam Pb^{2+}



Gambar 2. 1 Ion logam Pb^{2+} (Supriyadi, 2016)

Ion logam Pb^{2+} yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 dalam kehidupan sehari-hari lebih dikenal sebagai timah hitam. Ion logam Pb^{2+} merupakan logam yang lunak dan tahan terhadap korosi dan karat yang menyebabkan ion logam Pb^{2+} sering digunakan untuk *coating* atau bahan pelapis. Ion logam Pb^{2+} dan persenyawaannya secara alami terdapat di lingkungan perairan dan mempengaruhi aktivitas manusia. Ion logam Pb^{2+} secara alami dapat masuk ke badan perairan melalui pengkristalan ion logam Pb^{2+} di udara dengan bantuan air hujan. Ion logam Pb^{2+} yang masuk

ke badan perairan melalui aktivitas manusia diantaranya adalah air buangan limbah dari industri yang berkaitan dengan ion logam Pb^{2+} , misalnya adalah limbah semen, pupuk, batubara, dan minyak.

Ion logam Pb^{2+} bersifat toksik bagi semua organisme hidup termasuk manusia. Ion logam Pb^{2+} dapat merusak jaringan saraf, fungsi ginjal, sistem reproduksi, sistem endokrin, jantung, dan gangguan pada otak sedangkan untuk paparan kronis yang terjadi akibat terpapar ion logam Pb^{2+} yaitu akan mengakibatkan kelelahan, gangguan iritabilitas, kehilangan libido, interfertilitas pada laki-laki, gangguan menstruasi, depresi, sakit kepala, sulit berkonsentrasi dan sulit tidur (Widowati *et al.*, 2008).

B. Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu proses penyerapan oleh padatan tertentu terhadap zat tertentu yang terjadi pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik menarik antar atom atau molekul pada permukaan zat padat tanpa meresap ke dalam zat padat tersebut (Atkins, 1997). Proses adsorpsi terjadi akibat adanya gaya tarik menarik antar atom atau molekul pada permukaan zat padat yang tidak seimbang. Ketidakseimbangan permukaan zat padat tersebut menyebabkan padatan akan cenderung menarik

molekul-molekul lain yang bersentuhan dengan permukaan padatan, baik fasa gas atau fasa larutan ke dalam permukaannya, sehingga konsentrasi molekul pada permukaan menjadi lebih besar dibanding fasa gas atau zat terlarut dalam larutan. Menurut Osipow (1962) yang bertanggung jawab terhadap adsorpsi adalah gaya tarik Van der Waals, pertukaran ion, pembentukan ikatan kovalen, serta pembentukan ikatan hidrogen.

Adsorpsi dapat terjadi antara fasa padat-cair, padat-gas atau gas-cair. Molekul yang terikat pada bagian antarmuka disebut adsorbat, sedangkan permukaan yang menyerap molekul-molekul adsorbat disebut adsorben. Selama proses adsorpsi, interaksi antara adsorben dengan adsorbat hanya terjadi pada permukaan adsorben. Adsorpsi merupakan gejala pada permukaan, sehingga semakin besar luas permukaan maka akan semakin banyak zat yang akan teradsorpsi, namun adsorpsi selalu bergantung pada sifat zat pengadsorpsi (Komari *et al.*, 2007).

Adsorpsi dibedakan menjadi dua macam berdasarkan besarnya interaksi antara adsorben dan adsorbat, yaitu:

1. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika terjadi ketika molekul teradsorpsi pada permukaan adsorben melalui ikatan

yang lemah. Adsorpsi fisika terjadi apabila gaya intermolekul lebih besar daripada gaya tarik menarik antar molekul atau gaya tarik menarik antara adsorbat dengan permukaan adsorben yang relatif lemah. Gaya tarik menarik ini disebut dengan gaya Van der Waals sehingga adsorbat dapat bergerak dari satu permukaan ke permukaan lainnya. Adsorpsi ini terjadi dengan cepat, dapat membentuk banyak lapisan (*multilayer*) dan bersifat *reversible* sehingga molekul yang teradsorpsi dapat dilepaskan kembali dengan mengurangi tekanan gas atau konsentrasi zat terlarut. Adsorpsi fisika biasanya terjadi pada suhu rendah dan jumlah zat yang teradsorpsi berkurang seiring dengan meningkatnya suhu. Banyaknya zat yang teradsorpsi dapat berupa beberapa lapisan molekul tunggal. Kondisi kesetimbangan pada adsorpsi fisika akan tercapai setelah adsorben bersentuhan dengan adsorbat, karena adsorpsi fisika tidak melibatkan energi aktivasi.

2. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia terjadi ketika molekul-molekul yang teradsorpsi pada permukaan adsorben bereaksi secara kimia, di mana molekul adsorbat dengan adsorben akan membentuk ikatan kovalen dengan ion

yang akan menyebabkan terjadinya pemustusan dan pembentukan ikatan (Reza, 2002). Panas adsorpsi kimia memiliki energi yang sebanding dengan reaksi kimia, yaitu berkisar 100 kJ/mol. Ikatan antara adsorben dengan adsorbat cukup kuat sehingga spesies aslinya tidak dapat diperoleh kembali. Adsorpsi ini bersifat *irreversible*, hanya dapat membentuk satu lapisan (*monolayer*) dan memerlukan energi yang besar untuk melepaskan kembali adsorbat. Secara umum, dalam adsorpsi kimia kapasitas adsorpsi meningkat seiring dengan meningkatnya suhu. Zat yang teradsorpsi membentuk satu lapisan monomolekuler dan relatif lambat mencapai kesetimbangan karena adsorpsi kimia melibatkan energi aktivasi (Akmal, 2017).

Menurut Akmal (2017) proses adsorpsi melalui pertukaran ion dan pembentukan kompleks hanya terjadi pada lapisan permukaan sel yang mempunyai situs-situs yang bermuatan berlawanan dengan muatan ion logam sehingga interaksinya merupakan interaksi pasif dan relatif cepat. Molekul adsorben dianggap secara kimia memiliki situs aktif atau gugus fungsi yang mampu berinteraksi dengan logam permukaan sel seperti fosfat, karboksil, amina dan

amida. Proses adsorpsi apabila dilakukan dengan pertukaran ion, maka proses adsorpsi dipengaruhi oleh banyaknya proton dalam larutan yang kompatibel dengan ion logam pada permukaan adsorben, sehingga pada pH rendah jumlah proton melimpah yang menyebabkan peluang terjadinya pengikatan logam oleh adsorben akan relatif kecil, hal ini pun berlaku untuk sebaliknya apabila pH tinggi maka peluang terjadinya pengikatan logam akan lebih besar.

Banyaknya adsorbat yang dapat terserap pada permukaan adsorben dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Jenis adsorbat

Jenis-jenis adsorbat dapat ditinjau berdasarkan:

- a. Ukuran molekul adsorbat, molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul yang memiliki diameter yang mirip atau lebih kecil dibanding diameter pori adsorben.
- b. Polaritas molekul adsorbat, ketika diameter sama, maka molekul yang bersifat polar akan lebih mudah diadsorpsi dibanding molekul yang bersifat kurang polar.

2. Sifat adsorben

Sifat-sifat adsorben dapat ditinjau dari:

- a. Kemurnian adsorben, kemurnian adsorben dapat berpengaruh terhadap daya serapnya. Semakin murni adsorben maka daya serapnya akan lebih baik. Kualitas adsorben yang baik dapat dijelaskan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995, di mana pada keadaan serbuk kadar air pada adsorben maksimal sebesar 15%, kadar abu maksimal sebesar 10%, kadar zat mudah menguap maksimal sebesar 25%, dan kadar karbon terikat minimal sebesar 65% (Laos *et al.*, 2016).
- b. Luas permukaan, apabila luas permukaan adsorben semakin luas maka adsorbat yang terserap juga akan semakin banyak.
- c. Temperatur, semakin berkurangnya temperatur adsorbat maka akan semakin banyak jumlah adsorbat, hal ini dikarenakan proses adsorpsi adalah proses eksotermis sehingga jumlah adsorbat akan bertambah seiring menurunnya temperatur. Adsorpsi fisika biasanya terjadi pada temperatur di

bawah titik didih adsorbat, terutama pada temperatur di bawah 50°C sedangkan untuk adsorpsi kimia jumlah yang diadsorpsi akan berkurang seiring naiknya temperatur adsorbat.

- d. Tekanan, pada adsorpsi fisika, kenaikan jumlah zat yang akan diadsorpsi akan naik seiring dengan naiknya tekanan adsorbat.

C. Cangkang Telur



Gambar 2. 2 Cangkang Telur (Salpiyana, 2019)

Cangkang telur ayam yang dapat dilihat pada Gambar 2.2 merupakan limbah rumah tangga yang berpotensi untuk dimanfaatkan. Potensi limbah cangkang telur ayam di Indonesia cukup besar. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), pada tahun 2021 produksi telur ayam petelur nasional sebesar 5155998,00 ton sedangkan untuk produksi telur ayam buras sebesar 381612,83 ton.

Komposisi cangkang telur secara umum terdiri atas: air (1,6%) dan bahan kering (98,4%). Total dari bahan kering

yang ada, dalam cangkang telur terkandung unsur mineral (95,1%) dan protein (3,3%), berdasarkan komposisi mineral yang ada, maka cangkang telur tersusun atas CaCO_3 (98,34%); MgCO_3 (0,84%) dan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (0,75%) (Nursyahran & Fathuddin, 2019).

Mashfufah (2014) menyatakan bahwa komponen utama dari cangkang telur adalah kalsit, yaitu bentuk kristalin dari kalsium karbonat (CaCO_3). Berat rata-rata sebuah cangkang telur adalah sekitar 5 g dan 40% adalah kalsium. Kalsium disediakan oleh massa tulang di dalam tulang ayam yang mengumpulkan cadangan kalsium dalam jumlah besar untuk membentuk cangkang.

Bahan baku limbah cangkang telur dapat diperoleh dari pabrik industri roti, dan pedagang nasi goreng atau yang lainnya. Cangkang telur dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik dengan cara dipanaskan di dalam tungku atau dibakar seperti membuat kayu arang atau dijemur di bawah sinar matahari untuk memudahkan proses selanjutnya. Setelah itu, dihaluskan hingga menjadi tepung menggunakan alat sederhana seperti blender. Tepung cangkang telur sering dicampurkan ke dalam kompos yang sudah jadi. Tidak ada dosis standar dalam penambahan unsur hara dari kulit telur (Mulyono, 2016).

D. Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan fungsi konsentrasi zat terlarut yang terserap pada padatan terhadap konsentrasi larutan. Persamaan yang dapat digunakan untuk menjelaskan data eksperimen isoterm dijelaskan pada persamaan Freundlich dan Langmuir. Menurut Astari & Utami (2018) tipe isoterm adsorpsi yang dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi fase cair-padat pada umumnya menganut tipe isoterm Freundlich dan Langmuir. Adsorben yang baik memiliki kapasitas adsorpsi dan presentase penyerapan yang tinggi. Efisiensi adsorpsi (%) dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.1:

$$\text{Efisiensi adsorpsi (\%)} = \frac{(C_o - C_t)}{C_o} \times 100\% \dots\dots\dots (2. 1)$$

Keterangan:

C_o = konsentrasi awal larutan uji (ppm)

C_t = konsentrasi akhir larutan uji (ppm)

Kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.2:

$$\text{Kapasitas adsorpsi (Q)} = \frac{(C_o - C_t)}{W} \times V \dots\dots\dots (2. 2)$$

Keterangan:

Q = Kapasitas adsorpsi per bobot molekul (mg/g)

C_o = Konsentrasi awal larutan uji (ppm)

C_t = Konsentrasi akhir larutan uji (ppm)

W = Massa adsorben (g)

V = Volume larutan (L)

Isoterm adsorpsi yang umum digunakan yaitu isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich.

1. Isoterm Langmuir

Persamaan isoterm Langmuir menggunakan pendekatan kinetika, yaitu proses kesetimbangan terjadi pada saat kecepatan adsorpsi sama dengan desorpsi. Model isoterm adsorpsi Langmuir dikembangkan untuk adsorpsi gas pada adsorben padat. Isoterm Langmuir terjadi pada permukaan *monolayer*, di mana permukaan tersebut identik dan setara dengan energi aktivasi penyerapan yang sama dari setiap molekul menghasilkan adsorpsi homogen dan tidak ada transmigrasi atau interaksi antar spesies yang teradsorpsi pada bidang permukaan (Ghosal & Gupta, 2017).

Persamaan isoterm Langmuir dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.3:

$$Q = \frac{b \cdot K \cdot C_e}{1 + K \cdot C_e} \dots\dots\dots (2.3)$$

Persamaan 2.3 dapat diturunkan secara linear, dapat dilihat pada Persamaan 2.4:

$$\frac{C_e}{Q} = \frac{1}{Kb} + \frac{1}{b} C_e \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

C_e = Konsentrasi kesetimbangan adsorbat dalam larutan setelah adsorpsi (mg/L)

Q = jumlah adsorbat teradsorpsi per bobot adsorben (mg/g)

K = konstanta kesetimbangan adsorpsi (L/mg)

b = kapasitas adsorpsi maksimum dari adsorben (mg/g)
(Wijayanti & Kurniawati, 2019).

2. Isoterm Freundlich

Persamaan isoterm Freundlich adalah persamaan empiris dengan menggunakan pendekatan penjerapan secara fisis. Proses penjerapan pada adsorben terjadi dengan tingkat energi yang berbeda. Isoterm Freundlich merupakan model isoterm yang dapat diterapkan pada adsorpsi *multilayer*

Persamaan isoterm Freundlich dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.5:

$$Q = k.C_e^{1/2} \dots\dots\dots (2.5)$$

Persamaan 2.5 dapat diubah ke dalam bentuk linear yaitu dengan cara mengubah bentuk logaritmanya, dapat dilihat pada Persamaan 2.6:

$$\text{Log } Q = \text{Log } k + 1/n \text{ Log } C_e \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

C_e = konsentrasi kesetimbangan adsorbat dalam larutan setelah adsorpsi (mg/L)

k = konstanta adsorpsi Freundlich

n = konstanta empiris

Q = jumlah adsorbat teradsorpsi per bobot adsorben (mg/g) (Wijayanti & Kurniawati, 2019).

E. Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi menunjukkan adanya proses penyerapan suatu zat oleh adsorben sebagai fungsi waktu. Adsorpsi terjadi pada permukaan zat padat akibat adanya gaya tarik menarik atom atau molekul pada permukaan zat padat tersebut. Molekul pada permukaan zat padat-cair, memiliki tarikan ke dalam karena tidak ada gaya penyeimbang lainnya. Karakteristik kapasitas penyerapan adsorben terhadap adsorbat dapat diamati dari laju adsorpsinya. Laju adsorpsi dapat diketahui dari konstanta laju adsorpsi (k) dan orde reaksi yang diperoleh dari model kinetika adsorpsi (Anggriani *et al.*, 2021). Model kinetika adsorpsi yang umum digunakan adalah *pseudo* orde pertama dan *pseudo* orde kedua.

1. Kinetika Adsorpsi *Pseudo* Orde Pertama

Hukum laju *pseudo* orde pertama terhadap masing-masing reaktan q_e dan q_t ditunjukkan pada Persamaan 2.7:

$$\frac{dq_t}{dt} = K_1(q_e - q_t) \dots\dots\dots (2.7)$$

Di mana:

q_e = Jumlah ion logam divalen yang teradsorpsi pada waktu kesetimbangan (mg/g)

q_t = Jumlah ion logam divalent yang teradsorpsi pada waktu t

K_1 = Konstanta kecepatan adsorpsi (min^{-1})

Integrasi persamaan di atas dengan kondisi batas $t=0$ sampai $t=t$ dan $q_t=q_t$ akan memunculkan Persamaan 2.8:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - K_1 t \dots\dots\dots (2.8)$$

Konstanta K_1 akan diperoleh dengan menggunakan persamaan linear dari $\ln(q_e - q_t)$ terhadap t (Putri, 2021).

2. Kinetika Adsorpsi *Pseudo* Orde Kedua

Persamaan kinetika adsorpsi *pseudo* orde kedua secara umum ditunjukkan pada Persamaan 2.9:

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2(q_e - q_t)^2 \dots\dots\dots (2.9)$$

Di mana:

K_2 = Konstanta laju model *pseudo* orde dua (min^{-1})

Bentuk persamaan linear setelah integrasi dengan kondisi batas $q_t=0$ pada $t=0$ dan $q_t=q_t$ pada $t=t$ ditunjukkan pada Persamaan 2.10:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \dots\dots\dots (2. 10)$$

Di mana:

q_t = Jumlah ion teradsorpsi pada waktu (mg/g)

q_e = Jumlah ion teradsorpsi pada kesetimbangan (mg/g)

K_2 = Konstanta laju *pseudo* orde kedua ($g\ mg^{-1}\ min^{-1}$) untuk proses adsorpsi yang dapat ditentukan dengan membuat plot antara $\frac{t}{q_t}$ dan t (Putri, 2021).

F. Spektroskopi Inframerah (FTIR)



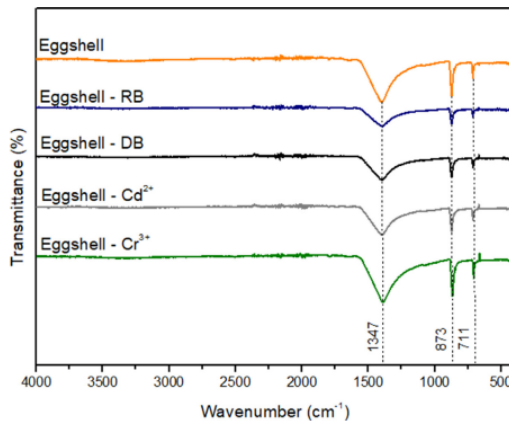
Gambar 2. 3 Instrumen FTIR (Pambudi *et al.*, 2017)

Spektroskopi FTIR yang dapat dilihat pada Gambar 2.3 merupakan instrumen yang dilakukan untuk

mengidentifikasi struktur dari suatu zat kimia. Prinsip dasar dari spektroskopi inframerah yaitu ikatan kimia akan terekstasi dan menyerap cahaya inframerah pada frekuensi yang berbeda berdasarkan ikatan kimia (Singh *et al.*, 2017). Spektroskopi FTIR dapat membedakan spektrum dua sampel berbeda berdasarkan karakteristik struktur intramolekulernya, di mana kemampuan suatu senyawa dalam menyerap cahaya akan berbeda berdasarkan sifat fisiokimia, ikatan antar atom suatu senyawa, dan karakteristik gugus fungsi (Siregar *et al.*, 2015).

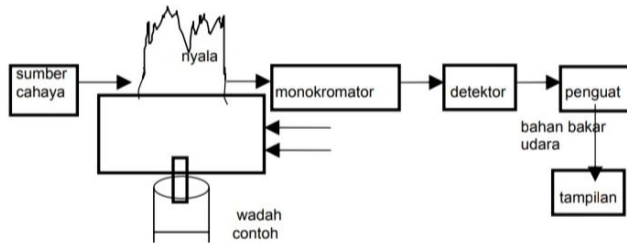
Pembacaan spektrum vibrasi molekul pada spektroskopi FTIR terdapat dua macam, yaitu metode reflektansi dan metode transmisi. Metode transmisi memerlukan cara khusus saat preparasi sampel berupa bentuk *pellet disk* (Sulistiyani & Huda, 2017). Prinsip kerja dari spektroskopi FTIR yaitu zat yang akan diukur dan ditentukan harus dalam bentuk atom atau molekul. Sinar infra merah yang berfungsi sebagai sumber cahaya dibagi menjadi dua berkas, satu berkas melewati sampel dan berkas lain melewati pembanding, kemudian akan melewati *chopper* satu per satu. Berkas sinar akan jatuh pada detektor setelah melewati prisma atau kisi dan akan diubah menjadi sinyal listrik yang akan direkam oleh perekam. Terdapat *amplifier* jika sinyal yang dihasilkan

sangat lemah (Pambudi *et al.*, 2017). Spektra FTIR adsorben cangkang telur ayam berdasarkan penelitian Zonato *et al.* (2022) dapat dilihat pada Gambar 2.4. Spektra FTIR yang muncul untuk adsorben cangkang telur ayam berdasarkan Gambar 2.4 berada pada bilangan gelombang 711 cm^{-1} , 873 cm^{-1} , dan 1347 cm^{-1} yang menunjukkan bahwa puncak-puncak tersebut merupakan gugus CaCO_3 .



Gambar 2. 4 Spektra FTIR adsorben cangkang telur sebelum dan sesudah adsorpsi

G. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)



Gambar 2. 5 Skema Umum Komponen SSA (Haswell, 1991)

Analisis penyerapan logam berat, seperti ion logam Pb^{2+} dapat dilakukan dengan metode spektrofotometri serapan atom (SSA). Skema umum komponen SSA dapat dilihat pada Gambar 2.5. Metode SSA merupakan alat yang digunakan untuk mengukur serapan konsentrasi dengan prinsip kerja mengabsorpsi cahaya dengan suatu bahan dengan panjang gelombang tertentu. Cahaya yang biasanya diserap pada metode ini ialah sinar ultraviolet. Analisis senyawa menggunakan SSA, artinya unsur yang dianalisis haruslah atom netral, dalam keadaan uap, dan disinari oleh seberkas cahaya dari sumber cahaya (Mardin, 2012).

Metode SSA didasarkan pada penyerapan cahaya oleh atom. Atom tersebut akan menyerap cahaya bergantung pada panjang gelombang tertentu, dan bergantung kepada sifat unsurnya. Suhu pada proses atomisasi harus diperhatikan agar proses atomisasinya sempurna,

umumnya suhu akan dinaikan secara perlahan untuk menguapkan serta mendisosiasikan senyawa yang dianalisis. Prinsip dasar dari metode SSA ini yaitu berdasarkan hukum Lambert Beer, di mana hukum Lambert Beer menyatakan bahwa cahaya monokromatik melewati suatu media atau larutan, maka sebagian cahaya akan diserap, sebagian dipantulkan, dan sebagiannya lagi dipancarkan (Rajab, 2021). Adapun rumus dari hukum Lambert Beer ditunjukkan pada Persamaan 2.11:

$$A = e \cdot b \cdot c \text{ atau } A = a \cdot b \cdot c \dots\dots\dots (2. 11)$$

Keterangan:

- A = Absorbansi
- e = absorptivitas molar
- b = tebal kuvet
- c = konsentrasi larutan
- a = tetapan absorptivitas

Rajab (2021) menyebutkan bahwa terdapat lima komponen utama dari spektrofotometri serapan atom, yaitu:

1. Sumber cahaya
2. Pengabut atau Pembakar
3. Monokromator
4. Detektor
5. *Amplifier* dan Pembacaan (Ngapa, 2017)

Terdapat dua kemungkinan pada saat atomisasi, yaitu yang pertama partikel padat pada sampel segera terurai menjadi atom yang siap dianalisis atau kemungkinan yang kedua yaitu partikel padat sampel tersebut terlebih dahulu berubah menjadi uap kemudian terurai menjadi atom yang dapat dianalisis (Mardin, 2012).

