TESIS

ADSORPSI-DESORPSI LOGAM TIMBAL (Pb) MENGGUNAKAN ADSORBEN SABUT KELAPA

ALFINA NABILA

22927014

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2026

TESIS

ADSORPSI-DESORPSI LOGAM TIMBAL (Pb) MENGGUNAKAN ADSORBEN SABUT KELAPA

Diajukan kepada

Program studi Pascasarjana Universitas Islam Indonesia Fakultas Teknik Desain Inovasi untuk memenuhi persyaratan memperoleh Gelar Magister (S2) Teknik Lingkungan

Disusun oleh:
Alfina Nabila (22927014)

Disetujui,

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. Eko Siswoyo S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U.
NIK 025100406
Tanggal : 29/8/2026

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Magister FTSP UII

Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.
NIK 165131306
Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

ADSORPSI-DESORPSI LOGAM TIMBAL (Pb) MENGGUNAKAN ADSORBEN SABUT KELAPA

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari: Rabu

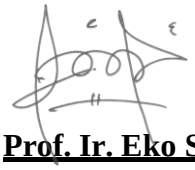
Tanggal: 2 September 2026

Disusun Oleh:

ALFINA NABILA

22927014

Tim Penguji:



29/8/2026

Prof. Ir. Eko Siswoyo S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U.



Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.



31.08.2026

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

PERNYATAAN

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama	: ALFINA NABILA
NIM	: 22927014
Program Studi	: Magister Teknik Lingkungan
Fakultas	: FTSP

Dengan ini menyatakan bahwa tesis yang saya susun dengan judul **"ADSORPSI-DESORPSI LOGAM TIMBAL (Pb) MENGGUNAKAN ADSORBEN SABUT KELAPA"** adalah benar-benar hasil karya sendiri dan bukan merupakan jiplakan, saduran, atau hasil karya orang lain yang saya akui sebagai karya saya.

Sehubungan dengan pernyataan ini, saya menyatakan hal-hal sebagai berikut:

1. Seluruh kutipan, referensi, dan data yang digunakan dalam tesis ini telah saya cantumkan sumbernya dengan mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah yang berlaku.
2. Saya tidak melakukan praktik plagiarisme dalam bentuk apa pun, baik seluruhnya maupun sebagian, dalam penyusunan tesis ini.
3. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa tesis ini mengandung unsur plagiarisme atau pelanggaran etika akademik lainnya, saya bersedia menerima konsekuensi akademis sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, dalam keadaan sadar, dan tanpa paksaan dari pihak mana pun, untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 1 Juli 2026

Yang membuat pernyataan,



(ALFINA NABILA)

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul **"Adsorpsi-Desorpsi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Adsorben Sabut Kelapa"** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister (S2) pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ali dan Ibu Ainah, orang tua penulis yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, dan bantuan kepada penulis baik berupa perbuatan, moril, materiil, maupun doa sehingga penulis dapat mencapai titik pencapaian saat ini;
2. Bapak Prof. Ir. Eko Siswoyo S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan juga penilaian kepada penulis mulai dari penyusunan proposal hingga penyelesaian Tesis ini;
3. Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. dan Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan arahan pada penyusunan Tesis ini;
4. Zulfa, partner dan pasangan penulis yang selalu menemani, memberikan dukungan, dan menyumbang pikiran positif kepada penulis sehingga terselesaikannya Tesis ini;
5. Seluruh dosen, laboran, dan staf pengajar yang selama ini telah memberikan bantuan dan ilmu yang bermanfaat selama menempuh pendidikan dan penelitian di Program Studi Teknik Lingkungan FTSP UII;
6. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk menjadikan Tesis ini lebih baik.

Penulis juga meminta maaf kepada pihak-pihak yang secara langsung maupun tidak langsung terlibat selama proses penyusunan Tesis ini, apabila terdapat ucapan maupun tindakan yang kurang berkenan.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 1 Februari 2026

Alfina Nabila

ABSTRAK

ALFINA NABILA. Adsorpsi-Desorpsi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Adsorben Sabut Kelapa. Dibimbing oleh Prof. Ir. Eko Siswoyo S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U.

Seiring perkembangan zaman, industri di Indonesia juga berkembang pesat, yang menyebabkan peningkatan jumlah limbah dari setiap industri. Limbah industri dapat berupa padat, cair, atau gas yang sering mengandung bahan kimia beracun dan berbahaya, termasuk logam berat seperti timbal (Pb), yang berdampak buruk pada lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan pengolahan sebelum dibuang ke badan air, salah satunya dengan adsorpsi menggunakan sabut kelapa. Sabut kelapa yang digunakan sebagai adsorben ini akan menjadi limbah, sehingga perlu dilakukan desorpsi untuk mengetahui potensi penggunaan kembali sabut kelapa sebagai adsorben. Tujuan dari penelitian ini antara lain untuk menentukan efektivitas adsorpsi-desorpsi logam berat timbal (Pb) pada larutan adsorben sabut kelapa, mengidentifikasi model kinetika dan isoterm desorpsi yang terjadi dalam proses desorpsi. Hasil penelitian desorpsi diperoleh optimum pada waktu 120 menit, pada HCl, HNO_3, H_2SO_4 memiliki konsentrasi optimum 2M. Kinetika adsorpsi untuk proses desorpsi yang terjadi mengikuti model pseudo orde kedua dengan nilai R^2 = 0,9296, jumlah desorpsi sebesar 0.5345 mg/g, dan konstanta laju kesetimbangan sebesar 0.1368 /menit. Model isoterm desorpsi yang terjadi pada HCl adalah isoterm Langmuir dengan nilai R^2 = 0,9997, sedangkan pada HNO_3 adalah isoterm Langmuir dengan nilai R^2 = 0,9987, dan pada H_2SO_4 adalah isoterm Freundlich dengan nilai R^2 = 0,9679. Dapat disimpulkan bahwa limbah sabut kelapa yang telah digunakan untuk adsorpsi dapat dimanfaatkan kembali dengan melakukan desorpsi.

Kata Kunci: Adsorben, Desorpsi, Sabut Kelapa, Timbal (Pb)

ABSTRACT

ALFINA NABILA. Adsorption-Desorption of Lead Metal (Pb) Using Coconut Fiber Adsorbent. Supervised by Prof. Ir. Eko Siswoyo S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U.

As time progresses, industrial development in Indonesia has increased rapidly, leading to a rise in the amount of waste generated by various industries. Industrial waste can be in the form of solid, liquid, or gas, and often contains toxic and hazardous chemicals, including heavy metals such as lead (Pb), which have detrimental effects on the environment. Therefore, proper treatment is required before the waste is discharged into water bodies, one of which is adsorption using coconut coir. The coconut coir used as an adsorbent will eventually become waste; thus, a desorption process is necessary to evaluate its potential for reuse as an adsorbent. The objectives of this study were to determine the effectiveness of the adsorption–desorption process of heavy metal lead (Pb) using coconut coir adsorbent solution, and to identify the kinetic and isotherm models governing the desorption process. The results showed that the optimum desorption time was 120 minutes. For HCl, HNO3, and H2SO4, the optimum concentration was 2 M. The adsorption kinetics for the desorption process followed the pseudo-second-order model with R^2 = 0,9296, a desorption amount of 0.5345 mg/g, and an equilibrium rate constant of 0.1368 /min. The desorption isotherm model for HCl followed the Langmuir isotherm with an R^2 value of 0.9997, while for HNO3 it also followed the Langmuir isotherm with an R^2 value of 0.9987, and for H2SO4 it followed the Freundlich isotherm with an R^2 value of 0.9679. It can be concluded that coconut coir waste that has been used for adsorption can be reused through a desorption process.

Keywords: Adsorbent, Coconut Fiber, Desorption, Lead (Pb)

DAFTAR ISI

PRAKATA ..... **v**

ABSTRAK ..... **vii**

ABSTRACT ..... **viii**

DAFTAR ISI ..... **x**

DAFTAR TABEL ..... **xiii**

DAFTAR GAMBAR ..... **xiv**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xv**