H. *X-Ray Diffraction (XRD)*



Gambar 2. 6 Instrumen XRD (Muttaqin *et al.*, 2023)

X-Ray Diffraction (XRD) yang dapat dilihat pada Gambar 2.6 ialah alat untuk mengetahui indeks, sifat planar ataupun struktur kristal yang terdapat pada berbagai material dengan menggunakan hamburan sinar-X. Sinar-X dapat muncul ketika seberkas elektron bebas yang mempunyai energi kinetik yang tinggi menumbuk logam yang menjadi sumber cahaya dengan daya tembus yang tinggi sehingga

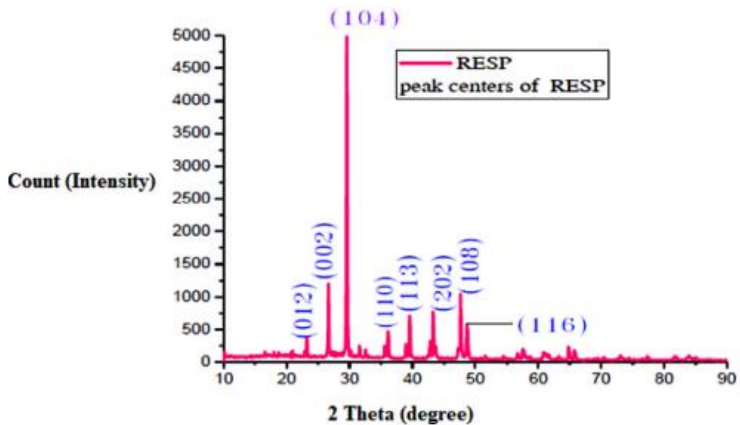
ketika elektron-elektron ini bertumbukan dengan anoda akan memancarkan sinar-X dan menciptakan puncak pada material yang ditembakkan (Rahman, 2016).

Komponen utama yang terdapat pada XRD, yaitu:

1. Sumber sinar-X, berfungsi sebagai tempat penampung sinar-X yang akan dipancarkan atau dihamburkan ke sampel.
2. Tempat sampel atau *chamber*, berfungsi sebagai tempat yang berisi sampel yang akan diuji.
3. Material uji, material uji harus berbentuk halus (serbuk)
4. Detektor, berguna untuk mendeteksi sudut sinar-X yang telah direfleksikan pada bahan uji (Lestari & Sartika, 2018).

Prinsip kerja XRD adalah hamburan dan interferensi. Saat sinar-X mengenai material uji, maka sebagian akan diabsorpsi dan ditransmisikan, sementara sebagian lagi akan dihamburkan. Bagian yang dihamburkan tersebutlah yang akan dideteksi oleh instrumentasi XRD. Hasil dari hamburan sinar-X tersebut akan mengalami interferensi yang mana interferensi tersebut ada yang saling menguatkan dan melemahkan. Interferensi yang saling menguatkan terjadi apabila sefase atau memiliki fase yang sama pada gelombangnya, sedangkan untuk interferensi

yang melemahkan terjadi apabila fasenya berbeda (Rani, 2022). Difraktogram adsorben cangkang telur ayam berdasarkan penelitian Jalu *et al.* (2021) dapat dilihat pada Gambar 2.7. Hasil analisis XRD berdasarkan Gambar 2.7 menunjukkan bahwa terdapat fase CaCO_3 yang muncul pada sudut $23,2^\circ$, $26,76^\circ$, $29,55^\circ$, $36,06^\circ$, $39,62^\circ$, $43,17^\circ$, $47,66^\circ$, dan $48,59^\circ$.



Gambar 2. 7 Difraktogram adsorben cangkang telur ayam

I. *Scanning Electron Microscope (SEM)*



Gambar 2. 8 Instrumen SEM (Ramaiah *et al.*, 2017)

Scanning Electron Microscope (SEM) yang dapat dilihat pada Gambar 2.8 ialah salah satu mikroskop elektron yang dapat memindai menggunakan sinar elektron dengan energi yang tinggi pada *scan* pola raster. Hasil yang dikeluarkan oleh instrumentasi SEM berbentuk gambar spesimen sampel yang diuji. Sinyal yang mengandung informasi karakteristik, komposisi, dan topografi permukaan spesimen pada SEM dapat dihasilkan ketika elektron dalam SEM berinteraksi dengan atom-atom (Wijayanto & Bayuseno, 2014). Komponen utama yang terdapat pada SEM adalah:

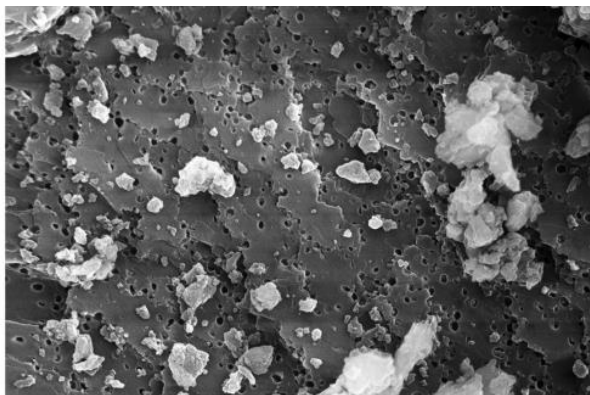
1. Tiga pasang lensa elektromagnetik, berguna untuk memfokuskan berkas elektron ke suatu titik kecil yang

kemudian akan dipindai oleh 2 pasang kumparan pemindai dengan frekuensi variabel pada permukaan sampel.

2. Sumber elektron yang berupa filamen, berfungsi untuk menyediakan berkas elektron teoritis yang memiliki energi tunggal (monokromatik).
3. *Imaging detector*, yang mengubah sinyal elektron menjadi gambar yang sesuai dengan jenis elektron. Detektor pada SEM dibagi menjadi dua jenis, yaitu detektor *secondary electrons* (SE) dan detektor *backscattered electrons* (BSE).
4. Sistem vakum, berfungsi untuk menghilangkan molekul udara agar elektron dapat berjalan menuju sasaran (Sujatno *et al.*, 2015).

Prinsip kerja pada SEM yaitu sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda, lalu elektron akan fokus menuju sampel dibantu oleh lensa magnetik, kemudian sinar elektron yang terfokus akan memindai keseluruhan sampel dengan bantuan koil pemindai, lalu saat elektron menyentuh sampel maka sampel akan menciptakan elektron baru yang akan dibaca oleh detektor dan ditransfer ke monitor (CRT) (Wijayanto & Bayuseno, 2014). Hasil SEM adsorben cangkang telur ayam berdasarkan penelitian Zonato *et al.* (2022) dapat

dilihat pada Gambar 2.9. Total ukuran volume pori berdasarkan Gambar 2.9 yaitu sebesar 0,001 cm³/g.



Gambar 2. 9 Hasil SEM adsorben cangkang telur ayam

J. Kajian Riset yang Relevan

Ngapa (2017) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh konsentrasi HCl dan NaOH terhadap kemampuan aktivasi zeolit alam Ende dalam mengadsorpsi zat warna biru metilena. Hasil yang diperoleh yaitu meningkatnya kemampuan adsorpsi zeolit yang semakin besar seiring dengan ditambahkan konsentrasi HCl dan NaOH yaitu sebesar 18,385 mg/g untuk HCl dan 19,988 mg/g untuk NaOH pada konsentrasi 3,0 M. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan yaitu pengaruh aktivasi asam dan basa pada cangkang telur ayam untuk mengadsorpsi ion logam Pb²⁺ dengan melakukan variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi adsorpsi ion logam Pb²⁺.

Satriani *et al* (2016) telah melakukan penelitian mengenai penentuan waktu optimum, berat optimum dan kapasitas adsorpsi cangkang telur ayam ras pada kondisi optimum. Hasil optimum yang diperoleh dari penelitian ini yaitu waktu optimum adalah 30 menit, berat optimum sebesar 1 g dan kapasitas penyerapan adsorben sebesar 0,078 Pb/mg. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan yaitu cangkang telur ayam yang digunakan akan diaktivasi dengan aktivator asam dan basa.

Maulinda *et al* (2015) telah melakukan penelitian mengenai penentuan kondisi terbaik untuk suhu dan waktu pembakaran pada proses karbonisasi pembuatan karbon aktif dari kulit singkong. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu pada karbon aktif yang dikarbonisasi pada temperatur 600°C selama 2 jam memiliki hasil terbaik yang mampu menyerap kotoran maupun kandungan logam yang ada di dalam sampel. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan terletak pada bahan yang akan digunakan yaitu cangkang telur ayam teraktivasi asam dan basa untuk mengadsorpsi ion logam Pb^{2+} dengan melakukan variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi adsorpsi ion logam Pb^{2+} .

Ferriansyah (2021) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh jenis larutan aktivator yaitu HCl dan

NaOH terhadap adsorpsi logam kromium dengan variasi lama waktu aktivasi dan massa adsorben. Hasil yang diperoleh yaitu semakin lama waktu dan semakin banyak massa adsorben akan mempengaruhi efektivitas adsorpsi yang didapat. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan terletak pada bahan yang akan digunakan yaitu cangkang telur ayam teraktivasi asam dan basa untuk mengadsorpsi ion logam Pb^{2+} dengan melakukan variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi adsorpsi ion logam Pb^{2+} .

Mengacu pada apa yang telah dikemukakan, adsorben dapat dibuat dari limbah seperti cangkang telur ayam. Penambahan perlakuan aktivasi dengan aktivator HCl dan NaOH dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi dalam mengurangi ion logam di dalam air. Pembuatan adsorben dari cangkang telur ayam teraktivasi HCl dan NaOH pada penelitian ini dibuat untuk mengadsorpsi ion logam Pb^{2+} dengan melakukan variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi adsorpsi ion logam Pb^{2+} untuk mengetahui kapasitas adsorpsinya lalu ditentukan kinetika serta isotherm adsorpsinya.

K. Hipotesis

Adsorben dari cangkang telur ayam diharapkan memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik apabila diaktivasi dengan HCl dan NaOH. Perlakuan aktivasi pada

adsorben diharapkan dapat menghilangkan pengotor yang menempel pada adsorben. Kondisi adsorpsi optimum diharapkan dapat diperoleh berdasarkan parameter pH, waktu kontak, dan konsentrasi adsorpsi ion logam Pb^{2+} .

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah batang pengaduk, pH universal, pipet tetes, pipet volume, gelas beker, labu ukur, erlenmeyer, corong gelas, kertas saring, blender, *sieve shaker*, timbangan analitik, *magnetic stirrer*, *furnace* merk *Thermo Scientific Thermolyne*, desikator, oven merk *Memmert*, *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) merk *Thermo Scientific iCE 3000 Series*, Spektroskopi Inframerah (FTIR) merk *Perkin-Elmer UATR Spectrum Two*, *Scanning Electron Microscope* (SEM) merk *Thermo Scientific Phenom Pro-X*, dan *X-Ray Diffraction* (XRD) merk *Bruker D8 Advance*.

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah Cangkang telur ayam yang diambil dari daerah Semarang, larutan HCl 3 M (p. a. Merck) kadar 37%, larutan NaOH 1 M dan 3 M (p. a. Merck), padatan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (p. a. Merck), dan akuades.

B. Prosedur Kerja

1. Preparasi Cangkang Telur

Preparasi cangkang telur dilakukan dengan cara mencuci bersih cangkang telur dengan air yang mengalir, setelah itu direndam dengan air panas selama 15 menit kemudian ditiriskan dan dijemur hingga kering dan dihaluskan dengan blender. Cangkang telur kemudian diayak dengan *sieve shaker* berukuran 100 mesh (Hajar *et al.*, 2016), kemudian cangkang telur didehidrasi dalam oven untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dengan suhu 110°C selama 2 jam (Muhammad & Dewi, 2020).

2. Pembuatan Larutan Baku $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 1000 ppm

Sebanyak 1,599 g padatan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ditimbang kemudian ditempatkan ke dalam gelas beker setelah itu padatan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ tersebut dilarutkan dengan akuades sampai tanda batas pada labu ukur 1000 mL, kemudian larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang telah dibuat diencerkan menjadi 100 ppm dengan cara memipet 100 mL larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ kemudian diencerkan dengan akuades sampai tanda batas pada labu ukur 1000 mL (Satriani *et al.*, 2016).

3. Pembuatan Deret Larutan Standar Pb

Pembuatan deret larutan standar dilakukan dengan konsentrasi 4; 8; 12; 16 dan 20 ppm dengan cara mengambil 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 dan 2 mL dari larutan Pb 100

ppm yang telah dibuat kemudian diencerkan dalam labu ukur 10 mL dengan akuades hingga tanda batas, lalu dihomogenkan (Sjamsiah *et al.*, 2017). Data absorbansi yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi.

4. Perlakuan Cangkang Telur

a. Tanpa Aktivasi

Sebanyak 33 g cangkang telur yang telah diayak dengan *sieve shaker* 100 mesh dan dioven, kemudian difurnace dengan suhu 650°C selama 3 jam, setelah itu didiamkan pada suhu ruang dan disimpan dalam desikator (Harahap, 2018). Sampel adsorben cangkang telur tanpa aktivasi diberi kode (ACTTA).

b. Aktivasi Menggunakan HCl

Sebanyak 33 g cangkang telur yang telah diayak dengan *sieve shaker* 100 mesh dan dioven, kemudian difurnace dengan suhu 650°C selama 3 jam, setelah itu dimasukkan ke dalam 100 mL larutan HCl pada konsentrasi 3 M hingga cangkang telur terendam selama 24 jam. Campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 3 jam, kemudian disaring dan dibilas dengan akuades sampai pH netral. Adsorben yang dihasilkan lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 3 jam, setelah itu didiamkan pada suhu ruang dan disimpan dalam desikator (Nurhasni *et al.*,

2012). Sampel adsorben cangkang telur ayam aktivasi menggunakan HCl diberi kode (ACTAKA)

c. Aktivasi Menggunakan NaOH

Sebanyak 33 g cangkang telur yang telah diayak dengan *sieve shaker* 100 mesh dan dioven, kemudian difurnace dengan suhu 650°C selama 3 jam, setelah itu dimasukkan ke dalam 100 mL larutan NaOH pada konsentrasi 3 M hingga cangkang telur terendam selama 24 jam. Campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 3 jam, kemudian disaring dan dibilas dengan akuades sampai pH netral. Adsorben yang dihasilkan lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 3 jam, setelah itu didiamkan pada suhu ruang dan disimpan dalam desikator (Nurhasni *et al.*, 2012). Sampel adsorben cangkang telur ayam aktivasi menggunakan NaOH diberi kode (ACTAKB).

5. Karakterisasi Adsorben Cangkang Telur (Manurung et al., 2019)

a. Uji kadar Air

Uji kadar air dilakukan dengan cara menimbang masing-masing 1 g ACTTA, ACTAKA dan ACTAKB lalu ditempatkan dalam cawan yang telah diketahui massanya lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C hingga diperoleh massa konstan, kemudian

didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Kadar air dihitung dengan Persamaan 3.1:

$$\text{Kadar air} = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100\% \dots\dots\dots (3.1)$$

Di mana W_1 = Cawan kosong (g)

W_2 = Cawan + sampel sebelum dipanaskan
(g)

W_3 = Cawan + sampel sesudah dipanaskan
(g)

b. Uji Kadar Abu Total

Uji kadar abu total dilakukan dengan cara menimbang masing-masing 1 g ACTTA, ACTAKA dan ACTAKB yang telah diuji kadar air, lalu dimasukkan ke dalam *furnace* dan diabukan pada suhu 650°C selama 4 jam, lalu didinginkan dalam desikator. Abu yang terbentuk ditimbang. Kadar abu total dihitung dengan Persamaan 3.2:

$$\text{Kadar abu total} = \frac{W_2 - W_1}{W_3} \times 100\% \dots\dots\dots (3.2)$$

Di mana W_1 = Cawan + sampel sebelum dipanaskan
(g)

W_2 = Cawan + sampel sesudah dipanaskan
(g)

W_3 = berat sampel adsorben (g)

c. Kadar Zat Mudah Menguap

Ditimbang masing-masing 1 g ACTTA, ACTAKA dan ACTAKB yang telah diuji kadar air dan kadar abunya, lalu dipanaskan dalam *furnace* 900°C selama 15 menit, selanjutnya didinginkan dalam desikator lalu ditimbang. Kadar zat mudah menguap dihitung dengan Persamaan 3.3:

$$\text{Kadar zat mudah menguap} = \frac{(b-c)}{b} \times 100\% \dots\dots (3.3)$$

Di mana b = massa bahan awal (g)

c = massa setelah pemanasan (g)

d. Kadar Karbon Terikat

Uji kadar karbon terikat dalam karbon aktif cangkang telur dilakukan dengan cara menghitung selisih dari hasil proses pengurangan kadar air, kadar abu total dan kadar zat mudah menguap. Kadar karbon terikat dapat ditentukan dengan Persamaan 3.4:

$$\text{Kadar karbon terikat} = 100\% - (\text{kadar air} + \text{kadar abu total} + \text{kadar zat mudah menguap}) \dots\dots\dots (3.4)$$

e. Uji Spektroskopi Inframerah (FTIR)

Adsorben cangkang telur ACTTA, ACTAKA dan ACTAKB yang telah diuji kualitasnya, kemudian dianalisis menggunakan Spektroskopi Inframerah

(FTIR) (Astari & Utami, 2018). Tujuan dilakukannya uji FTIR ini yaitu untuk mengetahui berbagai macam gugus fungsi yang terdapat dalam adsorben.

f. Uji *X-Ray Diffraction* (XRD)

Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan terhadap salah satu adsorben yang telah diuji kualitasnya yaitu ACTAKB untuk mengidentifikasi senyawa dan fasa kristalin pada sampel.

g. Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Adsorben cangkang telur ACTTA, ACTAKA dan ACTAKB yang telah diuji kualitasnya, kemudian dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Tujuan dilakukannya uji SEM ini yaitu untuk mengetahui morfologi permukaan adsorben.

6. Penentuan Kondisi Optimum (Aji & Kurniawan, 2012)

a. pH Optimum

Penentuan pH optimum dilakukan dengan cara menimbang ACTTA, ACTAKA dan ACTAKB sebanyak 0,1 gram, kemudian dicampurkan dengan 50 mL larutan $Pb(NO_3)_2$ dengan konsentrasi 100 ppm ke dalam gelas beker lalu diatur kondisinya dengan variasi pH 3, 4, 5, dan 6. Campuran pada gelas beker dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer*

selama 60 menit, lalu disaring dengan kertas saring dan dianalisis menggunakan AAS sesuai dengan panjang gelombang maksimum larutan uji yaitu sebesar 283,3 nm (Permata *et al.*, 2018). Nilai absorbansi yang diperoleh digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi (Q) menggunakan persamaan (2.2).

b. Waktu Adsorpsi Optimum

Penentuan waktu optimum dilakukan dengan cara menimbang ACTTA, ACTAKA dan ACTAKB sebanyak 0,1 gram, kemudian dicampurkan dengan 50 mL larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dengan konsentrasi 100 ppm ke dalam gelas beker dan menggunakan pH optimum, kemudian campuran pada gelas beker dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* dengan variasi waktu 30, 60, 90, 120, dan 150 menit, lalu disaring dengan kertas saring dan dianalisis menggunakan AAS sesuai dengan panjang gelombang maksimum larutan uji yaitu sebesar 283,3 nm (Permata *et al.*, 2018). Nilai absorbansi yang diperoleh digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi (Q), dan kinetika adsorpsi menggunakan persamaan (2.2), (2.8), dan (2.10).

c. Konsentrasi Adsorpsi Optimum Ion Logam Pb²⁺

Penentuan konsentrasi optimum ion logam Pb²⁺ dilakukan dengan cara menimbang ACTTA, ACTAKA dan ACTAKB sebanyak 0,01 gram, kemudian dicampurkan dengan larutan 50 mL Pb(NO₃)₂ yang diatur variasi konsentrasinya sebesar 16,929 ppm, 33,966 ppm, 76,405 ppm, 99,376 ppm, dan 128,884 ppm (Nafi'ah & Nugraheni, 2017). Campuran kemudian dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* dengan mengacu pada waktu optimum dan pH optimum, kemudian campuran disaring dengan kertas saring dan dianalisis menggunakan AAS sesuai dengan panjang gelombang maksimum larutan uji yaitu sebesar 283,3 nm (Permata *et al.*, 2018). Nilai absorbansi yang diperoleh digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi (Q), dan isoterm adsorpsi menggunakan persamaan (2.2), (2.4), dan (2.6).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Preparasi Cangkang Telur

Pembuatan adsorben dari cangkang telur menggunakan bahan baku cangkang telur ayam yang diambil dari daerah Semarang. Bahan yang dimanfaatkan untuk pembuatan adsorben ini adalah CaCO_3 yang terkandung dalam cangkang telur ayam. Langkah awal dalam pembuatan adsorben ini adalah dengan mencuci cangkang telur dengan air yang mengalir dan direndam selama 15 menit untuk memisahkan cangkang telur dengan membran yang menempel serta memisahkan cangkang telur dari kotoran-kotoran yang menempel.

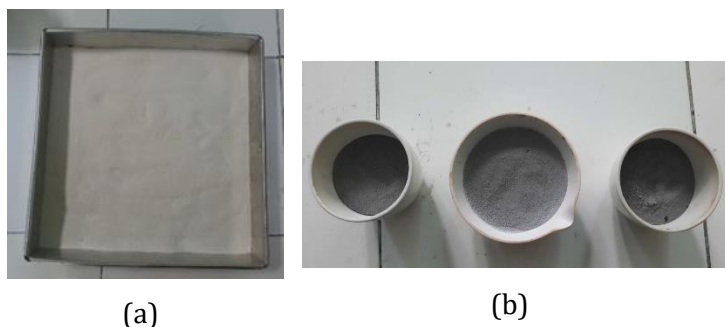
Cangkang telur kemudian dijemur di bawah sinar matahari sampai kering untuk menghilangkan kadar air yang terkandung pada cangkang telur. Setelah itu cangkang telur diblender sampai halus dan diayak dengan *sieve shaker* berukuran 100 mesh agar ukuran cangkang telur seragam. Penyeragaman ukuran cangkang telur ini dilakukan karena ukuran partikel sangat mempengaruhi kapasitas adsorpsi. Serbuk cangkang telur yang halus memiliki efek adsorpsi yang lebih baik karena mempunyai luas permukaan yang lebih besar, sehingga proses adsorpsi ion logam Pb^{2+} akan lebih optimal (Mastiani *et al.*, 2018).

Cangkang telur yang telah diayak kemudian didehidrasi menggunakan oven untuk menghilangkan kadar air yang terkandung. Proses pemanasan disini berguna untuk melebarkan ruang antarpori yang kecil dan akan mendesak kotoran dan zat organik yang masih menempel pada adsorben untuk keluar dari pori dan akan membuat adsorben lebih efektif dalam menyerap adsorbat (Anggara *et al.*, 2013). Hilangnya kadar air pada tahap ini bertujuan agar cangkang telur memiliki waktu simpan yang lama karena dengan menghilangkan kadar air maka proses pembusukan yang disebabkan oleh mikroorganisme atau enzim yang dapat menyebabkan pembusukan tidak terjadi (Riansyah *et al.*, 2013).

B. Perlakuan Cangkang Telur

Cangkang telur yang telah dikeringkan menggunakan oven kemudian dikalsinasi menggunakan *furnace* menggunakan suhu 650°C selama 3 jam. Perlakuan kalsinasi dilakukan untuk menghilangkan kadar air, karbon dioksida atau gas lain yang terikat secara kimia dengan materi pada suhu tinggi di bawah titik leleh dari zat penyusun bahan. Penghilangan tersebut berguna untuk meningkatkan daya adsorpsi dengan cara membuka serta membentuk pori-pori baru akibat adanya pengikisan atom karbon karena pemanasan (Mastiani *et al.*, 2018). Gambar

cangkang telur sebelum dikalsinasi dan sesudah dikalsinasi dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 (a) Cangkang telur sebelum dikalsinasi dan
(b) Cangkang telur sesudah dikalsinasi

Perubahan yang terjadi setelah cangkang telur dikalsinasi terletak pada warnanya, di mana cangkang telur sebelum dikalsinasi berwarna putih sedangkan setelah dikalsinasi berubah warna menjadi abu-abu. Adsorben cangkang telur setelah dikalsinasi kemudian diberi kode sebagai ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB. Adsorben ACTTA yang tidak diberi perlakuan aktivasi didiamkan pada suhu ruang, kemudian disimpan di dalam desikator, sedangkan untuk adsorben ACTAKA diberi perlakuan aktivasi secara kimia dengan larutan asam HCl dan untuk adsorben ACTAKB diberikan perlakuan aktivasi secara kimia dengan larutan basa NaOH. Tahapan yang dilakukan dalam proses aktivasi ini adalah dengan menimbang masing-masing 33 g adsorben, kemudian dicampurkan ke dalam 100 mL larutan

HCl dan NaOH selama 24 jam, setelah itu dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* selama 3 jam agar proses aktivasi berjalan dengan sempurna. Aktivasi dengan larutan HCl berfungsi untuk mengikat molekul air yang terkandung dalam bahan baku adsorben dan dapat menghilangkan sisa senyawa organik non-karbonisasi atau pengotor lain yang mampu larut dalam HCl (Nurbaeti *et al.*, 2018). Aktivasi menggunakan larutan NaOH bertujuan membuka pori-pori adsorben yang tertutup tar, hidrokarbon, dan zat organik lainnya, sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi dan melepaskan matriks yang menyumbat pori-pori adsorben sehingga proses adsorpsi berlangsung lebih optimal. Penggunaan aktivator NaOH dipilih karena zat pereduksi dan mempunyai keunggulan yaitu bersifat stabil pada suhu kamar, mudah larut dalam air, tidak terlalu berbahaya dan murah (Mastiani *et al.*, 2018).

Adsorben yang telah diaktivasi selanjutnya disaring dan dibilas dengan akuades hingga pH netral, penetralan ini berfungsi untuk menghilangkan sisa-sisa larutan HCl serta NaOH pada adsorben. Adsorben yang sudah dinetralkan kemudian dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 110°C selama 3 jam, lalu adsorben yang telah dikeringkan

dibiarkan pada suhu ruang, setelah itu disimpan ke dalam desikator.

C. Karakterisasi Adsorben Cangkang Telur

1. Uji Kadar Air

Pengujian kadar air terhadap adsorben cangkang telur ayam berfungsi untuk mengetahui banyaknya kandungan air yang terdapat pada sampel, apabila kadar air yang terkandung pada adsorben besar, maka adsorben tersebut akan memiliki sifat adsorpsi yang kurang baik karena pori-pori adsorben tertutupi oleh air sehingga dapat mempengaruhi daya serap pada adsorben (Yustinah *et al.*, 2022). Hasil uji kadar air dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Hasil uji kadar air

Adsorben Cangkang Telur Ayam	Kadar air (%)		Keterangan
	Penelitian	SNI 06-3730-1995	
ACTTA	9	Max. 15	Sesuai
ACTAKA	1	Max. 15	Sesuai
ACTAKB	1	Max. 15	Sesuai

Kadar air yang diperoleh oleh ACTAKA dan ACTAKB berdasarkan Tabel 4.1 hasilnya lebih sedikit dibanding ACTTA, hal ini dikarenakan aktivator HCl dan NaOH bertindak sebagai agen pendehidrasi. Aktivator HCl dan NaOH berhasil mengikat air sehingga

menghasilkan kadar air yang nilainya lebih rendah. Rendahnya nilai kadar air akan berpengaruh terhadap banyaknya serapan pada adsorben, karena pori-pori pada adsorben yang tertutup oleh air lebih sedikit dan menyebabkan luas permukaan lebih besar sehingga proses penyerapan adsorbat akan lebih maksimal (Verayana *et al.*, 2018).

2. Uji Kadar Abu Total

Salah satu sifat yang berpengaruh terhadap kualitas adsorben adalah kadar abu. Pengujian kadar abu berguna untuk mengetahui banyaknya sisa kandungan mineral yang terkandung dalam adsorben. Sebagian mineral akan hilang saat proses pembakaran dan saat aktivasi, namun sebagian lagi diperkirakan masih tertinggal dalam adsorben. Banyaknya kadar abu yang terkandung dalam adsorben artinya semakin banyak pula mineral yang terkandung pada adsorben tersebut sehingga menyebabkan penyumbatan pori-pori terhadap adsorben dan akan berpengaruh terhadap daya serap adsorben (Yustinah *et al.*, 2022). Hasil uji kadar abu total dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Hasil uji kadar abu total

Adsorben Cangkang Telur Ayam	Kadar abu total (%)		Keterangan
	Penelitian	SNI 06-3730-1995	
ACTTA	2	Max. 10	Sesuai
ACTAKA	4	Max. 10	Sesuai
ACTAKB	3	Max. 10	Sesuai

Kadar abu total yang diperoleh oleh ACTAKA dan ACTAKB berdasarkan Tabel 4.2 hasilnya lebih tinggi dibanding ACTTA, hal ini terjadi karena adanya proses oksidasi pada adsorben cangkang telur ayam yang diaktivasi oleh aktivator HCl dan NaOH (Verayana *et al.*, 2018).

3. Uji Zat Mudah Menguap

Pengujian zat mudah menguap terhadap adsorben cangkang telur ayam berguna untuk mengetahui kandungan senyawa yang mudah menguap pada adsorben. Semakin tinggi suhu yang digunakan saat uji kadar zat mudah menguap maka jumlah pori-pori yang terbentuk akan semakin banyak sebab ketika suhu karbonisasi meningkat maka senyawa *volatile* yang tertinggal di dalam adsorben akan menguap (Hendrawan *et al.*, 2017). Hasil uji kadar zat mudah menguap dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil uji kadar zat mudah menguap

Adsorben Cangkang Telur Ayam	Kadar zat mudah menguap (%)		Keterangan
	Penelitian	SNI 06-3730-1995	
ACTTA	0,82	Max. 25	Sesuai
ACTAKA	0,99	Max. 25	Sesuai
ACTAKB	0,86	Max. 25	Sesuai

Kadar zat mudah menguap ACTAKA dan ACTAKB yang diperoleh berdasarkan Tabel 4.3 hasilnya lebih besar dibanding kadar zat mudah menguap ACTTA. Perbedaan kadar zat mudah menguap yang terjadi disebabkan karena terbentuknya gugus fungsi pada saat aktivasi dengan aktivator HCl dan NaOH. Meningkatnya kadar zat mudah menguap disebabkan karena terjadi pemutusan ikatan atom-atom pada gugus yang terbentuk dan akan menguap akibat pemanasan yang diberikan (Manurung *et al.*, 2019).

4. Uji Kadar Karbon Terikat

Kadar karbon murni yang terkandung dalam adsorben cangkang telur ayam dapat diketahui dengan cara melakukan pengujian kadar karbon terikat (Manurung *et al.*, 2019). Nilai kadar karbon terikat dipengaruhi oleh kadar air, kadar abu, dan kadar zat mudah menguap pada bahan tersebut. Meningkatnya suhu karbonisasi menyebabkan kadar karbon terikat

pada adsorben akan menurun (Huda *et al.*, 2020). Hasil uji kadar karbon terikat dapat dilihat pada Tabel 4.4.

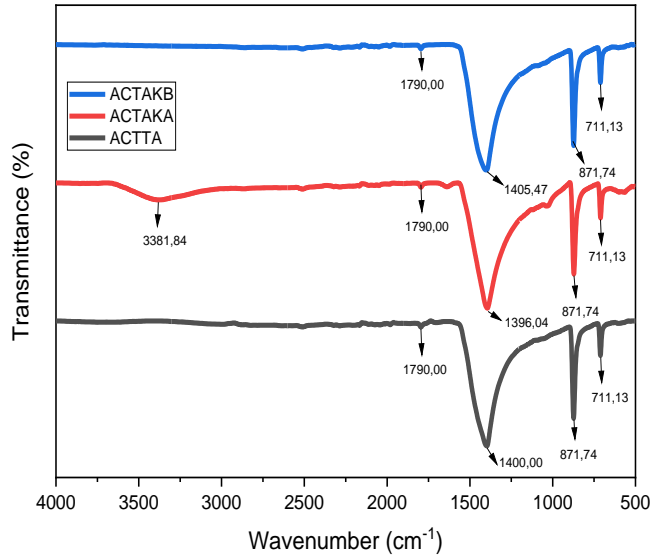
Tabel 4. 4 Hasil uji kadar karbon terikat

Adsorben	Kadar karbon terikat (%)		Keterangan
	Cangkang Telur Ayam	Penelitian SNI 06- 3730-1995	
ACTTA	88,18	Min. 65	Sesuai
ACTAKA	95,14	Min. 65	Sesuai
ACTAKB	94,01	Min. 65	Sesuai

Kadar karbon terikat ACTAKA dan ACTAKB yang diperoleh berdasarkan Tabel 4.4 hasilnya lebih besar dibanding kadar karbon terikat ACTTA. Kadar karbon terikat yang semakin tinggi menandakan bahwa adsorben tersebut semakin murni dan kemampuan untuk mengadsorpsinya akan semakin baik.

5. Uji Spektroskopi Inframerah (FTIR)

Adsorben yang dikarakterisasi menggunakan Spektroskopi Inframerah (FTIR) dalam penelitian ini adalah adsorben cangkang telur ayam tanpa aktivasi (ACTTA), adsorben cangkang telur ayam aktivasi kimia asam (ACTAKA), dan adsorben cangkang telur ayam aktivasi kimia basa (ACTAKB). Karakterisasi adsorben menggunakan instrumentasi FTIR berguna untuk mengetahui berbagai macam gugus fungsi yang terdapat dalam adsorben.



Gambar 4. 2 Spektra FTIR ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB

Gambar 4.2 merupakan hasil karakterisasi FTIR untuk sampel ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB. Analisis menggunakan FTIR dilakukan pada sampel adsorben sebelum diaktivasi dan sampel adsorben sesudah diaktivasi agar dapat mengetahui pergeseran pita serapan yang muncul pada bilangan gelombang tertentu. Interpretasi data FTIR dari ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Intepretasi data FTIR

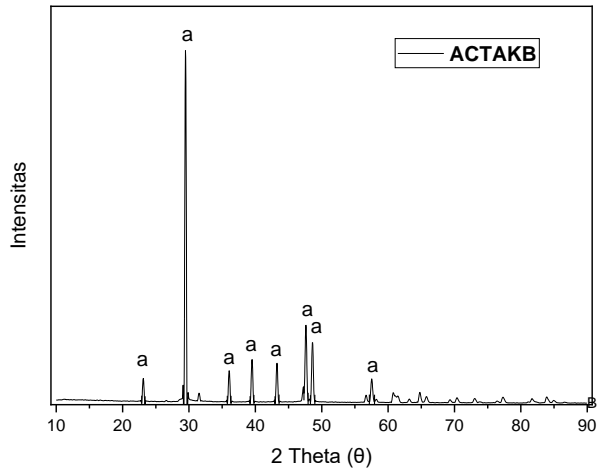
Gugus	Bilangan gelombang (cm^{-1})		
	ACTTA	ACTAKA	ACTAKB
O-H	-	3381,84	-
C=O <i>stretching</i> (Karbonat)	1790,00	1790,00	1790,00
CO (Karbonat)	1400,00	1396,04	1405,47
CO ₃ ²⁻ (Karbonat)	871,74	871,74	871,74
Ca-C	711,13	711,13	711,13

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa terdapat pergeseran bilangan gelombang serta pengurangan intensitas terhadap adsorben sebelum diaktivasi dengan adsorben sesudah diaktivasi. Pergeseran tersebut disebabkan karena adanya penambahan zat aktivator yang dapat menyusun kembali struktur karbon membentuk heksagonal (Tiwow *et al.*, 2021). Spektra IR pada ACTTA menunjukkan adanya gugus C=O pada bilangan gelombang $1790,00 \text{ cm}^{-1}$, gugus CO pada bilangan gelombang $1400,00 \text{ cm}^{-1}$, gugus CO₃²⁻ pada bilangan gelombang $871,74 \text{ cm}^{-1}$, dan gugus Ca-C pada bilangan gelombang $711,13 \text{ cm}^{-1}$. Intepretasi yang sama juga terlihat pada spektra IR ACTAKA dan ACTAKB, namun terdapat pula beberapa perbedaan

antara spektra IR ACTTA dengan spektra IR ACTAKA dan ACTAKB. Spektra IR ACTAKA menunjukkan adanya penambahan gugus O-H pada bilangan gelombang 3381,84 cm^{-1} serta adanya pergeseran pita serapan pada gugus CO pada bilangan gelombang 1396,04 cm^{-1} . Spektra IR ACTAKB menunjukkan adanya pergeseran pita serapan pada gugus CO pada bilangan gelombang 1405,47 cm^{-1} . Hasil spektra IR adsorben ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB mengandung gugus hidroksil dan karbonil, dengan adanya kedua gugus tersebut menyebabkan adsorben yang dihasilkan cenderung bersifat polar dan dapat membentuk ligan dalam membentuk ikatan dengan ion logam Pb^{2+} (Mentari *et al.*, 2018).

6. Uji *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) pada penelitian ini dilakukan terhadap sampel ACTAKB tujuan pengujian ini yaitu untuk mengidentifikasi fasa kristalin pada sampel. Difraktogram ACTAKB dapat dilihat pada Gambar 4.3.

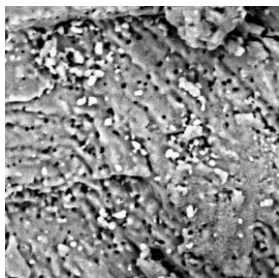


Gambar 4. 3 Hasil Difraktogram ACTAKB

Gambar 4.3 pada sampel ACTAKB menunjukkan bahwa terdapat fase CaCO_3 pada sudut $23,1216^\circ$, $29,4753^\circ$, $36,0499^\circ$, $39,503^\circ$, $43,2599^\circ$, $47,6246^\circ$, $48,6191^\circ$, dan $57,5418^\circ$. Hasil ini sesuai dengan penelitian Sari *et al.* (2021) di mana muncul puncak CaCO_3 pada sudut $23,08^\circ$; $29,42^\circ$; $31,48^\circ$; $35,98^\circ$; $39,4^\circ$; $43,3^\circ$; $47,54^\circ$; dan $48,52^\circ$. Hasil ini pun sesuai dengan data JCPDS-ICDD file no 47-1743 yang memiliki puncak 2θ dengan sudut $23,0^\circ$; $29,5^\circ$; $36,0^\circ$; $39,7^\circ$; $43,3^\circ$; $46,74^\circ$; $48,5^\circ$; dan $57,0^\circ$ (Amanah *et al.*, 2022).

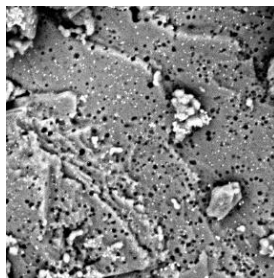
7. Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada penelitian ini dilakukan terhadap sampel ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB sebelum diadsorpsi. Karakterisasi adsorben menggunakan SEM bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan adsorben ACTTA, ACTAKA, dan ACTKB. Hasil analisis SEM pada adsorben ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB dapat dilihat pada Gambar 4.4.



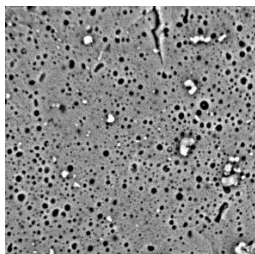
(a) ACTTA

perbesaran 1000x



(b) ACTAKA

perbesaran 1000x



(c) ACTAKB perbesaran 1000x

Gambar 4. 4 Morfologi permukaan adsorben ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB

Hasil SEM pada Gambar 4.4 memperlihatkan adanya perbedaan morfologi permukaan antara adsorben ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB. Morfologi permukaan adsorben ACTAKA dan ACTAKB terlihat lebih sedikit pengotornya dan pori-pori yang terbentuk lebih banyak dibanding adsorben ACTTA. Adsorben ACTAKA dan ACTAKB memiliki rata-rata diameter pori sebesar 0,418 μm dan 0,396 μm , rata-rata diameter pori adsorben ACTAKA dan ACTAKB lebih kecil dibanding rata-rata diameter pori ACTTA sebesar 0,528 μm . Mengacu pada data rata-rata diameter pori yang didapat menunjukkan bahwa adsorben yang diberi perlakuan aktivasi memiliki rata-rata diameter pori yang kecil. Kecilnya diameter pori adsorben yang diaktivasi disebabkan karena masih terkandungnya mineral yang berasal dari larutan aktivator yang menyebabkan terbentuknya pori ACTAKA dan ACTAKB yang lebih kecil dibanding ACTTA (Kurniawan *et al.*, 2014). Semakin kecil rata-rata diameter pori maka luas permukaan pori yang dihasilkan pun akan semakin besar, sehingga kapasitas serta kecepatan adsorben dalam proses adsorpsi juga akan semakin meningkat (Saban *et al.*, 2023). Pembentukan pori-pori terjadi akibat adanya reaksi pengikisan antara permukaan

adsorben dengan aktivator (Pongener *et al.*, 2015) yang mengakibatkan adanya perbedaan ukuran pori pada adsorben cangkang telur ayam yang berpengaruh terhadap kecepatan adsorpsi.

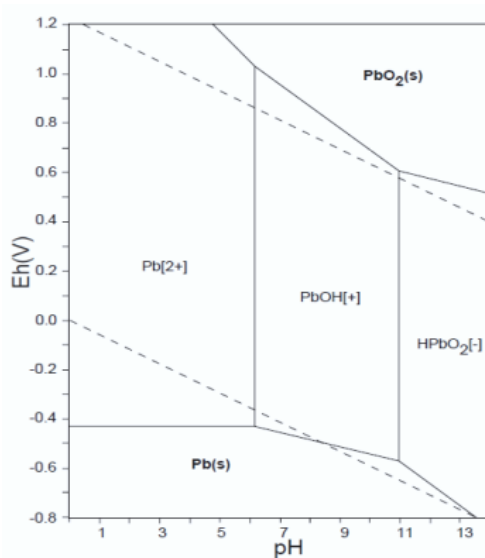
D. Penentuan Kondisi Optimum

1. pH Optimum

pH atau derajat keasaman termasuk salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi. Keasaman dapat mempengaruhi kemampuan muatan pada situs aktif atau gugus fungsi sehingga menyebabkan ion H⁺ bersaing dengan kation agar bisa berikatan dengan sisi aktif adsorben. pH juga dapat berpengaruh pada jenis spesies logam yang terkandung di dalam larutan (Safrianti *et al.*, 2012).

Pengaruh pH terhadap penurunan kadar logam berat pada penelitian ini dilakukan dengan cara mengadsorpsi 50 mL larutan Pb(NO₃)₂ 100 ppm dengan menggunakan 0,1 gram adsorben ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB serta dengan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit dengan variasi pH 3 sampai dengan pH 6. Setelah itu, campuran disaring menggunakan kertas saring dan filtrat yang dihasilkan diukur absorbansinya menggunakan AAS. Rentang pH yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada diagram spesiasi ion logam Pb²⁺ sehingga dapat

dipastikan bahwa rentang pH yang dipilih merupakan rentang pH larutan yang mengandung ion logam Pb^{2+} . Grafik spesiasi logam Pb^{2+} dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan data hasil optimasi pH dapat dilihat pada Tabel 4.6.

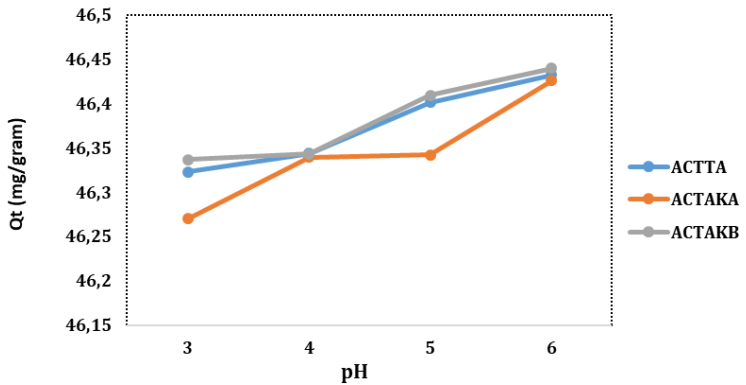


Gambar 4. 5 Diagram spesiasi ion logam Pb^{2+} (Martina *et al.*, 2016)

Tabel 4. 6 Hasil data pH optimum

pH	Qe Pb^{2+} teradsorpsi (mg/g)		
	ACTTA	ACTAKA	ACTAKB
3	46,3232	46,2699	46,3367
4	46,3439	46,3396	46,3432
5	46,4016	46,3421	46,4093
6	46,4327	46,4261	46,44

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa pH optimum adsorben terjadi pada pH 6 dengan kapasitas Pb^{2+} yang teradsorpsi sebesar 46,4327 mg/g untuk ACTTA, 46,4261 mg/g untuk ACTAKA, dan 46,44 mg/g untuk ACTAKB. Grafik pengaruh variasi pH terhadap kapasitas adsorpsi yang didapat berdasarkan data optimasi pada Tabel 4.6 dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Pengaruh variasi pH terhadap efisiensi adsorpsi

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa proses adsorpsi mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya pH. Ketersediaan ion H^+ akan meningkat pada pH rendah, sehingga keberadaan ion H^+ lebih banyak dibandingkan dengan ion logam Pb^{2+} , hal tersebut menyebabkan ion H^+ teradsorpsi lebih dahulu dibandingkan dengan ion logam Pb^{2+} , sehingga ion H^+

bereaksi lebih kuat dengan adsorben dan akan menggantikan ion Pb^{2+} pada saat proses adsorpsi berlangsung. Kapasitas adsorpsi pada pH 6 meningkat hingga tercapai kondisi pH optimal di mana ketersediaan ion H^+ berkurang, yang menyebabkan ion Pb^{2+} lebih dahulu teradsorpsi. Keadaan tersebut menunjukkan bahwa semua sisi aktif pada permukaan adsorben telah berikatan dengan ion logam Pb^{2+} (Mohamad *et al.*, 2020).