BAB I PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Tujuan 3

1.4 Manfaat 3

1.5 Ruang Lingkup 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **5**

2.1 Air Limbah 5

2.2 Logam Berat Timbal (Pb) 6

2.3 Sabut Kelapa 7

2.4 Adsorpsi 8

2.5 Desorpsi 10

2.6 Kinetika Adsorpsi-Desorpsi 11

2.7 Isoterm Adsorpsi-Desorpsi 12

2.7.1. Isoterm Langmuir 13
2.7.2. Isoterm Freundlich 14
2.8 *Atomic Adsorption Spectrophotometry* (AAS)..... 15
2.9 Penelitian Terdahulu..... 15
BAB III METODE PENELITIAN..... **18**
3.1 Metode Penelitian..... 18
3.2 Alat dan Bahan..... 18
3.2.1 Alat 18
3.2.2 Bahan.....19
3.3 Metode Pengumpulan Data 20
3.4 Kerangka Berpikir 21
3.5 Diagram Alir Penelitian..... 22
3.6 Langkah Penelitian 23
3.6.1 Preparasi Adsorben.....23
3.6.2 Pembuatan Air Limbah Pb Sintetik 24
3.6.3 Pengujian Adsorpsi Pada Air Limbah Pb Sintetik.....25
3.6.4. Pengujian Desorpsi 26
3.7 Analisis Data 28
3.7.1 Analisis Adsorpsi-Desorpsi Pada Air Pb Sintetik 28
3.7.2 Analisis Kinetika Adsorpsi-Desorpsi 30
3.7.3 Analisis Isoterm Adsorpsi-Desorpsi.....31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... **32**
4.1 Karakterisasi Adsorben 32
4.1.1 *Scanning Electron Microscope* (SEM).....32
4.1.2 *Fourier Transform Infrared* (FTIR).....34

4.2 Analisis Uji Adsorpsi 36
4.3 Analisis Uji Desorpsi 37
4.3.1 Desorpsi Variasi Waktu 37
4.3.2 Desorpsi Variasi Konsentrasi Asam 39
4.4 Analisis Kinetika Desorpsi 42
4.5 Analisis Isoterm Desorpsi 45
4.5.1 Model Isoterm Langmuir 46
4.5.2 Model Isoterm Freundlich 48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 51
5.1 Kesimpulan 51
5.2 Saran 51
DAFTAR PUSTAKA 52
LAMPIRAN 56

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu 16
Tabel 3. 1 Alat Pengujian Sampel 19
Tabel 3. 2 Bahan Pengujian Sampel 19
Tabel 4. 1 Pengujian Adsorpsi 37
Tabel 4. 2 Pengujian Desorpsi Variasi Waktu 38
Tabel 4. 3 Pengujian Desorpsi Variasi Konsentrasi Asam 40
Tabel 4. 4 Model Pseudo Orde Pertama 42
Tabel 4. 5 Model Pseudo Orde Kedua 43
Tabel 4. 6 Parameter Model Kinetika Adsorpsi 44
Tabel 4. 7 Model Isoterm Langmuir 46
Tabel 4. 8 Model Isoterm Freundlich 48
Tabel 4. 9 Perbandingan Data Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich 50
Tabel 4. 10 Perbandingan Nilai R^2 dengan Variasi Larutan Asam 50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Kerangka Berpikir 21
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian 22
Gambar 3. 3 Proses Preparasi Adsorben 23
Gambar 3. 4 Proses Pembuatan Air Limbah Pb Sintetik 24
Gambar 3. 5 Proses Adsorpsi 25
Gambar 3. 6 Proses Uji Variasi Waktu Kontak 26
Gambar 3. 7 Proses Uji Variasi Konsentrasi Asam 27
Gambar 4. 1 Karakterisasi Adsorben *Scanning Electron Microscope* (SEM) Sebelum Adsorpsi Perbesaran 500X (A) dan Perbesaran 5000X (B)..... 32
Gambar 4. 2 Karakterisasi Adsorben *Scanning Electron Microscope* (SEM) Sesudah Adsorpsi Perbesaran 500X (A) dan Perbesaran 5000X (B) 33
Gambar 4. 3 Karakterisasi Adsorben *Fourier Transform Infrared* 35
Gambar 4. 4 Pengujian Desorpsi Variasi Waktu 39
Gambar 4. 5 Pengujian Desorpsi Variasi Konsentrasi Asam..... 41
Gambar 4. 6 Kurva Model Pseudo Orde Pertama..... 43
Gambar 4. 7 Kurva Model Pseudo Orde Kedua 44
Gambar 4. 8 Kurva Isoterm Langmuir HCl 47
Gambar 4. 9 Kurva Isoterm Langmuir HNO_3 47
Gambar 4. 10 Kurva Isoterm Langmuir H_2SO_4 47
Gambar 4. 11 Kurva Isoterm Langmuir HCl 49
Gambar 4. 12 Kurva Isoterm Langmuir HNO_3 49
Gambar 4. 13 Kurva Isoterm Langmuir H_2SO_4 49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan 56
Lampiran 2 Hasil AAS 63
Lampiran 3 Dokumentasi 68
Lampiran 4 Perhitungan Kinetika Desorpsi 70
Lampiran 5 Perhitungan Isoterm Desorpsi 73