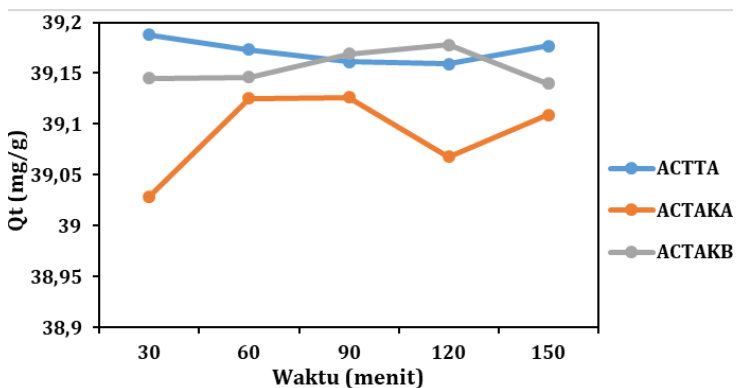
2. Waktu Adsorpsi Optimum

Penentuan waktu optimum pada penelitian ini dilakukan dengan variasi waktu 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Penentuan waktu optimum ini berguna untuk mengetahui serta menentukan waktu adsorben ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB sebanyak 0,1 gram dengan pH 6 dalam mengadsorpsi 50 mL ion logam Pb^{2+} dengan konsentrasi 100 ppm untuk dapat teradsorpsi secara maksimal. Waktu kontak optimum untuk adsorben ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB dapat diketahui melalui pembuatan grafik antara banyaknya ion logam Pb^{2+} yang teradsorpsi terhadap waktu interaksi optimum. Waktu kontak yang optimal dapat dicapai apabila telah terjadi keseimbangan antara fasa permukaan (adsorbat yang telah diserap oleh

adsorben) dengan fasa ruah (adsorbat yang tersisa dalam larutan). Kondisi setelah terjadi keseimbangan menjelaskan bahwa daya serap adsorbat pada adsorben relatif tetap terhadap waktu kontak (Sudiarta *et al.*, 2022). Data waktu adsorpsi optimum dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan grafik pengaruh waktu adsorpsi optimum terhadap kapasitas adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil data waktu adsorpsi optimum

Waktu (menit)	Qt Pb ²⁺ teradsorpsi (mg/g)		
	ACTTA	ACTAKA	ACTAKB
30	39,1877	39,0289	39,1453
60	39,1734	39,1247	39,1456
90	39,1606	39,1262	39,1688
120	39,1585	39,0682	39,1782
150	39,1768	39,1085	39,1402



Gambar 4. 7 Pengaruh waktu adsorpsi optimum terhadap kapasitas adsorpsi

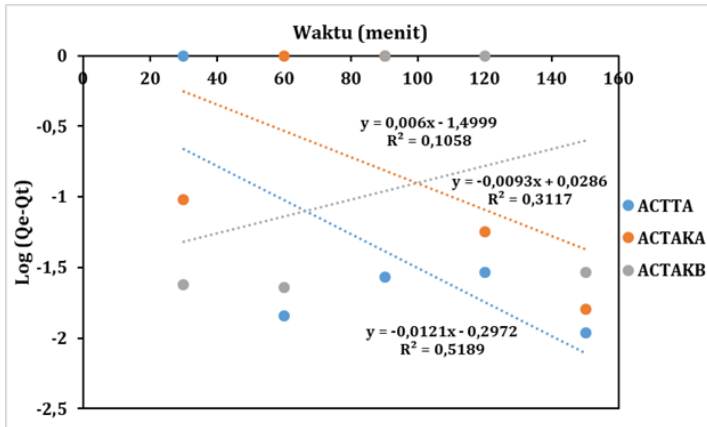
Tabel 4.7 dan Gambar 4.7 menunjukkan bahwa pada adsorben ACTTA waktu optimum terjadi pada menit ke-30 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 39,1877 mg/g, sedangkan untuk menit 60-150 mengalami penurunan. Penurunan kapasitas adsorpsi disebabkan karena pada menit tersebut adsorben sudah mencapai kesetimbangan dan permukaan adsorben sudah berada pada titik jenuh sehingga tidak bisa mengalami peningkatan kapasitas adsorpsi (Zian *et al.*, 2016).

Pada adsorben ACTAKA dan ACTAKB terlihat bahwa semakin lama waktu kontak antara ion logam Pb^{2+} dengan adsorben cangkang telur ayam teraktivasi HCl dan NaOH maka akan semakin besar jumlah ion logam Pb^{2+} yang teradsorpsi. Adsorpsi ion logam Pb^{2+} dengan adsorben ACTAKA terbesar terjadi pada menit 30-60 dengan selisih kapasitas adsorpsi sebanyak 0,0958 mg/g, sehingga waktu optimum adsorben ACTAKA menyerap ion logam Pb^{2+} adalah pada menit ke-60 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 39,1247 mg/g (Winda *et al.*, 2014). Terjadi sedikit peningkatan adsorpsi ion logam Pb^{2+} pada menit 60-90, kemudian terjadi penurunan yang tajam pada menit 90-120 dan terjadi kenaikan kembali pada menit 120-150.

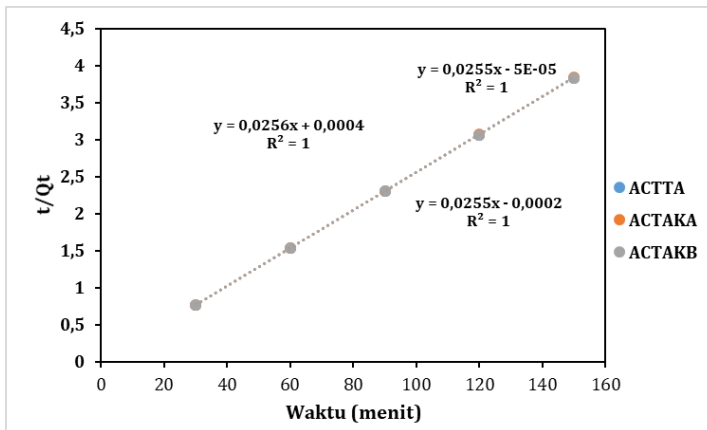
Kenaikan yang terjadi pada menit 60-90 dan menit 120-150 cenderung landai jika dibandingkan dengan kenaikan pada awal interaksi (Wardani & Wulandari, 2017). Adsorpsi terbesar pada adsorben ACTAKB terjadi pada menit 60-90 dengan selisih kapasitas adsorpsi sebanyak 0,0232 mg/g, sehingga waktu optimum adsorben ACTAKB menyerap ion logam Pb^{2+} adalah pada menit ke-90 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 39,1688 mg/g. Kenaikan yang terjadi pada menit 120 cenderung landai jika dibandingkan dengan kenaikan saat awal interaksi dan mengalami penurunan pada menit 120-150. Penurunan ini terjadi karena permukaan adsorben telah jenuh yang menyebabkan adsorben tidak lagi menyerap ion logam Pb^{2+} dan bahkan adsorben mengalami desorpsi (Winda *et al.*, 2014).

Data yang didapat dari hasil kapasitas adsorpsi dapat digunakan untuk menentukan kinetika adsorpsi. Penentuan kinetika adsorpsi berguna untuk mengetahui nilai dari konstanta laju penyerapan ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB terhadap ion logam Pb^{2+} yang dipengaruhi oleh waktu. Analisa kinetika pada penelitian ini menggunakan model kinetika *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua. Model kinetika yang

terbaik dapat dilihat berdasarkan nilai determinasi (R^2) yang lebih mendekati nilai 1. Model kinetika *pseudo* orde satu dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan model kinetika *pseudo* orde dua dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 8 Model kinetika *pseudo* orde satu



Gambar 4. 9 Model kinetika *pseudo* orde dua

Model kinetika adsorpsi berdasarkan Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 dapat diolah menjadi data yang berisi parameter kinetika adsorpsi yang dapat dilihat pada Tabel 4.8

Tabel 4. 8 Parameter kinetika adsorpsi

Keterangan	<i>Pseudo</i> orde 1			<i>Pseudo</i> orde 2		
	Q _e (mg/g)	K ₁ (menit ⁻¹)	R ²	Q _e (mg/g)	K ₂ (menit ⁻¹)	R ²
ACTTA	0,5044	-0,0278	0,5189	39,2156	-13,005	1
ACTAKA	1,0680	-0,0214	0,3117	39,0625	1,6384	1
ACTAKB	0,0316	0,0138	0,1058	39,2156	-3,2512	1

Tabel 4.8 menunjukkan bahwa adsorben ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB mengikuti *pseudo* orde dua, hal ini ditandai dengan nilai koefisien determinasi (R²) memiliki nilai 1. Nilai konstanta laju (K) pada *pseudo* orde dua nilainya pun lebih besar dibanding *pseudo* orde satu, di mana apabila semakin besar nilai konstanta laju (K) maka akan semakin cepat pula laju adsorpsinya (Holle *et al.*, 2013). Selain itu parameter penentuan kinetika reaksi juga dapat dilihat berdasarkan nilai Q_e yang diperoleh. Semakin besar nilai Q_e maka semakin

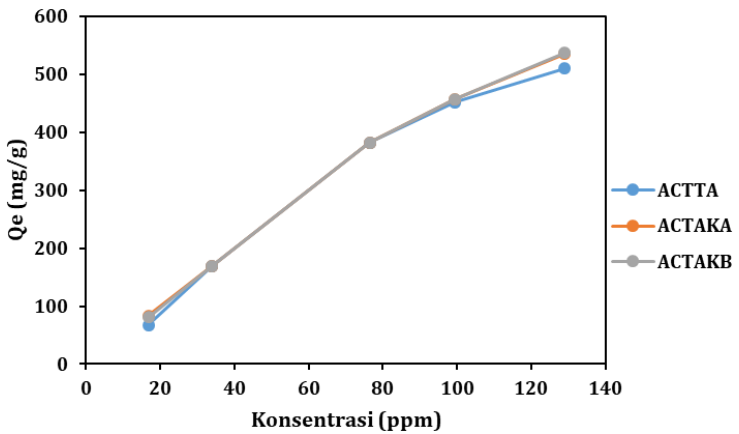
besar pula jumlah adsorbat yang terserap pada waktu kesetimbangan. *Pseudo* orde dua berarti reaksi yang terjadi antara adsorben dan adsorbat identik dengan reaksi kimia, di mana selama proses adsorpsi dikontrol oleh mekanisme secara kimia (Hastuti *et al.*, 2021).

3. **Konsentrasi Adsorpsi Optimum Ion Logam Pb²⁺**

Penentuan konsentrasi adsorpsi optimum ion logam Pb²⁺ dilakukan untuk mengetahui kapasitas optimum adsorpsi yang digunakan pada adsorben ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB. Variasi konsentrasi ion logam Pb²⁺ yang dipakai saat penentuan konsentrasi adsorpsi optimum yaitu 16,929 ppm, 33,966 ppm, 76,405 ppm, 99,376 ppm, dan 128,884 ppm dengan kondisi larutan pada pH 6 dan waktu kontak 30 menit untuk ACTTA, 60 menit untuk ACTAKA, dan 90 menit untuk ACTAKB. Data konsentrasi adsorpsi optimum dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan grafik pengaruh konsentrasi adsorpsi optimum terhadap kapasitas adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.10.

Tabel 4. 9 Hasil data konsentrasi optimum

Konsentrasi (ppm)	Qe (mg/g)		
	ACTTA	ACTAKA	ACTAKB
16,929	67,16	83,36	81,22
33,966	169,83	169,83	169,83
76,405	382,02	382,02	382,02
99,376	452,03	457,33	457,50
128,884	509,97	535,27	536,73



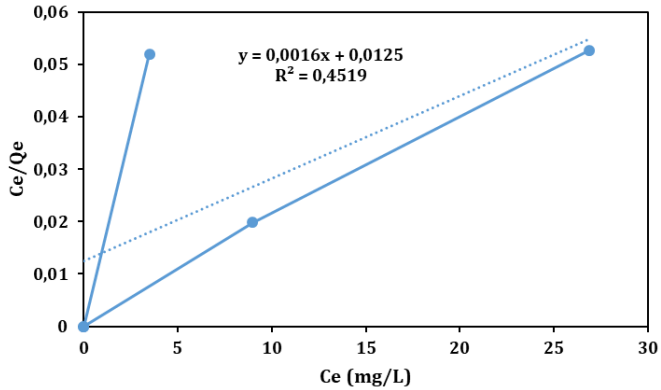
Gambar 4. 10 Pengaruh konsentrasi adsorpsi optimum terhadap kapasitas adsorpsi

Data pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.10 menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi ion logam Pb^{2+} semakin meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi ion logam Pb^{2+} . Hal ini disebabkan karena ion logam Pb^{2+} semakin banyak yang terkandung dalam larutan dan menyebabkan semakin banyaknya interaksi antara ion logam Pb^{2+} dengan permukaan

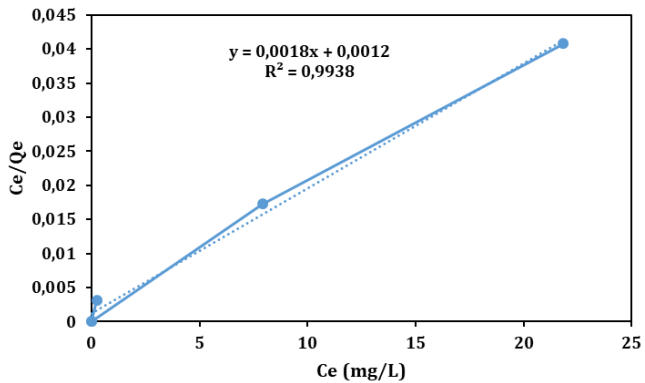
adsorben. Interaksi elektrostatik antara sisi aktif adsorben dengan ion logam Pb^{2+} akan semakin besar seiring dengan banyaknya konsentrasi ion logam Pb^{2+} yang terkandung dalam larutan (Winda *et al.*, 2014). Konsentrasi optimum dari adsorben ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB pada penelitian ini belum diketahui karena pada konsentrasi tertinggi yang diambil dalam penelitian ini yaitu pada konsentrasi 128,884 ppm belum dapat dikatakan sebagai konsentrasi adsorpsi optimum, karena kemampuan adsorpsi yang lebih besar masih dimungkinkan diperoleh oleh konsentrasi yang lebih tinggi.

Data yang didapat dari hasil kapasitas adsorpsi dapat digunakan untuk menentukan isoterm adsorpsi. Penentuan isoterm adsorpsi berguna untuk mengetahui perubahan konsentrasi adsorbat yang di adsorpsi oleh adsorben dengan mekanisme adsorpsinya. Analisa isoterm adsorpsi pada penelitian ini mengacu pada isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich. Model isoterm adsorpsi terbaik dapat dilihat melalui nilai determinasi (R^2) yang lebih mendekati nilai 1. Model isoterm Langmuir pada ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB dapat dilihat pada Gambar 4.11, 4.12, dan 4.13 sedangkan untuk model

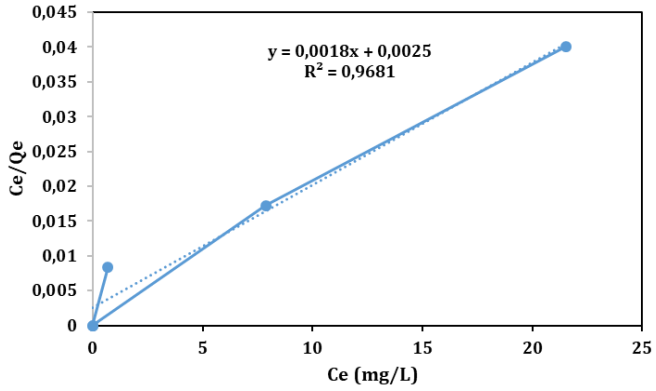
isoterm Freundlich pada ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB dapat dilihat pada Gambar 4.14, 4.15, dan 4.16.



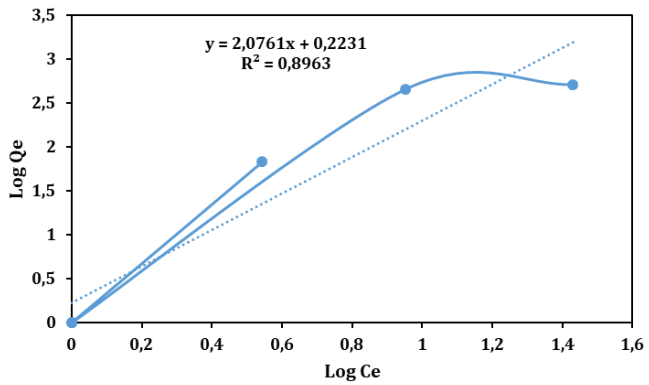
Gambar 4. 11 Kurva isoterm Langmuir ACTTA



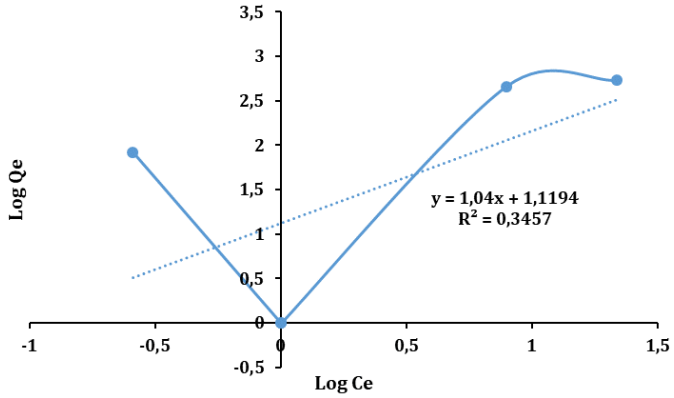
Gambar 4. 12 Kurva isoterm Langmuir ACTAKA



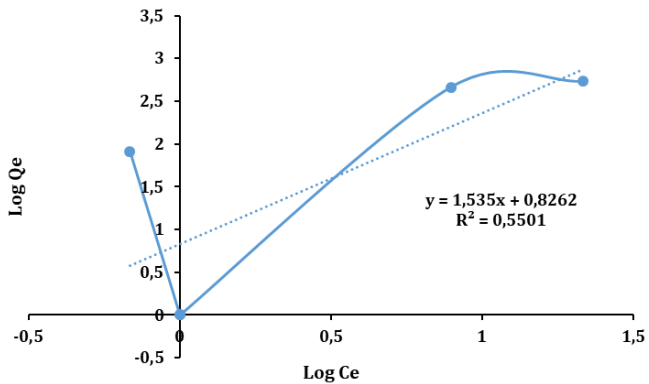
Gambar 4. 13 Kurva isoterm Langmuir ACTAKB



Gambar 4. 14 Kurva isoterm Freundlich ACTTA



Gambar 4. 15 Kurva isoterm Freundlich ACTAKA



Gambar 4. 16 Kurva isoterm Freundlich ACTAKB

Kurva isoterm Langmuir pada Gambar 4.11, 4.12, dan 4.13 serta kurva isoterm Freundlich pada Gambar 4.14, 4.15, dan 4.16 dapat diolah menjadi data seperti pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Parameter isoterm adsorpsi

Keterangan	Isoterm Langmuir			Isoterm Freundlich		
	Q_{\max} (mg/g)	K_1 (L/mg)	R^2	K_2 (L/mg) $^{1/n}$	n	R^2
ACTTA	625	0,128	0,4519	1,671	0,481	0,8963
ACTAKA	555,56	1,499	0,9938	13,164	0,961	0,3457
ACTAKB	555,56	0,719	0,9681	6,701	0,651	0,5501

Data pada Tabel 4.10 menunjukkan bahwa isoterm adsorpsi ion logam Pb^{2+} oleh ACTTA mengikuti model isoterm Freundlich dengan nilai R^2 sebesar 0,8963. Hal ini menandakan bahwa proses adsorpsi pada bagian permukaan bersifat heterogen sehingga tidak semua permukaan adsorben memiliki kemampuan adsorpsi (Supraptiah *et al.*, 2019). Interaksi yang terjadi pada ion logam Pb^{2+} dengan ACTTA merupakan gaya Van der Waals karena molekul ion logam Pb^{2+} memiliki sifat yang cukup lemah dan menyebabkan proses adsorpsi terjadi secara *multilayer* (Anggriani *et al.*, 2021). Adsorben ACTAKA dan ACTAKB mengikuti model isoterm Langmuir dengan nilai R^2 sebesar 0,9938 dan 0,9681 dengan

mengikuti model isoterm Langmuir berarti permukaan adsorben ACTAKA dan ACTAKB bersifat homogen dan memiliki energi adsorpsi yang setara di setiap situs adsorpsi. Interaksi antara sisi aktif adsorben dengan zat teradsorpsi pada isoterm Langmuir hanya terjadi pada lapisan penyerapan tunggal di permukaan dinding sel adsorben (Anggriani *et al.*, 2021).

BAB V

PENUTUPAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakteristik adsorben berdasarkan pengujian instrumen FTIR mengalami pergeseran gugus yang terjadi pada gugus CO (karbonat) di mana pada ACTTA bilangan gelombangnya sebesar $1400,00\text{ cm}^{-1}$, ACTAKA pada $1396,04\text{ cm}^{-1}$, dan ACTAKB pada $1405,47\text{ cm}^{-1}$. Selain mengalami pergeseran gugus, pada ACTAKA terlihat muncul gugus O-H pada bilangan gelombang $3381,84\text{ cm}^{-1}$. Karakteristik adsorben ACTAKB berdasarkan pengujian instrumen XRD menunjukkan fase CaCO_3 yang ditandai kemunculannya pada sudut $23,1216^\circ$, $29,4753^\circ$, $36,0499^\circ$, $39,503^\circ$, $43,2599^\circ$, $47,6246^\circ$, $48,6191^\circ$, dan $57,5418^\circ$. Karakteristik ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB berdasarkan pengujian instrumen SEM menunjukkan rata-rata diameter pori ACTTA sebesar $0,528\ \mu\text{m}$, ACTAKA sebesar $0,418\ \mu\text{m}$, dan ACTAKB sebesar $0,396\ \mu\text{m}$.
2. Kapasitas adsorpsi dari adsorben ACTTA pada pH 6 sebesar $46,4327\text{ mg/g}$, waktu kontak selama 30 menit sebesar $39,1877\text{ mg/g}$, dan pada konsentrasi larutan

ion logam Pb^{2+} sebesar 128,884 ppm yaitu sebesar 509,97 mg/g. Kapasitas adsorpsi dari adsorben ACTAKA pada pH 6 sebesar 46,4261 mg/g, waktu kontak selama 60 menit sebesar 39,1247 mg/g, dan pada konsentrasi larutan ion logam Pb^{2+} sebesar 128,884 ppm yaitu sebesar 535,27 mg/g. Kapasitas adsorpsi dari adsorben ACTAKB pada pH 6 sebesar 46,44 mg/g, waktu kontak selama 90 menit sebesar 39,1688 mg/g, dan pada konsentrasi larutan ion logam Pb^{2+} sebesar 128,884 ppm yaitu sebesar 536,73 mg/g.

3. Model kinetika adsorpsi yang paling tepat untuk adsorben ACTAKA, ACTAKB, dan ACTTA adalah kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua dengan nilai Q_e sebesar 39,0625 mg/g untuk ACTAKA, 39,2156 mg/g untuk ACTAKB, dan 39,2156 mg/g untuk ACTTA serta koefisien determinasi (R^2) untuk masing-masing adsorben sebesar 1. Model isoterm yang paling tepat untuk adsorben ACTTA adalah isoterm Freundlich dengan R^2 sebesar 0,8963 dan untuk adsorben ACTAKA dan ACTAKB mengikuti model isoterm Langmuir dengan R^2 sebesar 0,9938 dan 0,9681.

B. Saran

Penelitian selanjutnya diharapkan melakukan variasi konsentrasi HCl dan NaOH serta melakukan variasi suhu saat aktivasi adsorben cangkang telur ayam. Uji karakterisasi menggunakan XRD pada adsorben tanpa aktivasi dan aktivasi asam juga perlu dilakukan sebagai pembandingan fasa kristal adsorben dengan aktivasi basa. Penambahan konsentrasi ion logam Pb^{2+} pada pengujian konsentrasi optimum juga perlu dilakukan untuk mengetahui konsentrasi optimum yang mampu diserap oleh adsorben cangkang telur ayam.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, B. K., & Kurniawan, F. 2012. Pemanfaatan Serbuk Biji Salak (*Salacca zalacca*) sebagai Adsorben Cr(VI) dengan Metode Batch dan Kolom. *Jurnal Sains Pomits*, 1(1): 1–6.
- Al-Asheh, S., Banat, F., Al-Omari, R., & Duvnjak, Z. 2000. Predictions of binary sorption isotherms for the sorption of heavy metals by pine bark using single isotherm data. *Chemosphere*, 41(5): 659–665. doi: 10.1016/S0045-6535(99)00497-X.
- Amanah, I. N., Indah, F., Indriyani, P., & Asriza, R. O. 2022. Pengaruh Jenis Asam Pada Aktivasi Cangkang Telur Sebagai Adsorben Logam Cu Pada Air Kolong. *Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Pada Masyarakat*, 117–122.
- Anggara, P. A., Wahyuni, S., & Prasetya, A. T. 2013. Optimalisasi Zeolit Alam Wonosari dengan Proses Aktivasi Secara Fisis dan Kimia. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 2(1).
- 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.
- Ardillah, Y. 2016. Risk Factors of Blood Lead Level. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, 7(3): 150–155. doi: 10.26553/jikm.2016.7.3.150-155.
- Artajaya, I Wayan Eka; Putri, N. K. F. P. P. 2021. Faktor-Faktor Penyebab Terjadinya Pencemaran Air di Sungai Bindu. *Jurnal Hukum Saraswati (JHS)*, 03(02): 44–64.
- Asip, F., Mardhiah, R., & Husna. 2008. Uji Efektifitas Cangkang Telur dalam Mengadsorbsi Ion Fe dengan Proses Batch. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(2): 22–26.
- Astari, M. A., & Utami, B. 2018. Uji Daya Adsorpsi Adsorben Kombinasi Sekam Padi dan Bagasse Fly Ash untuk Menjerap Logam Cu pada Sistem Batch. *Proceeding Biology Education Conference*, 15(1): 766–774.
- Atkins, P. W. 1997. *Kimia Fisika Jilid 2* (4th ed.). Erlangga.

- Azizanie, A., Destiana, I. D., & Mukminah, N. 2023. Pemurnian Minyak Jelantah Menggunakan Adsorben Cangkang Telur. *Jurnal Teknik Kimia*, 29(2): 87–94.
- Clara, J. O., Haeruddin, & Ayuningrum, D. 2022. Analisis Konsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada Air, Sedimen, dan Tiram (*Crassostrea* sp.) di Sungai Tapak, Kecamatan Tugu, Kota Semarang. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 6(1): 53–65. doi: 10.21776/ub.jfmr.2022.006.01.7.
- Dhanakumar, S. 2018. Removal of Cr (VI) from aqueous solution by adsorption using cooked tea dust. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11): 951–952., 1(2): 10–27.
- E, R. 2002. *Studi Literatur Perancangan Awal Alat Adsorpsi Regenerasi Karbon Aktif*.
- Ferriansyah, R. 2021. Penggunaan Serbuk Tulang Ayam Sebagai Adsorben. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 7(9): 494–499.
- Ghosal, P. S., & Gupta, A. K. 2017. Determination of thermodynamic parameters from Langmuir isotherm constant-revisited. *Journal of Molecular Liquids*, 225: 137–146. doi: 10.1016/j.molliq.2016.11.058.
- Godelitsas, A., Astilleros, J. M., Hallam, K. R., Löns, J., & Putnis, A. (2003). Microscopic and spectroscopic investigation of the calcite surface interacted with Hg(II) in aqueous solutions. *Mineralogical Magazine*, 67(6): doi: 10.1180/0026461036760158.
- Handriyani, K. A. T. S., Habibah, N., & Dhyyanaputri, I. G. A. S. 2020. Analisis Kadar Timbal (Pb) pada Air Sumur Gali di Kawasan Tempat Pembuangan Akhir Sampah Banjar Suwung Batan Kendal Denpasar Selatan. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 9(1): 68–75. doi: 10.23887/jstundiksha.v9i1.17842.
- Harahap, S. 2018. *Pemanfaatan Ampas Tebu Sebagai Adsorben Zat Warna Methylene Blue Dan Malachite Green*. Skripsi. Jakarta: Program Sarjana Universitas Islam Negeri Syarif

Hidayatullah.

- Hastuti, S., Utomo, I. T., Martini, T., Pranoto, P., Purnawan, C., Masykur, A., & Wibowo, A. H. 2021. Pemanfaatan Abu Sekam Padi sebagai Sumber Silika untuk Pembuatan Adsorben Ion Logam Cd(II) melalui Teknik Imprinted Ionic. *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 17(1): 113–123. doi: 10.20961/alchemy.17.1.44241.113-123.
- Hendrawan, Y., Sutan, S. M., & Kreative, R. 2017. Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi dan Konsentrasi Aktivator terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Ampas Tebu (Bagasse) Menggunakan Activating Agent NaCl. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 5(3): 200–207.
- Herlandien, Y. L. 2013. *Pemanfaatan Arang Aktif Sebagai Absorban Logam Berat*. 1–84.
- Holle, R. B., Wuntu, A. D., & Sangi, M. S. 2013. Kinetika Adsorpsi Gas Benzena Pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa. *Jurnal MIPA UNSTRAT*, 2(2): 100–104. doi: 10.35799/jm.2.2.2013.2997.
- Huda, S., Ratnani, R. D., & Kurniasari, L. 2020. Karakterisasi Karbon Aktif dari Bambu Ori (*Bambusa Arundinacea*) yang di Aktivasi Menggunakan Asam Klorida (HCl). *Inovasi Teknik Kimia*, 5(1): 22–27.
- Jalu, R. G., Chamada, T. A., & Kasirajan, R. (2021). Calcium Oxide Nanoparticles Synthesis from Hen Eggshells for Removal of Lead (Pb(II)) from Aqueous Solution. *Environmental Challenges*, 4(6): 1–20. doi: 10.1016/j.envc.2021.100193.
- Komari, N., Junaidi, A. B., & Fatmawati. 2007. Penggunaan Biomassa Potamogeton sp Termonilikan Pada Silika Gel Sebagai Bioadsorben Cd(II). *Sains Kimia Dan Terapan*, 1(1): 39–46.
- Kurniawan, R., Luthfi, M., & Agung, W. 2014. Karakterisasi Luas Permukaan Bet (Braunear, Emmelt dan Teller) Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dan Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Aktivasi Asam Fosfat (H₃PO₄). *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 2(1): 15–20.

- Laos, L. E., Masturi, & Yulianti, I. 2016. Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Daya Serap Karbon Aktif Kulit Kemiri. *Seminar Nasional Fisika*, V: 135–140. doi: 10.21009/0305020226.
- Lestari, A. S., & Sartika, D. 2018. Preparasi dan Karakterisasi Nanopartikel Fe₃O₄ Menggunakan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, Vol. 11(1): 7–10.
- Manurung, M., Ratnayani, O., & Prawira, R. A. 2019. Sintesis dan Karakterisasi Arang dari Limbah Bambu. *Cakra Kimia*, 7(1): 69–77.
- Mardin, A. I. K. 2012. Analisis Kadar Merkuri (Hg) Pada Sediaan Krim Pemutih yang Beredar di Pasaran Kota Makassar dengan Menggunakan Metode Spektrofotometri Serapan Atom. In *Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Islam Negeri Alaudin Makassar*.
- Martina, D., Hastuti, R., & Widodo, D. S. 2016. Peran Adsorben Selulosa Tongkol Jagung (*Zea mays*) dengan Polivinil Alkohol (PVA) untuk Penyerapan Ion Logam Timbal (Pb²⁺). *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 19(3): 77–82.
- Mashfufah, N. H. 2014. Uji Potensi Pupuk Organik dari Bahan Cangkang Telur untuk Pertumbuhan Tanaman Seledri (*Apium graveolens* L.). *Jurnal Publikasi*, 1(2): 1–26.
- Mastiani, N., Amalia, V., & Rosahdi, T. D. 2018. Potensi Penggunaan Tempurung Kelapa sebagai Adsorben Ion Logam Fe(III). *Al-Kimiya*, 5(1), 42–47. <https://doi.org/10.15575/ak.v5i1.3731>
- Maulinda, L., Nasrul, Z., & Sari, D. N. 2015. Jurnal Teknologi Kimia Unimal Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Bahan Baku Karbon Aktif. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 4(2): 11–19.
- Mentari, V. A., Handka, G., & Maulina, S. 2018. Perbandingan Gugus Fungsi dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator Asam Fosfat (H₃PO₄) dan Asam Nitrat (HNO₃). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 7(1): 16–20. doi: 10.32734/st.v1i2.299.
- Mohamad, E., Oputu, I. J., & Tangio, J. S. 2020. Pemanfaatan

- Gulma Siam (*Chromolaena odorata* L.) Sebagai Adsorben Logam Timbal. *Jambura Journal of Chemistry*, 2(1): 25–32. doi: 10.34312/jambchem.v2i1.4528.
- Muamar, A., Nisah, K., & Nasution, R. S. 2020. Kajian Arang Aktif Dari Limbah Pertanian Sebagai Bioadsorben Zat Warna. *Amina*, 2(2): 59–63.
- Muhammad, F., & Dewi, Y. S. 2020. Efektivitas Cangkang Telur Ayam Negeri (*Gallus gallus domesticus*) Sebagai Adsorben Terhadap Daya Jerap Logam Berat Merkuri (Hg^{2+}). *Jurnal Techlink*, 4(2): 19–29.
- Muttaqin, R., Prayitno, W. S. W., & Nurbaiti, U. 2023. Pengembangan Buku Panduan Teknik Karakterisasi Material: X-ray Diffractometer (XRD) Panalytical Xpert3 Powder. *Indonesian Journal of Laboratory*, 6(1), 9–16. doi: 10.22146/ijl.v1i1.78970.
- Nafi'ah, R., & Nugraheni, B. 2017. Kinetika Adsorpsi Timbal dengan Adsorben Sabut Siwalan Terxanthasi Rohmatun. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9): 1689–1699.
- Ngapa, Y. D. 2017. Study of The Acid-Base Effect on Zeolite Activation and Its Characterization as Adsorbent of Methylene Blue Dye. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 2(2): 90. doi: 10.20961/jkpk.v2i2.11904.
- Nurbaeti, L., Prasetya, A. T., Kimia, J., Semarang, U. N., & Artikel, I. 2018. Arang Ampas Tebu (Bagasse) Teraktivasi Asam Klorida sebagai Penurun Kadar Ion $H_2PO_4^-$. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2): 132–139.
- Nurhasni, N., Firdiyono, F., & Sya'ban, Q. 2012. Penyerapan Ion Aluminium dan Besi dalam Larutan Sodium Silikat Menggunakan Karbon aktif. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(4): doi: 10.15408/jkv.v2i4.269.
- Nursyahrhan, & Fathuddin. 2019. Pemanfaatan Limbah Tepung Cangkang Telur sebagai Bahan Substitusi Tepung Ikan pada Bahan Baku Pakan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Agrokompleks*, 19(1): 58–65.

- Osipow, L. I. 1962. *Surface chemistry: theory and industrial applications*. New York: Rheinhold Publishing Corporation.
- Pambudi, A., Farid, M., & Nurdiansah, H. 2017. Analisis Morfologi dan Spektroskopi Infra Merah Serat Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*) Hasil Proses Alkalisasi Sebagai Penguat Komposit Absorpsi Suara. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2): 441-444.
- Parawita, D., Insafitri, & Andy Nugraha, W. 2009. Analisis Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) Di Muara Sungai Porong. *Jurnal Kelautan*, 2(2): 117-124.
- Patri, M. Y., & Oktasari, A. 2019. Pemanfaatan Kulit Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.) sebagai Adsorben Logam Berat Kadmium. *Prosiding Seminar Nasional Sains*.
- Permata, M. A. D., Purwiyanto, A. I. S., & Diansyah, G. 2018. Kandungan Logam Berat Cu (Tembaga) Dan Pb (Timbal) Pada Air Dan Sedimen Di Kawasan Industri Teluk Lampung, Provinsi Lampung. *Journal of Tropical Marine Science*, 1(1): 7-14. <https://doi.org/10.33019/jour.trop.mar.sci.v1i1.667>
- Pongener, C., Kibami, D., Rao, K., Goswamee, R., & Sinha, D. 2015. Synthesis and Characterization of Activated Carbon from the Biowaste of the Plant Manihot Esculenta. *Chemical Science Transactions*, 4(1): 59-68. doi: 10.7598/cst2015.958.
- Prasidha, I. D. N. W. 2012. Adsorpsi Logam Berat Pada Limbah Industri Elektroplating Menggunakan Kulit Telur. In *Skripsi*. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.
- Putra, W. E., Setiani, O., & Nurjazuli. 2020. Kandungan Logam Berat Pb Pada Air Bersih Dan Pada Darah Wanita Usia Subur Di Kota Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 8(11): 840-846.
- Putri, L. S. 2021. *Pemanfaatan Selulosa dari Koran Bekas Teraktivasi KOH sebagai Adsorben Ion Logam Cu(II)*.

Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

- Rahayu, D. R., & Mangkoedihardjo, S. 2022. Kajian Bioaugmentasi untuk Menurunkan Konsentrasi Logam Berat di Wilayah Perairan Menggunakan Bakteri (Studi Kasus: Pencemaran Merkuri di Sungai Krueng Sabee, Aceh Jaya). *Jurnal Teknik ITS*, 11(1): doi: 10.12962/j23373539.v11i1.82791.
- Rahman, S. 2016. Rancangan Eksperimen Analisis Struktur Mikro Sampel dengan Prinsip XRD Menggunakan Metode Kristal Berputar. *Jurnal Riset Dan Kajian Pendidikan Fisika*, 3(1): 5–9. doi: 10.12928/jrpkpf.v3i1.4538.
- Rajab, T. N. 2021. *Pembuatan Hidrogel dari Sabut Kelapa (Cocos Nucifera L.) sebagai Absorben Logam Berat Cu dan Fe*. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Ramaiah, G. B., Bhatia, D., & Ramesh, K. P. 2017. Structural Analysis Of Merino Wool, Pashmina And Angora Fibers Using Analytical Instruments Like Scanning Electron Microscope And Infra-Red Spectroscopy. *International Journal of Engineering Technology Science and Research*, 4(8): 112–125.
- Rani, S. R. A. 2022. Studi Analisis Data Difraksi Sinar-X Pada Material Zircon Pasir Alam Melalui Metode Rietveld. *Jurnal Fisika Dan Terapannya*, 9(1): 16–22. doi: 10.24252/jft.v9i1.25470.
- Riansyah, A., Supriyadi, A., & Nopianti, R. 2013. Pengaruh Perbedaan Suhu dan Waktu Pengeringan Terhadap Karakteristik Ikan Asin Sepat (*Trichogaster pectoralis*) dengan Menggunakan Oven. *Fishtech*, II(01): 53–68.
- Rosema, R., Supriyantini, E., & Sedjati, S. (2021). Pemanfaatan Kitosan untuk Menurunkan Kadar Logam Pb pada Perairan yang Tercemar Minyak Bumi. *Buletin Oseanografi Marina*, 10(1): 61–66. doi: 10.14710/buloma.v10i1.31051.
- Saban, A., Jasruddin, & Husain. 2023. Pengaruh Konsentrasi Aktivator (NaOH dan HCl) terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Tongkol Jagung. *Jurnal Sains Dan Pendidikan*

Fisika (JSPF), 19(2): 219–228.

- Safrianti, Ii., Wahyuni, N., & Zaharah, T. A. 2012. Adsorpsi Timbal (II) oleh Selulosa Limbah Jerami Padi Teraktivasi Asam Nitrat: Pengaruh pH dan Waktu Kontak. *JKK*, 1(1): 1–7.
- Salpiyana. 2019. Studi Proses Pengolahan Cangkang Telur Ayam Menjadi Pupuk Cair Organik dengan Menggunakan EM₄ Sebagai Inokulan. In *Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung*.
- Sanders, T., Liu, Y., Buchner, V., & Tchounwou, P. B. 2009. Neurotoxic effects and biomarkers of lead exposure: A review. *Reviews on Environmental Health*, 24(1): 15–45. doi : 10.1515/REVEH.2009.24.1.15.
- Santosa, R. W. 2013. Dampak Pencemaran Lingkungan Laut oleh Perusahaan Pertambangan Terhadap Nelayan Tradisional. *Lex Administratum*, 1(2): 65–78.
- Sari, S. I. P., Wardhani, S., & Dardjito. 2021. Pemanfaatan Cangkang Telur sebagai Bahan Baku Komposit CaCO₃-Alginat untuk Adsorben Metil Jingga. *The Indonesian Green Technology Journal*, 65–73. doi: 10.21776/ub.igtj.2021.009.01.05.
- Satriani, D., Ningsih, P., & Ratman. 2016. Serbuk dari Limbah Cangkang Telur Ayam Ras sebagai Adsorben terhadap Logam Timbal (Pb). *J. Akademika Kim.*, 5(3): 103–108.
- Singh, S. K., Dhyani, A., & Juyal, D. 2017. Hydrogel: Preparation, Characterization and Applications. *Pharmaceutical Technology*, 6: 25–32.
- 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(11): 103–116. doi: 10.15408/jkv.v0i0.3146.
- Sjamsiah, Ramadani, K., & Hermawan. 2017. Sintesis Membran Silika Kitosan dari Abu Ampas Tebu (Bagasse). *Al-Kimia*, 5(1): 81–88. doi: 10.24252/al-kimia.v5i1.2857.
- Sudiarta, I. W., Saputra, I. G. D. V., & Suarya, P. 2022. Modifikasi

Silika Gel dari Abu Limbah Hasil Proses Pembakaran industri Batu Bata dengan Difenilkarbazon sebagai Adsorben serta Uji Daya Serap terhadap Ion Logam Cr(III) dan Cu(II). *Jurnal Kimia*, 16(2): 226–236. doi: 10.24843/jchem.2022.v16.i02.p14.

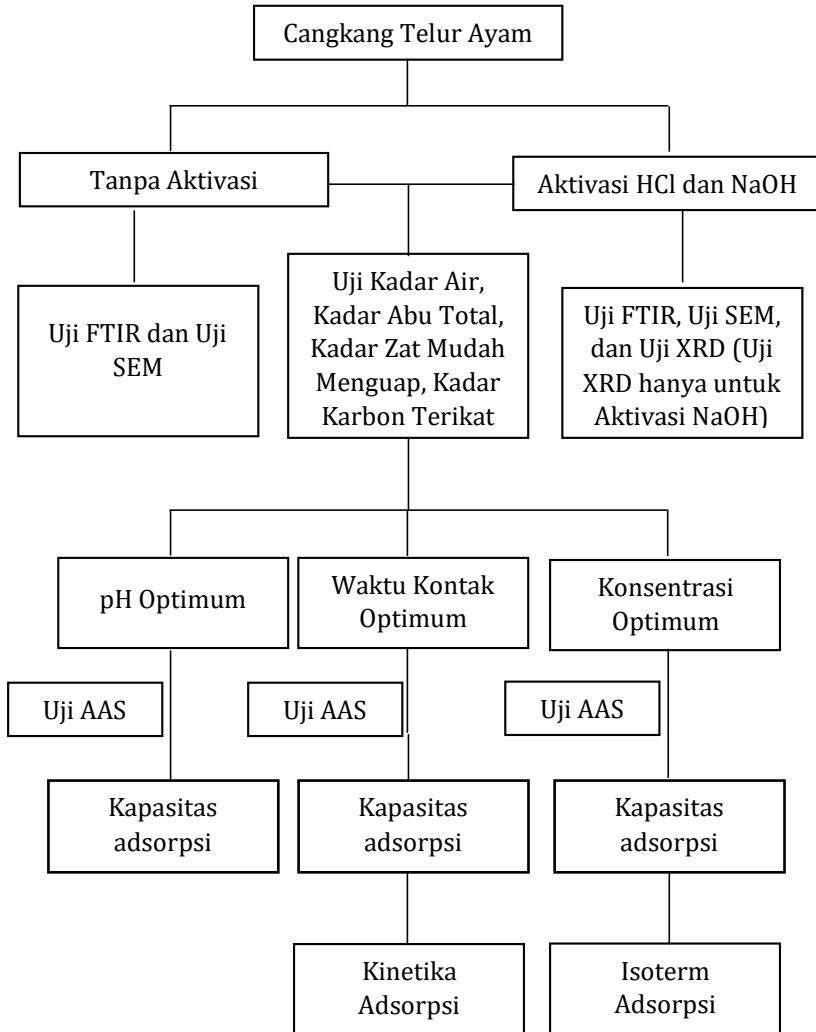
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, & Dimyati, A. 2015. Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*, 9(2): 44–50. doi: 10.17146/jfn.2015.9.1.3563.
- Sulistia, S., & Septisya, A. C. 2020. Analisis Kualitas Air Limbah Domestik Perkantoran. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 12(1): 41–57. doi: 10.29122/jrl.v12i1.3658.
- Sulistiyani, M., & Huda, N. 2017. Optimasi Pengukuran Spektrum Vibrasi Sampel Protein Menggunakan Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red (Ftir). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(2): 173–180.
- Supraptiah, E., Suci Ningsih, A., & Hilwatulisan. 2019. Kinetika Adsorpsi Mn dengan Memanfaatkan Bottom Ash Batubara pada Larutan Artifisial KMnO₄. *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri*, 220–227.
- Supriatno, & Lelifajri. 2009. Analisis Logam Berat Pb dan Cd dalam Sampel Ikan dan Kerang secara Spektrofotometri Serapan Atom. *Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan*, 7(1): 5–8.
- 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): 116–123. doi: 10.35799/cp.14.2.2021.37191.
- Verayana, Papatungan, 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.
- Wardani, G. A., & Wulandari, W. T. 2017. Pengaruh Waktu Kontak terhadap Daya Adsorpsi Kulit Jengkol (Pithecellobium jiringa) pada Ion Timbal(II). *Prosiding*

Seminar Nasional Kimia UNY, 319–324.