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring perkembangan zaman, industri di Indonesia juga berkembang pesat, yang menyebabkan peningkatan jumlah limbah dari setiap industri (Yadav et al., 2013). Umumnya, industri membuang limbah langsung ke perairan tanpa pengolahan, sehingga mencemari lingkungan dan merusak ekosistem. Limbah industri dapat berupa padat, cair, atau gas yang sering mengandung bahan kimia beracun dan berbahaya, termasuk logam berat seperti timbal (Pb), yang berdampak buruk pada lingkungan (Abdullah et al., 2014).

Pb(II) adalah timbal atau timah hitam yang digolongkan sebagai bahan pencemar berbahaya karena memiliki toksisitas yang tinggi. Berdasarkan keputusan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah menetapkan kadar maksimum timbal sebesar 0,1 mg/l. Timbal digolongkan ke dalam bahan pencemar yang berbahaya. Tubuh manusia dapat menyerap timbal melalui makanan, air minum, dan juga udara yang dapat berakibat adanya gangguan pada organ tubuh seperti gangguan sistem reproduksi, sistem hematopoietik, neurologi (saraf), ginjal, dan juga sistem saraf pusat di otak. Gangguan juga dapat terjadi pada anak yang dapat menurunkan tingkat kecerdasan anak (Nafi'ah & Nugraheni, 2017).

Limbah sabut kelapa dapat dimanfaatkan sebagai bahan adsorben untuk mengurangi beberapa kadar logam yang terkandung di dalam perairan. Adsorpsi merupakan proses perpindahan massa pada permukaan pori-pori dalam butiran adsorben. Sedangkan dalam mengetahui potensi sabut kelapa sebagai adsorben yang digunakan kembali untuk mengurangi limbah adsorben,

maka perlu dilakukan desorpsi. Desorpsi merupakan perolehan kembali zat-zat yang diserap oleh suatu adsorben. Bahan yang teradsorpsi dihilangkan dengan banyak cara seperti pemanasan, vakum, pencucian dengan bahan yang tidak teradsorpsi, tekanan dengan bahan adsorben yang lebih banyak, atau ekstraksi dengan pelarut (Aini et al., 2017).

Beberapa penelitian terdahulu tentang desorpsi Pb^{2+} dan Cu^{2+} dari palem nipah yang dilakukan oleh Wankasi et al. (2005), biomassa yang mengandung logam di desorpsi menggunakan larutan asam (0,1 M HCl), basa (0,1 M NaOH), dan netral (aquades) dengan variasi waktu kontak. Data menunjukkan bahwa desorpsi pada semua reagan meningkat seiring bertambahnya waktu kontak untuk Pb dan Cu pada waktu kontak 140 menit, yang masing-masing mencapai 75,3% dan 63,7% dalam reagan asam, 18,9% dan 14,06% dalam reagan basa, dan 3,35% dan 2,44% dalam reagan netral. Kinetika desorpsi menunjukkan bahwa konstanta pelepasan (k_{des}) ion logam dalam larutan asam lebih cepat dibandingkan larutan lainnya, untuk Pb^{2+} yaitu $6{,}3\times10^{2}$ min^{-1} dan Cu^{2+} yaitu $7{,}9\times10^{2}$ min^{-1}. Penelitian lainnya tentang desorpsi seng(II) dari biomassa *Azolla microphylla* menggunakan larutan asam nitrat yang dilakukan oleh Felayati et al. (2015), seng(II) yang terikat pada biomassa *Azolla microphylla* diesterifikasi asam sitrat yang menggunakan larutan asam nitrat pada pemanasan 120^{o}C selama 3,5 jam dengan variasi waktu kontak 30; 45; 60; 75; dan 90 menit dan variasi konsentrasi 0,1; 0,5; 1,0; 1,5; dan 2,0 M. Data menunjukkan bahwa kondisi optimum desorpsi seng(II) terjadi pada waktu kontak 60 menit dengan konsentrasi asam nitrat 1,0 M dan presentasi desorpsi sebesar 93,62%.