- Wardani, S., Rosa, E., & Mirdayanti, R. 2020. Pengolahan Limbah Tulang Kambing Sebagai Produk Arang Aktif Menggunakan Proses Aktivasi Kimia dan Fisika. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(1): 67–72. doi: 10.14710/jil.18.1.67-72.
- Widowati, W., Sastiono, A., & R, R. J. 2008. *Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*.
- Wijayanti, I. E., & Kurniawati, E. A. 2019. Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Abu Gosok sebagai Adsorben. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*, 4(2): 175. doi: 10.30870/educhemia.v4i2.6119.
- Wijayanto, S. O., & Bayuseno, A. . 2014. Analisa Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi berdasarkan Pengujian: Mikrografi dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(1): 33–39.
- Winda, D. T., Hatuti, R., & Haris, A. 2014. Pengaruh Penambahan PVA-Sulfonasi pada Tongkol Jagung (*Zea Mays*) sebagai Adsorben Ion Logam Pb²⁺. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 17(1): 31–36.
- Yustinah, AB, S., Ika, K., Rahmawati, M., & Nisavira, P. 2022. Pengaruh Massa Adsorben Arang Aktif dari Ampas Kopi untuk Menyerap Zat Warna Rhodamin B. *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, 1–5.
- Zian, Ulfan, I., & Harmami. 2016. Pengaruh Waktu Kontak pada Adsorpsi Remazol Violet 5R Menggunakan Adsorben Nata de Coco. *Jurnal Sains Dan Seni Its*, 5(2): 2337–3520.
- Zonato, R. de O., Estevam, B. R., Perez, I. D., Ribeiro, V. A. dos S., & Boina, R. F. 2022. Eggshell as an adsorbent for removing dyes and metallic ions in aqueous solutions. *Cleaner Chemical Engineering*, 2(3). doi: 10.1016/j.clce.2022.100023.

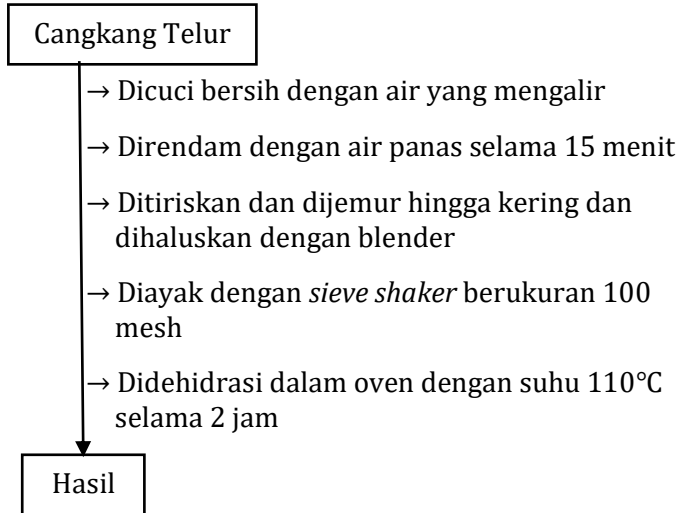
LAMPIRAN

Lampiran 1 Skema Prosedur Kerja

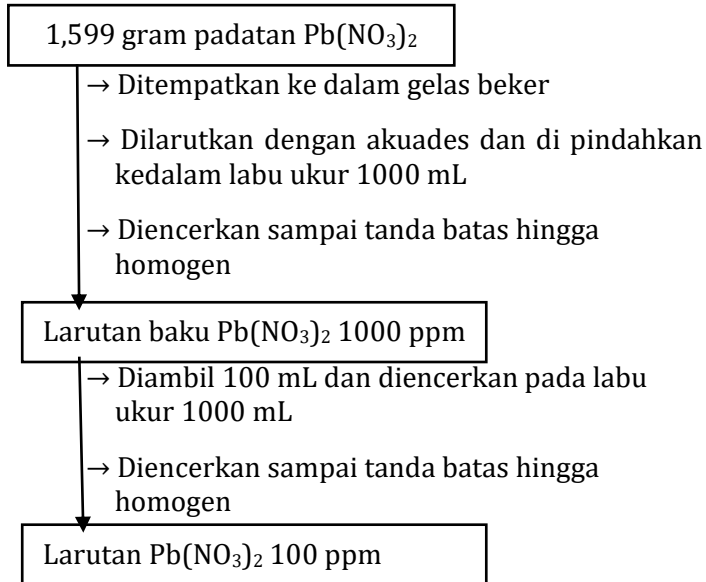


Lampiran 2 Diagram Alir Penelitian

1. Preparasi Cangkang Telur

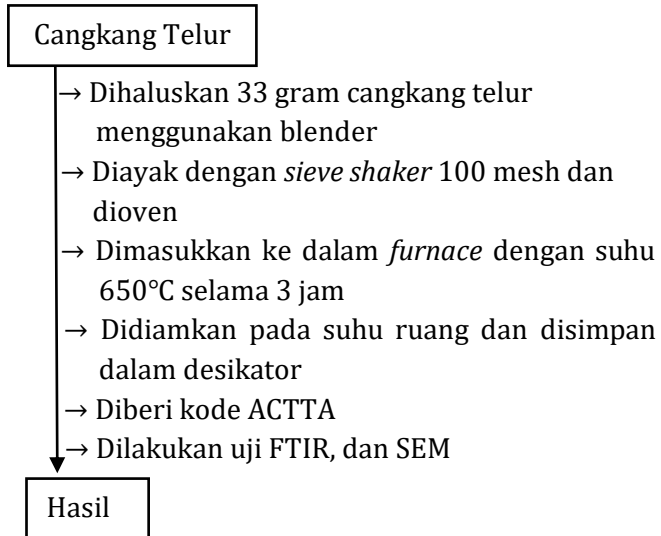


2. Pembuatan Larutan Baku $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 1000 ppm



3. Perlakuan Cangkang Telur

a. Tanpa Aktivasi



b. Aktivasi Asam dan Basa

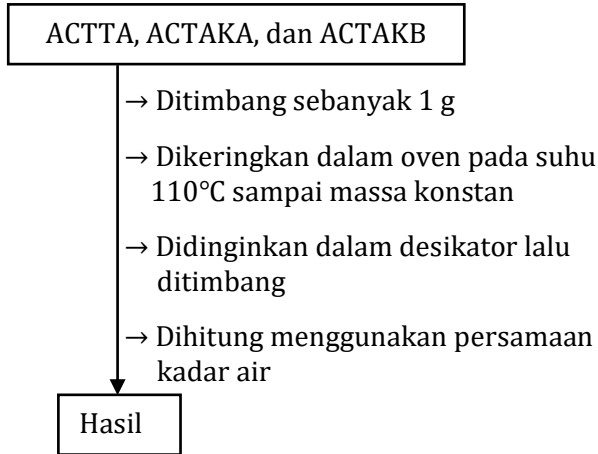
Cangkang Telur

- Dihaluskan masing-masing 33 gram cangkang telur menggunakan blender
- Diayak dengan *sieve shaker* 100 mesh dan dioven
- Difurnace dengan suhu 650°C selama 3 jam
- Direndam ke dalam 100 mL larutan HCl dan NaOH pada konsentrasi 3 M hingga cangkang telur terendam selama 24 jam
- Diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 3 jam.
- Disaring dan dibilas dengan akuades sampai pH netral
- Dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 3 jam
- Didiamkan pada suhu ruang dan disimpan dalam desikator
- Diberi kode ACTAKA untuk aktivasi asam dan ACTAKB untuk aktivasi basa
- Dilakukan uji FTIR, SEM, dan uji XRD (uji XRD hanya untuk ACTAKB)

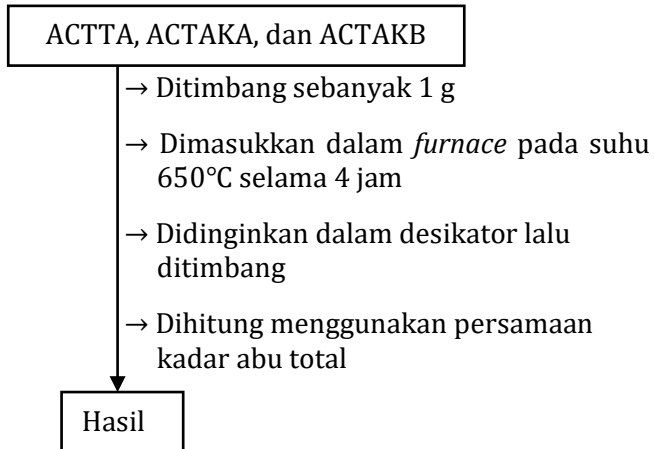
Hasil

4. Karakterisasi Adsorben Cangkang Telur

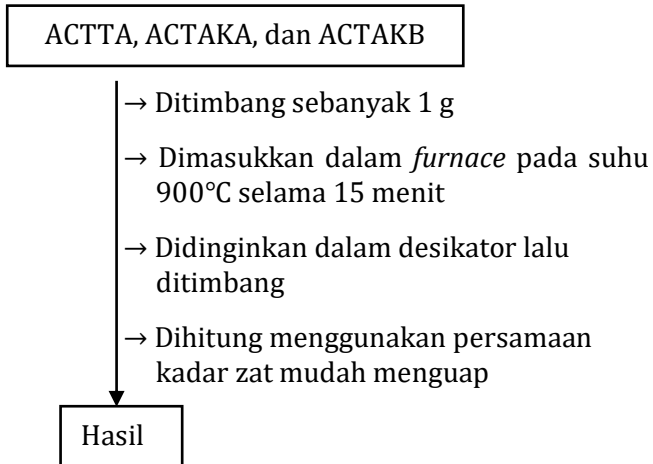
a. Uji Kadar Air



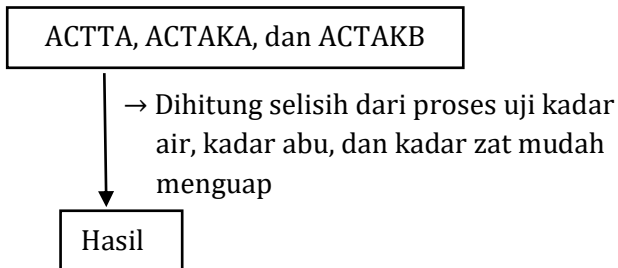
b. Uji Kadar Abu Total



c. Uji Kadar Zat Mudah Menguap



d. Uji Kadar Karbon Terikat



5. Penentuan Kondisi Optimum

a. pH Optimum

ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB

- Ditimbang sebanyak 0,1 gram
- Dimasukkan 50 mL larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dengan konsentrasi 100 ppm
- Diatur kondisinya dengan variasi pH 3, 4, 5, dan 6
- Dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit
- Disaring dengan kertas saring
- Diukur absorbansi dengan spektrofotometer serapan atom (SSA)
- Dihitung kapasitas adsorpsi (Q) menggunakan persamaan (2.2)

Hasil

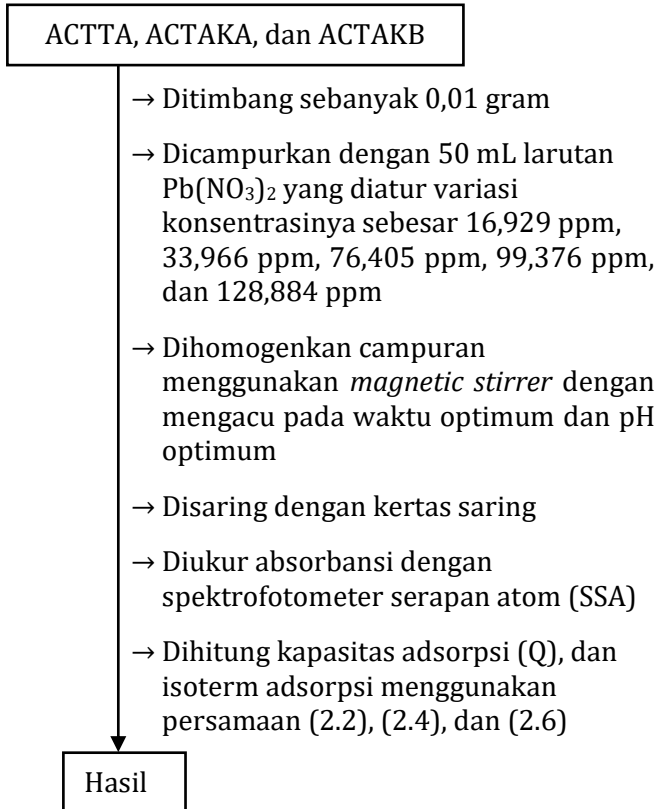
b. Waktu adsorpsi Optimum

ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB

- Ditimbang sebanyak 0,1 gram
- Dicampurkan dengan 50 mL larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dengan konsentrasi 100 ppm ke dalam gelas beker dan menggunakan pH optimum
- Dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* dengan variasi waktu 30, 60, 90, 120, dan 150 menit
- Disaring dengan kertas saring
- Diukur absorbansi dengan spektrofotometer serapan atom (SSA)
- Dihitung kapasitas adsorpsi (Q), dan kinetika adsorpsi menggunakan persamaan (2.2), (2.8), dan (2.10)

Hasil

c. **Konsentrasi Adsorpsi Optimum Ion Logam Pb²⁺**



Lampiran 3 Data Hasil Percobaan

a. Data Pengujian Adsorben Cangkang Telur Ayam

Pengujian	ACTTA	ACTAKA	ACTAKB
Kadar Air	9%	1%	1%
Kadar Abu Total	2%	4%	3%
Kadar Zat Mudah Menguap	0,82%	0,99%	0,86%
Kadar Karbon Terikat	88,18%	95,14%	94,01%

b. Data Optimasi pH

Tabel L.1 Data optimasi variasi pH

Jenis Adsorben	pH	Massa adsorben (g)	Volume larutan (mL)	C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)
ACTTA	3	0,1	50	93,787	1,1405	46,3232
	4	0,1	50	93,787	1,0992	46,3439
	5	0,1	50	93,787	0,9838	46,4016
	6	0,1	50	93,787	0,9216	46,4327
ACTAKA	3	0,1	50	93,787	1,2472	46,2699
	4	0,1	50	93,787	1,1078	46,3396
	5	0,1	50	93,787	1,1027	46,3421
	6	0,1	50	93,787	0,9348	46,4261
ACTAKB	3	0,1	50	93,787	1,1136	46,3367
	4	0,1	50	93,787	1,1005	46,3432
	5	0,1	50	93,787	0,9684	46,4093
	6	0,1	50	93,787	0,9070	46,44

c. Data Optimasi Waktu Kontak

Tabel L.2 Data optimasi waktu kontak

Jenis Adsorben	Waktu Kontak (menit)	Massa adsorben (g)	Volume larutan (mL)	C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)
ACTTA	30	0,1	50	79,374	0,9985	39,1877
	60	0,1	50	79,374	1,0272	39,1734
	90	0,1	50	79,374	1,0528	39,1606
	120	0,1	50	79,374	1,0569	39,1585
	150	0,1	50	79,374	1,0204	39,1768
ACTAKA	30	0,1	50	79,374	1,3162	39,0289
	60	0,1	50	79,374	1,1245	39,1247
	90	0,1	50	79,374	1,1215	39,1262
	120	0,1	50	79,374	1,2376	39,0682
	150	0,1	50	79,374	1,1570	39,1085
ACTAKB	30	0,1	50	79,374	1,0843	39,1453
	60	0,1	50	79,374	1,0827	39,1456
	90	0,1	50	79,374	1,0363	39,1688
	120	0,1	50	79,374	1,0175	39,1782
	150	0,1	50	79,374	1,0936	39,1402

d. Data Optimasi Konsentrasi Ion Logam Pb²⁺

Tabel L.3 Data optimasi konsentrasi

Jenis Adsorben	Konsentrasi (ppm)	Massa adsorben (g)	Volume larutan (mL)	C ₀ (mg/L)	C _e (mg/L)	Q _e (mg/g)
ACTTA	16,929	0,1	50	16,929	3,496	67,16
	33,966	0,1	50	33,966	0	169,83
	76,405	0,1	50	76,405	0	382,02
	99,376	0,1	50	99,376	8,969	452,03
	128,884	0,1	50	128,884	26,890	509,97
ACTAKA	16,929	0,1	50	16,929	0,257	83,36
	33,966	0,1	50	33,966	0	169,83
	76,405	0,1	50	76,405	0	382,02
	99,376	0,1	50	99,376	7,909	457,33
	128,884	0,1	50	128,884	21,830	535,27
ACTAKB	16,929	0,1	50	16,929	0,684	81,22
	33,966	0,1	50	33,966	0	169,83
	76,405	0,1	50	76,405	0	382,02
	99,376	0,1	50	99,376	7,875	457,50
	128,884	0,1	50	128,884	21,538	536,73

Lampiran 4 Perhitungan Analisa Data

a. Perhitungan Pembuatan Larutan HCl 3M Sebanyak 100

mL

$$\begin{aligned}M &= \frac{10 \times \% \times \rho}{Mr \text{ HCl}} \\ &= \frac{10 \times 37 \times 1,19}{36,5} \\ &= 12,06\end{aligned}$$

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

$$12,06M \times V_1 = 3M \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{300}{12,06} = 24,9\%$$

b. Perhitungan Pembuatan Larutan NaOH 1M Sebanyak 50

mL

$$M = \frac{\text{mol}}{V}$$

$$\text{mol} = M \times V$$

$$= 1 \text{ M} \times 0,05 \text{ L}$$

$$= 0,05 \text{ mol}$$

$$\text{massa} = \text{mol} \times Mr$$

$$= 0,05 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol}$$

$$= 2 \text{ g}$$

c. Perhitungan Pembuatan Larutan NaOH 3M Sebanyak

100 mL

$$M = \frac{\text{mol}}{V}$$

$$\text{mol} = M \times V$$

$$= 3 \text{ M} \times 0,1 \text{ L}$$

$$= 0,3 \text{ mol}$$

$$\text{massa} = \text{mol} \times \text{Mr}$$

$$= 0,3 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol}$$

$$= 12 \text{ g}$$

d. Perhitungan Pembuatan Larutan Ion Logam Pb²⁺

1. Pembuatan Larutan Induk 1000 ppm dalam 1L

$$\begin{aligned} \text{Massa Pb(NO}_3)_2 &= \frac{\text{M} \times \text{V} \times \text{Mr Pb(NO}_3)_2}{\text{Ar Pb}} \\ &= \frac{1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1 \text{ L} \times 331 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{207 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \\ &= 1.599 \text{ mg} \\ &= 1,599 \text{ g} \end{aligned}$$

2. Pengenceran Larutan

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

Keterangan:

M₁ = Konsentrasi larutan induk (1000 ppm)

M₂ = Konsentrasi yang diinginkan (ppm)

V₁ = Volume larutan yang akan diambil (mL)

V₂ = Volume setelah pengenceran (mL)

a) Larutan ion logam Pb²⁺ 16,929 ppm

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

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 16,929 \text{ ppm} \times 250 \text{ mL}$$

$$V_1 = 4,23 \text{ mL}$$

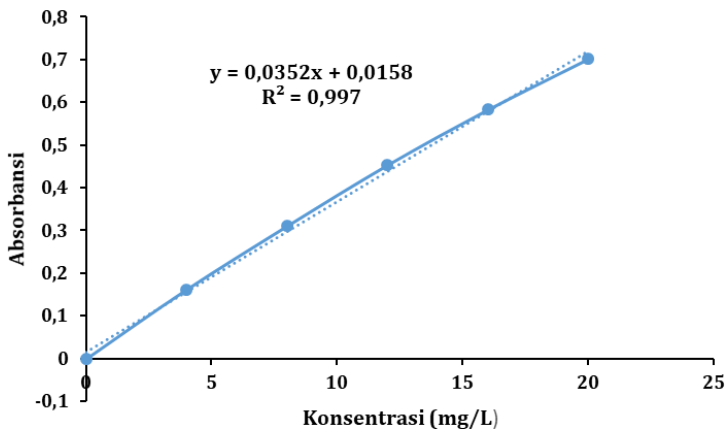
- b) Larutan ion logam Pb^{2+} 33,966 ppm
 $M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$
 $1000 \text{ ppm} \times V_1 = 33,966 \text{ ppm} \times 250 \text{ mL}$
 $V_1 = 8,49 \text{ mL}$
- c) Larutan ion logam Pb^{2+} 76,405 ppm
 $M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$
 $1000 \text{ ppm} \times V_1 = 76,405 \text{ ppm} \times 250 \text{ mL}$
 $V_1 = 19,10 \text{ mL}$
- d) Larutan ion logam Pb^{2+} 99,376 ppm
 $M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$
 $1000 \text{ ppm} \times V_1 = 99,376 \text{ ppm} \times 250 \text{ mL}$
 $V_1 = 24,84 \text{ mL}$
- e) Larutan ion logam Pb^{2+} 100 ppm
 $M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$
 $1000 \text{ ppm} \times V_1 = 100 \text{ ppm} \times 1000 \text{ mL}$
 $V_1 = 100 \text{ mL}$
- f) Larutan ion logam Pb^{2+} 128,884 ppm
 $M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$
 $1000 \text{ ppm} \times V_1 = 128,884 \text{ ppm} \times 250 \text{ mL}$
 $V_1 = 32,22 \text{ mL}$

b. Kurva standar ion logam Pb²⁺

Tabel L.4 Kurva standar ion logam Pb²⁺

Konsentrasi larutan standar ion logam Pb ²⁺ (mg/L)	Nilai absorbansi
0	-0,002
4	0,161
8	0,310
12	0,453
16	0,583
20	0,702

Tabel L.4 dapat dibuat grafik kurva standar ion logam Pb²⁺ yang dapat dilihat pada Gambar L.1



Gambar L.1 Grafik kurva standar ion logam Pb²⁺

c. Pengujian Adsorben Cangkang Telur Ayam

1. Uji Kadar Air

$$\text{Kadar air} = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100\%$$

Di mana W_1 = Cawan kosong (g)

W_2 = Cawan + sampel sebelum
dipanaskan (g)

W_3 = Cawan + sampel sesudah
dipanaskan (g)

a) ACTTA

$$\text{Kadar air} = \frac{33,65 - 33,56}{33,65 - 32,65} \times 100\% = 9\%$$

b) ACTAKA

$$\text{Kadar air} = \frac{34,90 - 34,89}{34,90 - 33,90} \times 100\% = 1\%$$

c) ACTAKB

$$\text{Kadar air} = \frac{35,12 - 35,11}{35,12 - 34,12} \times 100\% = 1\%$$

2. Uji Kadar Abu Total

$$\text{Kadar abu total} = \frac{W_2 - W_1}{W_3} \times 100\%$$

Di mana W_1 = Cawan + sampel sebelum dipanaskan
(g)

W_2 = Cawan + sampel sesudah dipanaskan
(g)

W_3 = berat sampel adsorben (g)

a) ACTTA

$$\text{Kadar abu total} = \frac{47,48-47,46}{1} \times 100\% = 2\%$$

b) ACTAKA

$$\text{Kadar abu total} = \frac{48,54-48,51}{1} \times 100\% = 3\%$$

c) ACTAKB

$$\text{Kadar abu total} = \frac{42,10-42,06}{1} \times 100\% = 4\%$$

3. Uji Kadar Zat Menguap

$$\text{Kadar zat mudah menguap} = \frac{(b-c)}{b} \times 100\%$$

Di mana b = massa bahan awal (g)

c = massa setelah pemanasan (g)

a) ACTTA

$$\text{Kadar zat mudah menguap} = \frac{(47,47-47,08)}{47,47} \times 100\% = 0,82\%$$

b) ACTAKA

$$\text{adar zat mudah menguap} = \frac{(48,51-48,09)}{48,51} \times 100\% = 0,86\%$$

c) ACTAKB

$$\text{Kadar zat mudah menguap} = \frac{(42,06-41,64)}{42,06} \times 100\% = 0,99\%$$

4. Uji Karbon Terikat

Kadar karbon terikat = 100% - (kadar air + kadar abu total + kadar zat mudah menguap)

a) ACTTA

$$\begin{aligned}\text{Kadar karbon terikat} &= 100\% - (9 + 2 + 0,82)\% \\ &= 88,18\%\end{aligned}$$

b) ACTAKA

$$\begin{aligned}\text{Kadar karbon terikat} &= 100\% - (1 + 3 + 0,86)\% \\ &= 95,14\%\end{aligned}$$

c) ACTAKB

$$\begin{aligned}\text{Kadar karbon terikat} &= 100\% - (1 + 4 + 0,99)\% \\ &= 94,01\%\end{aligned}$$

e. Perhitungan Penentuan Kondisi Optimum

$$\text{Rumus Kapasitas adsorpsi (Qe)} = \frac{C_o - C_t}{W} \times V$$

Ket: C_o = konsentrasi awal larutan uji (ppm)

C_t = konsentrasi akhir larutan uji (ppm)

W = massa adsorben (g)

V = volume larutan (L)

1. Variasi pH ACTTA

a) pH 3

$$\begin{aligned}Q_e &= \frac{93,787 \text{ ppm} - 1,1405 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L} \\ &= 46,3232 \text{ mg/g}\end{aligned}$$

b) pH 4

$$Q_e = \frac{93,787 \text{ ppm} - 1,0992 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 46,3439 \text{ mg/g}$$

c) pH 5

$$Q_e = \frac{93,787 \text{ ppm} - 0,9838 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 46,4016 \text{ mg/g}$$

d) pH 6

$$Q_e = \frac{93,787 \text{ ppm} - 0,9216 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 46,4327 \text{ mg/g}$$

2. Variasi pH ACTAKA

a) pH 3

$$Q_e = \frac{93,787 \text{ ppm} - 1,2472 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 46,2699 \text{ mg/g}$$

b) pH 4

$$Q_e = \frac{93,787 \text{ ppm} - 1,1078 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 46,3396 \text{ mg/g}$$

c) pH 5

$$Q_e = \frac{93,787 \text{ ppm} - 1,1027 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 46,3421 \text{ mg/g}$$

d) pH 6

$$Q_e = \frac{93,787 \text{ ppm} - 0,9348 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 46,4261 \text{ mg/g}$$

3. Variasi pH ACTAKB

a) pH 3

$$Q_e = \frac{93,787 \text{ ppm} - 1,1136 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 46,3367 \text{ mg/g}$$

b) pH 4

$$Q_e = \frac{93,787 \text{ ppm} - 1,1005 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 46,3432 \text{ mg/g}$$

c) pH 5

$$Q_e = \frac{93,787 \text{ ppm} - 0,9684 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 46,4093 \text{ mg/g}$$

d) pH 6

$$Q_e = \frac{93,787 \text{ ppm} - 0,9070 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 46,44 \text{ mg/g}$$

4. Variasi Waktu Kontak ACTTA

a) 30 menit

$$Q_e = \frac{79,374 \text{ ppm} - 0,9985 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 39,1877 \text{ mg/g}$$

b) 60 menit

$$Q_e = \frac{79,374 \text{ ppm} - 1,0272 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 39,1734 \text{ mg/g}$$

c) 90 menit

$$Q_e = \frac{79,374 \text{ ppm} - 1,0528 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 39,1606 \text{ mg/g}$$

d) 120 menit

$$Q_e = \frac{79,374 \text{ ppm} - 1,0569 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 39,1585 \text{ mg/g}$$

e) 150 menit

$$Q_e = \frac{79,374 \text{ ppm} - 1,0204 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 39,1768 \text{ mg/g}$$

5. Variasi Waktu Kontak ACTAKA

a) 30 menit

$$Q_e = \frac{79,374 \text{ ppm} - 1,3162 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 39,0289 \text{ mg/g}$$

b) 60 menit

$$Q_e = \frac{79,374 \text{ ppm} - 1,1245 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 39,1247 \text{ mg/g}$$

c) 90 menit

$$Q_e = \frac{79,374 \text{ ppm} - 1,1215 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 39,1262 \text{ mg/g}$$

d) 120 menit

$$Q_e = \frac{79,374 \text{ ppm} - 1,2376 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 39,0682 \text{ mg/g}$$

e) 150 menit

$$Q_e = \frac{79,374 \text{ ppm} - 1,1570 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 39,1085 \text{ mg/g}$$

6. Variasi Waktu Kontak ACTAKB

a) 30 menit

$$Q_e = \frac{79,374 \text{ ppm} - 1,0834 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 39,1453 \text{ mg/g}$$

b) 60 menit

$$Q_e = \frac{79,374 \text{ ppm} - 1,0827 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 39,1456 \text{ mg/g}$$

c) 90 menit

$$Q_e = \frac{79,374 \text{ ppm} - 1,0363 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 39,1688 \text{ mg/g}$$

d) 120 menit

$$Q_e = \frac{79,374 \text{ ppm} - 1,0175 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 39,1782 \text{ mg/g}$$

e) 150 menit

$$Q_e = \frac{79,374 \text{ ppm} - 1,0936 \text{ ppm}}{0,1 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 39,1402 \text{ mg/g}$$

**7. Variasi Konsentrasi Optimum ion logam Pb²⁺
ACTTA**

a) 16,929 ppm

$$Q_e = \frac{16,929 \text{ ppm} - 3,496 \text{ ppm}}{0,01 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 67,16 \text{ mg/g}$$

b) 33,966 ppm

$$Q_e = \frac{33,966 \text{ ppm} - 0 \text{ ppm}}{0,01 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 169,83 \text{ mg/g}$$

c) 76,405 ppm

$$Q_e = \frac{76,405 \text{ ppm} - 0 \text{ ppm}}{0,01 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 382,02 \text{ mg/g}$$

d) 99,376 ppm

$$Q_e = \frac{99,376 \text{ ppm} - 8,969 \text{ ppm}}{0,01 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 452,03 \text{ mg/g}$$

e) 128,884 ppm

$$Q_e = \frac{128,884 \text{ ppm} - 26,890 \text{ ppm}}{0,01 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 509,97 \text{ mg/g}$$

8. Variasi Konsentrasi Optimum ion logam Pb²⁺

ACTAKA

a) 16,929 ppm

$$Q_e = \frac{16,929 \text{ ppm} - 0,257 \text{ ppm}}{0,01 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 83,36 \text{ mg/g}$$

b) 33,966 ppm

$$Q_e = \frac{33,966 \text{ ppm} - 0 \text{ ppm}}{0,01 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 169,83 \text{ mg/g}$$

c) 76,405 ppm

$$Q_e = \frac{76,405 \text{ ppm} - 0 \text{ ppm}}{0,01 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 382,02 \text{ mg/g}$$

d) 99,376 ppm

$$Q_e = \frac{99,376 \text{ ppm} - 7,909 \text{ ppm}}{0,01 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 457,33 \text{ mg/g}$$

e) 128,884 ppm

$$Q_e = \frac{128,884 \text{ ppm} - 21,830 \text{ ppm}}{0,01 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 535,27 \text{ mg/g}$$

**9. Variasi Konsentrasi Optimum ion logam Pb²⁺
ACTAKB**

a) 16,929 ppm

$$Q_e = \frac{16,929 \text{ ppm} - 0,684 \text{ ppm}}{0,01 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 81,22 \text{ mg/g}$$

b) 33,966 ppm

$$Q_e = \frac{33,966 \text{ ppm} - 0 \text{ ppm}}{0,01 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 169,83 \text{ mg/g}$$

c) 76,405 ppm

$$Q_e = \frac{76,405 \text{ ppm} - 0 \text{ ppm}}{0,01 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 382,02 \text{ mg/g}$$

d) 99,376 ppm

$$Q_e = \frac{99,376 \text{ ppm} - 7,875 \text{ ppm}}{0,01 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 457,50 \text{ mg/g}$$

e) 128,884 ppm

$$Q_e = \frac{128,884 \text{ ppm} - 21,538 \text{ ppm}}{0,01 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 536,73 \text{ mg/g}$$

f. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

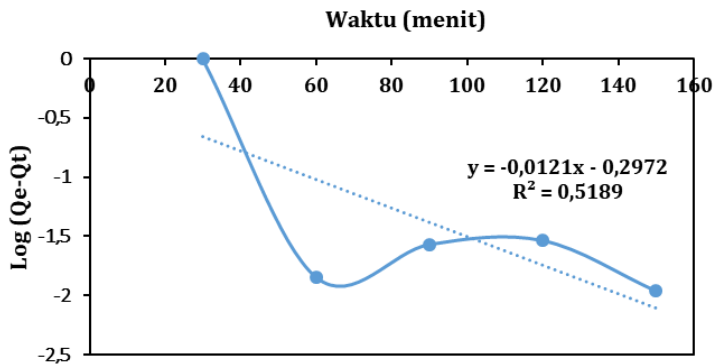
1. Pseudo Orde Satu

a) ACTTA

Tabel L.5 Data penentuan *pseudo* orde satu ACTTA

Waktu (menit)	Qt (mg/g)	Qe (mg/g)	Qe-Qt	Log (Qe-Qt)
30	39,1877	39,1877	0	0
60	39,1734	39,1877	0,0143	-1,84466396
90	39,1606	39,1877	0,0271	-1,56703071
120	39,1585	39,1877	0,0292	-1,53461715
150	39,1768	39,1877	0,0109	-1,9625735

Data pada Tabel L.5 dapat dibuat grafik kurva persamaan linear antara waktu vs Log (Qe-Qt) yang dapat dilihat pada Gambar L.2.



Gambar L.2 Grafik kurva *pseudo* orde satu ACTTA

$$y = ax + b$$

$$y = -0,0121x - 0,2972$$

$$\frac{K_1}{2,303} = a$$

$$\frac{K_1}{2,303} = -0,0121$$

$$= -0,0278$$

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

$$\text{Log } Q_e = 10^b$$

$$\text{Log } Q_e = 10^{-0,2972}$$

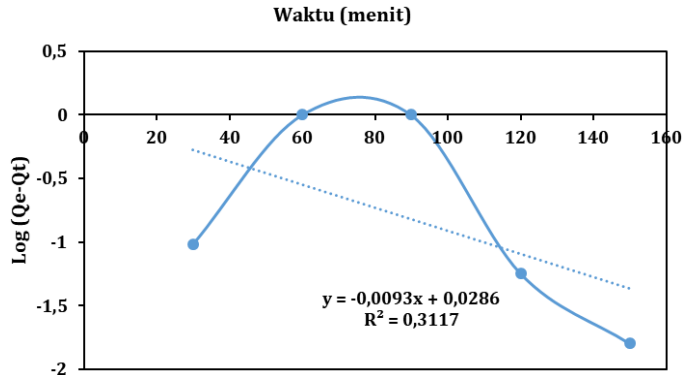
$$\text{Log } Q_e = 0,5044$$

b) ACTAKA

Tabel L.6 Data penentuan *pseudo* orde satu
ACTAKA

Waktu (menit)	Qt (mg/g)	Qe (mg/g)	Qe-Qt	Log (Qe-Qt)
30	39,029	39,125	0,096	-1,017728767
60	39,125	39,125	0	0
90	39,1262	39,125	-0,0012	0
120	39,068	39,125	0,057	-1,244125144
150	39,109	39,125	0,016	-1,795880017

Data pada Tabel L.6 dapat dibuat grafik kurva persamaan linear antara waktu vs Log (Qe-Qt) yang dapat dilihat pada Gambar L.3.



Gambar L.3 Grafik kurva *pseudo* orde satu ACTAKA

$$y = ax + b$$

$$y = -0,0093x + 0,0286$$

$$\frac{K_1}{2,303} = a$$

$$\frac{K_1}{2,303} = -0,0093$$

$$= -0,0214$$

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

$$\text{Log } Q_e = 10^b$$

$$\text{Log } Q_e = 10^{0,0286}$$

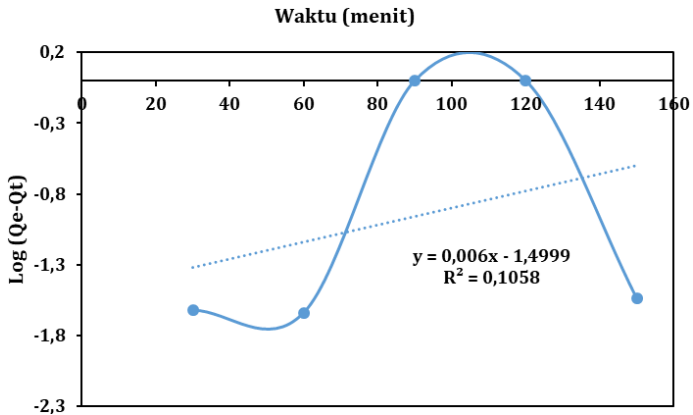
$$\text{Log } Q_e = 1,0680$$

c) ACTAKB

Tabel L.7 Data penentuan *pseudo* orde satu ACTAKB

Waktu (menit)	Qt (mg/g)	Qe (mg/g)	Qe-Qt	Log (Qe-Qt)
30	39,145	39,169	0,024	-1,619788758
60	39,146	39,169	0,023	-1,638272164
90	39,169	39,169	0	0
120	39,178	39,169	-0,009	0
150	39,14	39,169	0,029	-1,537602002

Data pada Tabel L.7 dapat dibuat grafik kurva persamaan linear antara waktu vs Log (Qe-Qt) yang dapat dilihat pada Gambar L.4.



Gambar L.4 Grafik kurva *pseudo* orde satu ACTAKB

$$y = ax + b$$

$$y = 0,006x + (-1,4999)$$

$$\frac{K_1}{2,303} = a$$

$$\frac{K_1}{2,303} = 0,006$$

$$= 0,0138$$

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

$$\text{Log } Q_e = 10^b$$

$$\text{Log } Q_e = 10^{(-1,4999)}$$

$$\text{Log } Q_e = 0,0316$$

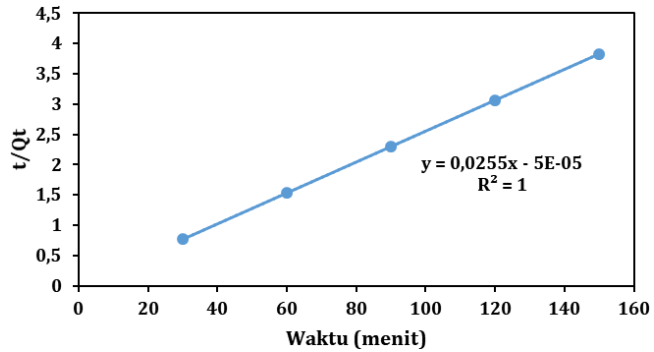
2. *Pseudo Orde dua*

a) ACTTA

Tabel L.8 Data penentuan *pseudo orde dua*
ACTTA

Waktu (menit)	Qt (mg/g)	t/Qt
30	39,188	0,76554
60	39,173	1,531667
90	39,161	2,298205
120	39,159	3,06443
150	39,177	3,828777

Data pada Tabel L.8 dapat dibuat grafik kurva persamaan linear antara waktu vs t/Qt yang dapat dilihat pada Gambar L.5.



Gambar L.5 Grafik kurva *pseudo* orde dua ACTTA

$$y = ax + b$$

$$y = 0,0255x + (-0,00005)$$

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

$$\frac{1}{Q_e} = 0,0255$$

$$Q_e = \frac{1}{0,0255}$$

$$= 39,2156$$

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

$$\frac{1}{k_2 \cdot 39,2156^2} = -0,00005$$

$$k_2 = \frac{1}{-0,00005 \times 39,2156^2}$$

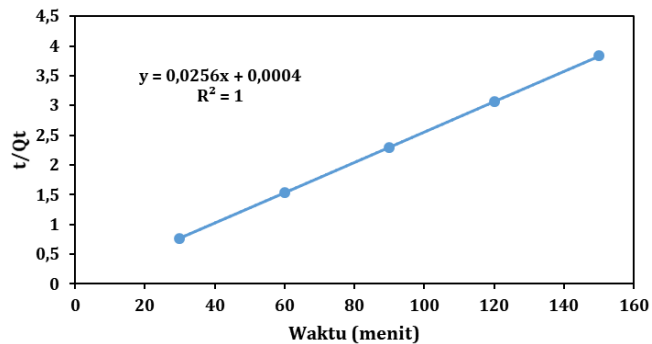
$$= -13,0050$$

b) ACTAKA

Tabel L.9 Data penentuan *pseudo* orde dua
ACTAKA

Waktu (menit)	Qt (mg/g)	t/Qt
30	39,029	0,7686592
60	39,125	1,53354633
90	39,1262	2,30024894
120	39,068	3,07156752
150	39,109	3,8354343

Data pada Tabel L.9 dapat dibuat grafik kurva persamaan linear antara waktu vs t/Qt yang dapat dilihat pada Gambar L.6.



Gambar L.6 Grafik kurva *pseudo* orde dua
ACTAKA

$$y = ax + b$$

$$y = 0,0256x + 0,0004$$

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

$$\frac{1}{Q_e} = 0,0256$$

$$Q_e = \frac{1}{0,0256}$$

$$= 39,0625$$

$$\frac{1}{k_2 \cdot Qe^2} = b$$

$$\frac{1}{k_2 \cdot 39,0625^2} = 0,0004$$

$$k_2 = \frac{1}{0,0004 \times 39,0625^2}$$

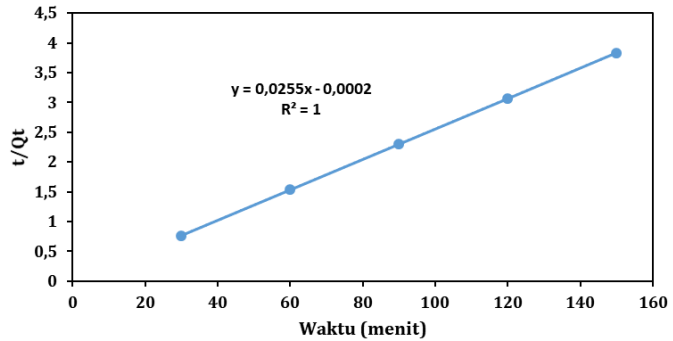
$$= 1,6384$$

c) ACTAKB

Tabel L.10 Data penentuan *pseudo* orde dua
ACTAKB

Waktu (menit)	Qt (mg/g)	t/Qt
30	39,145	0,7663814
60	39,146	1,53272365
90	39,169	2,29773545
120	39,178	3,06294349
150	39,14	3,83239653

Data pada Tabel L.9 dapat dibuat grafik kurva persamaan linear antara waktu vs t/Qt yang dapat dilihat pada Gambar L.7.



Gambar L.7 Grafik kurva *pseudo* orde dua

ACTAKB

$$y = ax + b$$

$$y = 0,0255x + (-0,0002)$$

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

$$\frac{1}{Q_e} = 0,0255$$

$$Q_e = \frac{1}{0,0255}$$

$$= 39,2156$$

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

$$\frac{1}{k_2 \cdot 39,2156^2} = -0,0002$$

$$k_2 = \frac{1}{-0,0002 \times 39,2156^2}$$

$$= -3,2512$$

g. Perhitungan Isoterm Adsorpsi

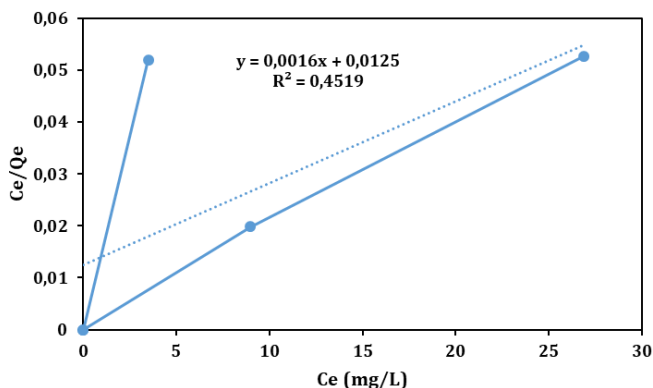
1. Isoterm Langmuir

a) ACTTA

Tabel L.11 Data penentuan isoterm Langmuir
ACTTA

Konsentrasi (ppm)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Ce/Qe
16,929	3,496	67,16	0,052054795
33,966	0	169,83	0
76,405	0	382,02	0
99,376	8,969	452,03	0,019841603
128,884	26,890	509,97	0,052728592

Data pada Tabel L.11 dapat dibuat kurva persamaan linear antara Ce vs Ce/Qe. Kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar L.8.



Gambar L.8 Grafik kurva isoterm Langmuir
ACTTA

$$y = ax + b$$

$$= 0,0016x + 0,0125$$

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

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

$$\frac{1}{0,0016} = Q_{max}$$

$$Q_{max} = 625$$

$$\frac{1}{K_1 \cdot Q_{max}} = b$$

$$\frac{1}{K_1 \cdot 625} = 0,0125$$

$$K_1 = \frac{80}{625}$$

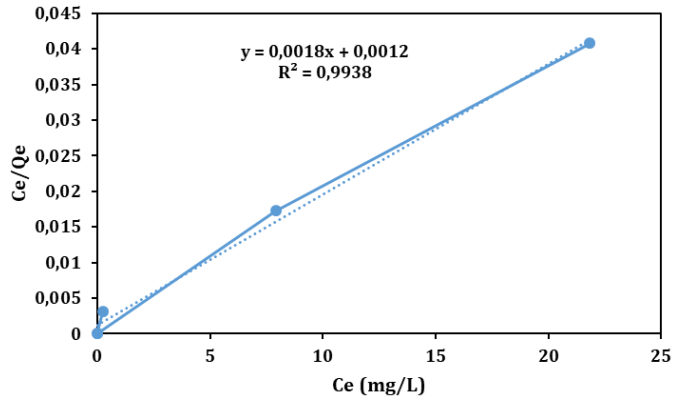
$$K_1 = 0,128$$

b) ACTAKA

Tabel L.12 Data penentuan isoterm Langmuir
ACTAKA

Konsentrasi (ppm)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Ce/Qe
16,929	0,257	83,36	0,003083013
33,966	0	169,83	0
76,405	0	382,02	0
99,376	7,909	457,33	0,017293858
128,884	21,830	535,27	0,040783156

Data pada Tabel L.12 dapat dibuat kurva persamaan linear antara Ce vs Ce/Qe. Kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar L.9.