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh penulis tentang Aplikasi Sabut Kelapa Sebagai Bioadsorben Logam Timbal (Pb) Dalam Media Air, diketahui bahwa sabut kelapa sebagai adsorben dapat mengurangi kandungan logam timbal (Pb) dengan kondisi optimum pH 5 efisiensi penyisihan Pb sebesar 90%, waktu optimum 60 menit dengan efisiensi penyisihan sebesar 92%, dan konsentrasi optimum 7 ppm efisiensi penyisihan sebesar 100%. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, perlu

dilakukan penelitian lanjutan untuk mengkaji kemampuan desorpsi adsorben dari sabut kelapa untuk menyisihkan logam timbal (Pb) dan pemanfaatan residu adsorben sabut kelapa tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang didapatkan dari latar belakang adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana efektivitas adsorpsi-desorpsi logam berat timbal (Pb) pada larutan adsorben sabut kelapa?
2. Bagaimana model kinetika desorpsi dalam proses desorpsi timbal melalui pemanfaatan adsorben sabut kelapa?
3. Bagaimana model isoterm desorpsi yang cocok dalam penyerapan kembali timbal (Pb) dalam adsorben?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengkaji efektivitas adsorpsi-desorpsi logam berat timbal (Pb) pada larutan adsorben sabut kelapa.
2. Untuk mengidentifikasi model kinetika desorpsi dalam proses desorpsi timbal melalui pemanfaatan adsorben sabut kelapa.
3. Untuk menganalisis isoterm desorpsi yang cocok dalam penyerapan kembali timbal (Pb) dalam adsorben.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain:

1. Memberikan informasi tentang potensi sabut kelapa sebagai salah satu adsorben yang dapat digunakan untuk mengurangi kandungan timbal (Pb).
2. Memberikan alternatif penggunaan residu adsorben sabut kelapa yang dapat digunakan kembali dalam proses adsorpsi-desorpsi.

3. Dapat digunakan sebagai referensi dan bahan kajian untuk penelitian selanjutnya mengenai adsorpsi-desorpsi logam timbal (Pb) dalam adsorben sabut kelapa.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup terkait dengan penelitian ini digunakan untuk memudahkan pelaksanaan penelitian, yang diuraikan sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia.
2. Sampel air menggunakan timbal (Pb) sintetik dengan melarutkan garam timbal $Pb(NO_3)_2$ dengan aquades.
3. Penelitian dilakukan dengan beberapa variasi variabel yaitu jenis asam yang digunakan (HCl, HNO_3, dan H_2SO_4), waktu kontak, dan konsentrasi asam.
4. Pengujian adsorpsi-desorpsi diuji dengan menggunakan metode AAS (*Atomic Adsorption Spectroscopy*) yang mengacu pada SNI 6989.8:2009 Tentang Cara Uji Timbal dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah

Air limbah adalah air buangan atau air bekas yang berasal dari kegiatan domestik, industri, pertanian, maupun aktivitas komersial yang telah mengalami perubahan sifat fisik, kimia, dan biologis sehingga berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak diolah terlebih dahulu (Metcalf & Eddy, 2014). Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, air limbah adalah sisa atau sampah berupa cairan yang dihasilkan dari suatu kegiatan dan/atau perusahaan. Menurut Supriyatno (2000), pengertian air limbah merujuk pada air yang telah digunakan oleh manusia dalam beragam kegiatan. Air limbah ini bisa berasal dari kegiatan rumah tangga, perkantoran, toko, layanan publik, industri, atau lokasi lainnya. Selain itu, air limbah adalah air yang tidak lagi terpakai yang dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia saat menggunakan air bersih. Namun bukan berarti sampah ini tidak perlu diolah kembali, karena dapat mengganggu kehidupan maupun lingkungan di sekitar aliran air limbah apabila air tersebut tidak dikelola dengan baik.