Gambar L.9 Grafik kurva isoterm Langmuir
ACTAKA

$$y = ax + b$$

$$= 0,0018x + 0,0012$$

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

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

$$\frac{1}{0,0018} = Q_{max}$$

$$Q_{max} = 555,56$$

$$\frac{1}{K_1 \cdot Q_{max}} = b$$

$$\frac{1}{K_1 \cdot 555,56} = 0,0012$$

$$K_1 = \frac{833,33}{555,56}$$

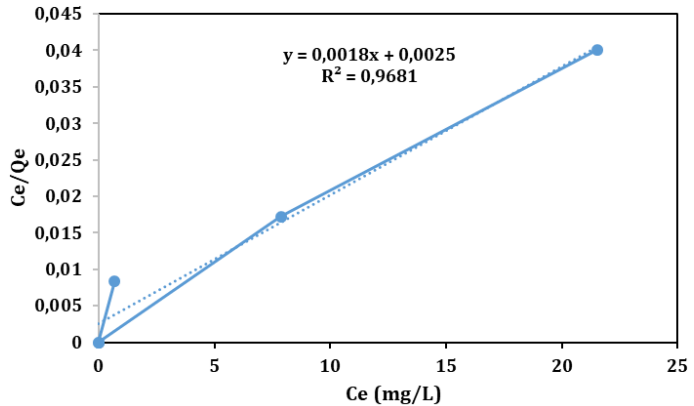
$$K_1 = 1,499$$

c) ACTAKB

Tabel L.13 Data penentuan isoterm Langmuir
ACTAKB

Konsentrasi (ppm)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Ce/Qe
16,929	0,684	81,22	0,008421571
33,966	0	169,83	0
76,405	0	382,02	0
99,376	7,875	457,50	0,017213115
128,884	21,538	536,73	0,040128184

Data pada Tabel L.13 dapat dibuat kurva persamaan linear antara Ce vs Ce/Qe. Kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar L.10.



Gambar L.10 Grafik kurva isoterm Langmuir
ACTAKB

$$y = ax + b$$

$$= 0,0018x + 0,0025$$

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

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

$$\frac{1}{0,0018} = Q_{\max}$$

$$Q_{\max} = 555,56$$

$$\frac{1}{K_1 \cdot Q_{\max}} = b$$

$$\frac{1}{K_1 \cdot 555,56} = 0,0025$$

$$K_1 = \frac{400}{555,56}$$

$$K_1 = 0,719$$

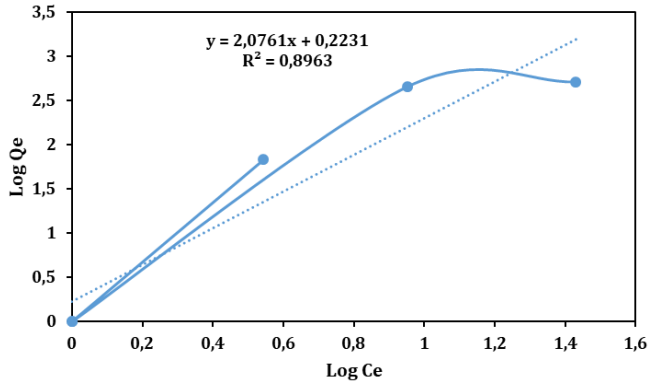
2. Isoterm Freundlich

a) ACTTA

Tabel L.14 Data penentuan isoterm Freundlich
ACTTA

Konsentrasi (ppm)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Log Ce	Log Qe
16,929	3,496	67,16	0,543571424	1,827110687
33,966	0	169,83	0	0
76,405	0	382,02	0	0
99,376	8,969	452,03	0,952744024	2,655167259
128,884	26,890	509,97	1,429590802	2,707544629

Data pada Tabel L.14 dapat dibuat kurva persamaan linear antara Ce vs Ce/Qe. Kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar L.11.



Gambar L.11 Grafik kurva isotherm Freundlich ACTTA

$$y = ax + b$$

$$= 2,0761x + 0,2231$$

$$\text{Log } K_2 = b$$

$$\text{Log } K_2 = 0,2231$$

$$K_2 = 10^{0,2231}$$

$$K_2 = 1,671$$

$$1/n = a$$

$$1/n = 2,0761$$

$$n = 1/2,0761$$

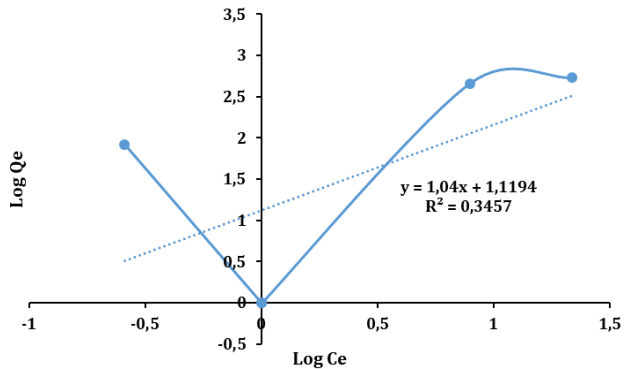
$$n = 0,481$$

b) ACTAKA

Tabel L.15 Data penentuan isoterm Freundlich
ACTAKA

Konsentrasi (ppm)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Log Ce	Log Qe
16,929	0,257	83,36	-0,59006688	1,920957706
33,966	0	169,83	0	0
76,405	0	382,02	0	0
99,376	7,909	457,33	0,898121576	2,660229691
128,884	21,830	535,27	1,339053736	2,728572903

Data pada Tabel L.15 dapat dibuat kurva persamaan linear antara $\log C_e$ vs $\log C_e/Q_e$. Kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar L.12.



Gambar L.12 Grafik kurva isoterm Freundlich
ACTAKA

$$y = ax + b$$

$$= 1,04x + 1,1194$$

$$\log K_2 = b$$

$$\log K_2 = 1,1194$$

$$K_2 = 10^{1,1194}$$

$$K_2 = 13,164$$

$$1/n = a$$

$$1/n = 1,04$$

$$n = 1/ 1,04$$

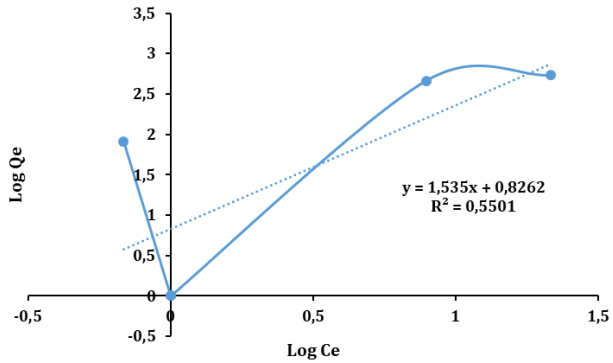
$$n = 0,961$$

c) ACTAKB

Tabel L.16 Data penentuan isoterm Freundlich
ACTAKB

Konsentrasi (ppm)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Log Ce	Log Qe
16,929	0,684	81,22	-0,16494389	1,909662985
33,966	0	169,83	0	0
76,405	0	382,02	0	0
99,376	7,875	457,50	0,896250562	2,660391098
128,884	21,538	536,73	1,333205373	2,72975587

Data pada Tabel L.16 dapat dibuat kurva persamaan linear antara Ce vs Ce/Qe. Kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar L.13.



Gambar L.13 Grafik kurva isoterm Freundlich
ACTAKB

$$y = ax + b$$

$$= 1,535x + 0,8262$$

$$\text{Log } K_2 = b$$

$$\text{Log } K_2 = 0,8262$$

$$K_2 = 10^{0,8262}$$

$$K_2 = 6,701$$

$$1/n = a$$

$$1/n = 1,535$$

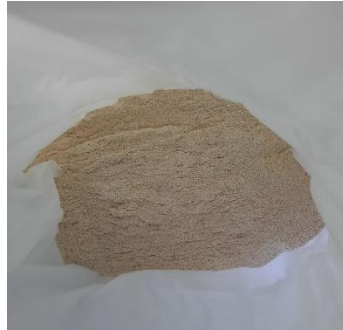
$$n = 1/1,535$$

$$n = 0,651$$

Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian



Cangkang telur ayam



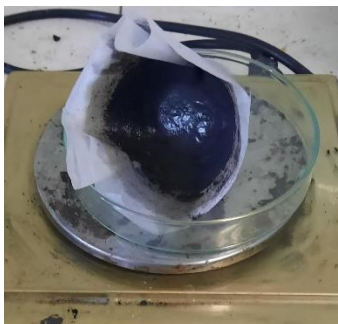
Cangkang telur ayam
setelah dihaluskan



Aktivasi cangkang telur ayam



Penyaringan adsorben
setelah aktivasi



Adsorben setelah penyaringan



Adsorben setelah dikeringkan



Penimbangan padatan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

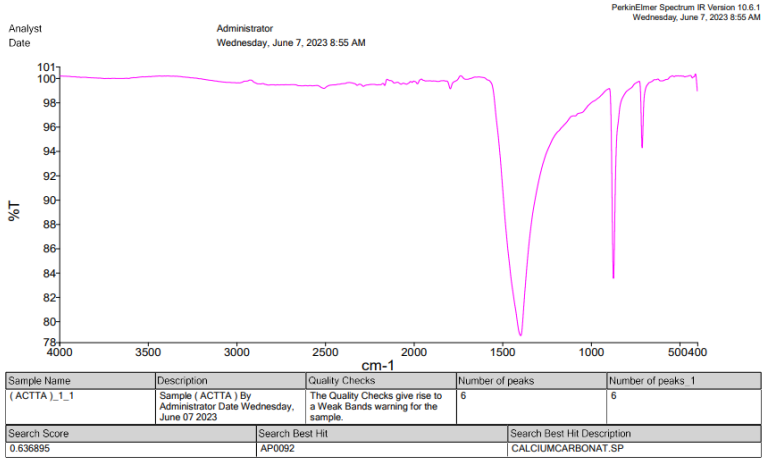


Uji adsorpsi ion logam Pb^{2+} oleh ACTTA, ACTAKA, dan ACTAKB

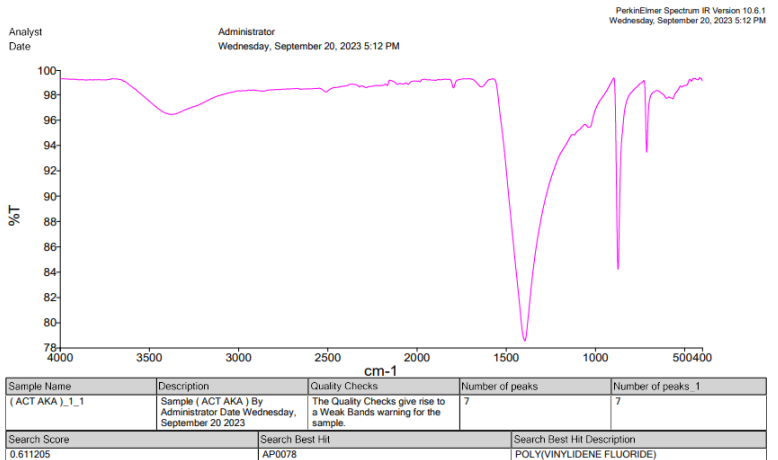
Lampiran 6 Hasil Karakterisasi Penelitian

a. Hasil Karakterisasi FTIR

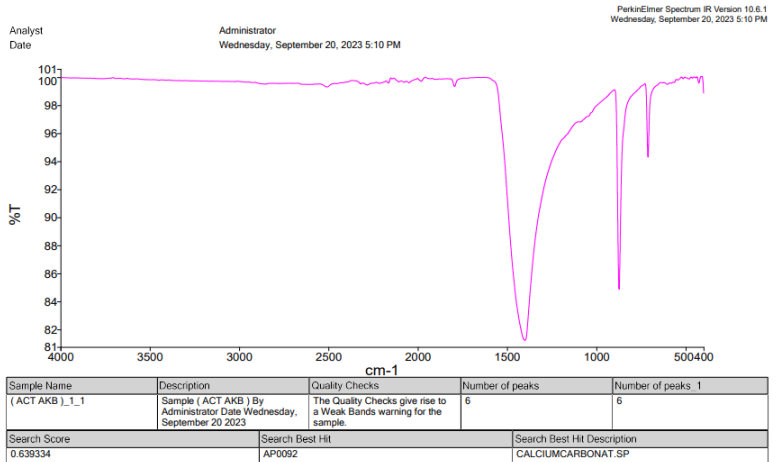
1. ACTTA



2. ACTAKA

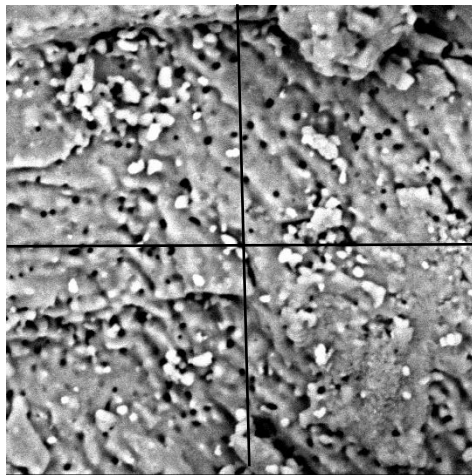


3. ACTAKB



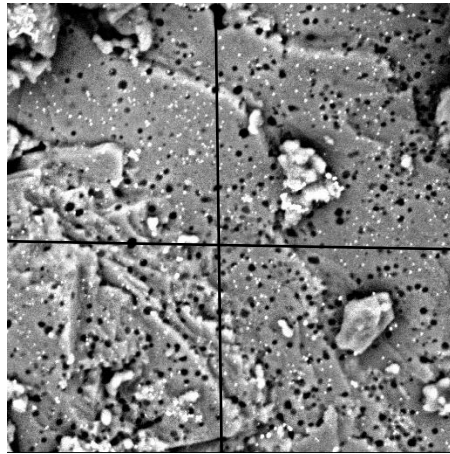
b. Hasil Karakterisasi SEM

1. ACTTA



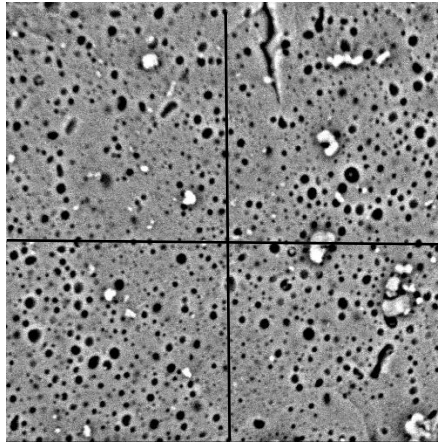
	Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1		0.018	4.880	0.000	63.000	41.820	0.662
2		0.023	15.327	0.000	177.000	-41.348	0.865
3		0.013	6.556	0.000	37.551	-47.121	0.496
4		0.009	3.549	0.000	30.000	-38.660	0.333
5		0.011	3.906	0.000	47.000	-42.274	0.386
6		0.023	14.371	0.000	133.000	-45.000	0.845
7		0.011	7.738	1,14E-10	66.000	-36.870	0.390
8		0.011	21.247	1,14E-10	90.000	-42.274	0.386
9		0.013	19.581	0.000	94.000	-62.103	0.500
10		0.014	22.753	0.000	101.000	-49.086	0.516

2. ACTAKA



	Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1		0.015	33.686	0.048	129.000	-79.216	0.563
2		0.013	16.240	0.000	77.000	-77.471	0.485
3		0.006	25.568	0.000	83.000	-156.801	0.200
4		0.014	2.686	0.000	20.022	-141.340	0.505
5		0.008	29.067	1.942	114.000	-138.814	0.280
6		0.004	6.767	0.000	36.000	-68.199	0.142
7		0.009	31.949	2.000	97.000	-114.444	0.318
8		0.012	26.471	0.000	126.000	180.000	0.421
9		0.007	19.868	0.222	101.000	-116.565	0.235
10		0.015	23.994	0.070	167.000	-69.775	0.533

3. ACTAKB



	Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1		0.010	12.927	0.000	72.000	-50.711	0.367
2		0.017	43.117	0.000	162.000	-78.232	0.633
3		0.017	23.658	0.000	167.000	-96.843	0.650
4		0.013	8.162	0.000	85.000	-70.560	0.465
5		0.009	14.367	0.000	95.000	-71.565	0.326
6		0.016	5.828	0.000	75.000	9.866	0.602
7		0.018	4.355	0.000	41.000	-119.476	0.682
8		0.014	11.321	0.000	86.000	-87.138	0.517
9		0.006	2.278	0.000	13.000	-82.875	0.208
10		0.011	19.358	0.000	105.000	-82.405	0.391

c. Hasil Karakterisasi AAS



Operator Name: MUCHIS

Results File: C:\SCLAAAR\MDATA\Logan Cu\Uji Pb TARA 06122023 2.SLR



Report Date: 06/12/2023 13:19:27

Method : Uji Pb 21422
 Autosampler : None
 Use SFI: No

General Parameters

Operator : MUCHIS

Instrument Mode: Flame

Dilution: None

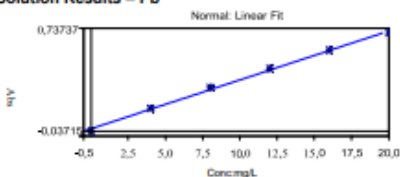
Analysis Details

Analyst Name: Analista 3 06/12/2023
 Operator Name: MUCHIS

Spectrometer: ICE 3000 AA05194702 v1.30

Y = 0.03510x + 0.0159
 Fit: 0.9970
 Characteristic Conc: 0.1250

Solution Results - Pb



Sample ID	Signal Abs	Rad %	Conc mg/L	Corrected Conc mg/L
Pb Blank	-0.002	31.9	0,0000	
1	-0.001	Background: -0.001		06/12/2023 12:59:18
2	-0.002	Background: -0.001		06/12/2023 12:59:22
3	-0.003	Background: -0.002		06/12/2023 12:59:27
Pb Standard 1	0.161	0.6	4,0000	
1	0.162	Background: -0.001		06/12/2023 12:59:49
2	0.161	Background: -0.001		06/12/2023 12:59:54
3	0.160	Background: -0.001		06/12/2023 12:59:58
Pb Standard 2	0.310	0.5	8,0000	
1	0.311	Background: -0.000		06/12/2023 13:00:23
2	0.312	Background: -0.001		06/12/2023 13:00:27
3	0.309	Background: -0.000		06/12/2023 13:00:31
Pb Standard 3	0.453	0.4	12,0000	
1	0.453	Background: 0,000		06/12/2023 13:01:00
2	0.454	Background: 0,000		06/12/2023 13:01:04
3	0.451	Background: 0,000		06/12/2023 13:01:09
Pb Standard 4	0.583	0.3	16,0000	
1	0.581	Background: 0,001		06/12/2023 13:01:30
2	0.584	Background: 0,000		06/12/2023 13:01:35
3	0.583	Background: -0,000		06/12/2023 13:01:39
Pb Standard 5	0.702	0.3	20,0000	
1	0.700	Background: 0,001		06/12/2023 13:02:02
2	0.704	Background: 0,000		06/12/2023 13:02:06
3	0.703	Background: 0,000		06/12/2023 13:02:10
Pb Pb 30ppm 10X	0.075	1.4	1,6929	1,6929
1	0.074	Background: -0.001		06/12/2023 13:02:36
2	0.075	Background: -0.002		06/12/2023 13:02:40
3	0.077	Background: -0.002		06/12/2023 13:02:45

SOLAAR AA Report

Operation Name: MICHAE

Report Date: 06/12/2023 13:16:27

Results File: C:\SOLAAR\DATA\loggen\ColV\Fs 1AA 06122023 2.BLR

Solution Results - Pb

Sample ID	Signal	Std	Conc	Corrected Conc
	Abs	%	mg/L	mg/L
Pb ACTAKR 10 ppm Uls	0.018	0.7	0.0004	0.0004
1	0.018	Background -0.000		06/12/2023 13:16:27
2	0.018	Background -0.000		06/12/2023 13:16:01
3	0.018	Background -0.000		06/12/2023 13:16:06
Pb Pb 80ppm Uls	0.128	0.3	3.0000	3.0000
1	0.128	Background -0.001		06/12/2023 13:06:00
2	0.128	Background -0.002		06/12/2023 13:06:04
3	0.128	Background -0.001		06/12/2023 13:06:09
Pb ACTAKR 80ppm Uls	0.004	0.8	0.3400	0.3400
1	0.004	Background -0.001		06/12/2023 13:06:32
2	0.003	Background -0.001		06/12/2023 13:06:36
3	0.003	Background -0.000		06/12/2023 13:06:41
Pb Pb 80ppm Uls	0.284	0.2	7.0000	7.0000
1	0.284	Background -0.001		06/12/2023 13:06:22
2	0.283	Background -0.000		06/12/2023 13:06:26
3	0.284	Background -0.001		06/12/2023 13:06:31
Pb ACTAKR 80ppm Uls	0.001	40.8	0.4120	0.4120
1	0.002	Background -0.002		06/12/2023 13:06:04
2	0.001	Background -0.002		06/12/2023 13:06:08
3	0.001	Background -0.002		06/12/2023 13:06:12
Pb Pb 120ppm Uls	0.260	0.4	9.0000	9.0000
1	0.261	Background -0.000		06/12/2023 13:06:44
2	0.260	Background -0.000		06/12/2023 13:06:48
3	0.260	Background -0.001		06/12/2023 13:06:52
Pb ACTAKR 120ppm Uls	0.044	0.8	0.7000	0.7000
1	0.044	Background -0.002		06/12/2023 13:07:27
2	0.043	Background -0.002		06/12/2023 13:07:31
3	0.043	Background -0.002		06/12/2023 13:07:36
Pb Pb 180ppm Uls	0.409	0.2	12.0000	12.0000
1	0.470	Background -0.001		06/12/2023 13:06:13
2	0.409	Background -0.001		06/12/2023 13:06:17
3	0.409	Background -0.001		06/12/2023 13:06:21
Pb ACTAKR 180ppm Uls	0.002	0.8	2.1000	2.1000
1	0.001	Background -0.002		06/12/2023 13:06:02
2	0.002	Background -0.001		06/12/2023 13:06:06
3	0.001	Background -0.002		06/12/2023 13:06:10
Pb ACTAKR 20ppm Uls	0.017	0.7	0.0020	0.0020
1	0.017	Background -0.002		06/12/2023 13:06:34
2	0.017	Background -0.002		06/12/2023 13:06:38
3	0.017	Background -0.002		06/12/2023 13:06:42
Pb ACTTA 20ppm Uls	0.018	0.8	0.2600	0.2600
1	0.018	Background -0.002		06/12/2023 13:10:16
2	0.018	Background -0.002		06/12/2023 13:10:22
3	0.018	Background -0.002		06/12/2023 13:10:27
Pb ACTAKR 80ppm Uls	0.004	1.3	0.2700	0.2700
1	0.006	Background -0.001		06/12/2023 13:16:46
2	0.006	Background -0.001		06/12/2023 13:16:49
3	0.005	Background -0.001		06/12/2023 13:16:54
Pb ACTTA 80ppm Uls	0.002	20.8	0.2000	0.2000
1	0.002	Background -0.002		06/12/2023 13:11:06
2	0.002	Background -0.002		06/12/2023 13:11:09
3	0.001	Background -0.002		06/12/2023 13:12:04
Pb ACTAKR 80ppm Uls	0.000	0.1	0.3000	0.3000
1	0.000	Background -0.002		06/12/2023 13:12:31
2	0.000	Background -0.002		06/12/2023 13:12:35
3	0.000	Background -0.002		06/12/2023 13:12:39

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Tara Bintang Aghnia
2. Tempat, Tgl. Lahir : Jakarta, 2 Mei 2001
3. Alamat Rumah : Perumahan Telaga Murni Blok D10 No 5
Rt 05/15, Kec. Cikarang Barat, Kab.
Bekasi
4. No. Hp : 081281140938
5. E-mail : tarabintangaghnia@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal :
 - a. SD Negeri 03 Telaga Murni 2007-2013
 - b. SMP Negeri 2 Cikarang Barat 2013-2016
 - c. SMA Negeri 1 Cikarang Barat 2016-2019
 - d. UIN Walisongo Semarang 2019-2023