Secara umum, air limbah diklasifikasikan menjadi air limbah domestik, air limbah industri, dan limpasan permukaan (*runoff*). Setiap jenis memiliki karakteristik dan tingkat pencemaran yang berbeda:

a. Air limbah domestik – berasal dari rumah tangga, kamar mandi, dapur, serta sejenisnya;
b. Air limbah industri – berasal dari proses produksi pabrik dan fasilitas industri;
c. Air limbah pertanian – hasil limpasan dari bidang pertanian yang membawa residu pupuk, pestisida, dan tanah;

d. Air limpasan permukaan (*runoff*) – air hujan yang mengalir membawa sedimen dan polutan dari jalan atau lahan terbuka;
e. Air limbah komersial – berasal dari pusat bisnis, kantor, dan fasilitas umum lain (Tchobanoglous et al., 2014).

Dalam suatu aktivitas industri, limbah cair hasil dari industri tidak boleh dibuang secara sembarangan ke alam, melainkan perlu diproses terlebih dahulu supaya kualitas airnya sebanding dengan kualitas air di alam. Namun, pada kenyataannya, masih banyak perusahaan atau industri yang melepaskan limbahnya ke alam lewat sungai, danau, atau langsung ke laut. Pembuangan limbah cair secara langsung ke alam ini merupakan faktor utama yang menyebabkan terjadinya pencemaran air (Nasution et al., 2015). Peneliti juga mencatat bahwa air limbah mengandung komponen fisik (seperti kekeruhan dan suhu), komponen kimia (seperti BOD, COD, nutrien, logam berat), serta komponen biologi (mikroorganisme patogen) yang penting dipahami untuk analisis karakterisasi dan penanganannya (Etsuyankpa et al., 2024)

2.2 Logam Berat Timbal (Pb)

Salah satu zat yang dapat menurunkan kualitas air adalah logam berat. Aktivitas manusia juga memiliki kemungkinan untuk menghasilkan limbah yang mengandung logam berat, misalnya hasil dari penambangan, produksi pestisida, industri pengolahan kulit, pelapisan serta pencampuran logam, dan juga dari industri minyak dan pewarna (Kaewsarn et al., 2008). Keberadaan logam berat mampu mengancam habitat serta ekosistem akuatik, karena merupakan zat yang bersifat racun dan karsinogenik. Diantara semua jenis logam yang masuk dalam kelompok logam berat yaitu timbal, tembaga, merkuri, cadmium, perak, chromium, dan seng (Kurniasari, 2010).

Timbal (Pb) sering terdeteksi dalam limbah industri, limbah perkotaan, dan lindi TPA karena pelepasan dari material logam, baterai, cat, dan bahan kimia lainnya (Iqbal & Bonasi, 2025). Logam berat jenis Timbal (Pb) dikenal dengan nama ilmiah plumbum yang tergolong dalam kategori sebagai zat beracun dan berbahaya. Menurut Lampiran VI PP No 22 Tahun 2021 yang

berisi tentang ketentuan tentang Baku Mutu Air Nasional bagi perairan seperti sungai dan sejenisnya, konsentrasi logam Timbal (Pb) yang larut dalam air yang diperbolehkan adalah sebesar 0,03 mg/L untuk air kategori kelas 1 hingga kelas 3, sementara untuk air kategori kelas 4 sebesar 0,5 mg/L. Menurut Palar (1994), timbal (Pb) selain tersedia secara alami di alam, dapat dihasilkan dari aktivitas manusia seperti pertambangan, peleburan, dan penggunaan dalam bahan bakar minyak. Di lingkungan juga ditemukan timbal yang pada umumnya berasal dari polusi kendaraan bermotor, pabrik plastik, pabrik cat, tambang timah, percetakan, dan peleburan timah. Logam Pb dapat masuk di perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan, hal ini menjadi permasalahan yang perlu diperhatikan secara khusus karena akan berpengaruh buruk terhadap organisme yang tinggal di perairan dan akhirnya akan dapat terakumulasi dalam siklus rantai makanan. Menurut *World Health Organization* (WHO), timbal merupakan zat beracun yang memiliki efek kumulatif yang dapat mempengaruhi sistem tubuh pada manusia. Dalam hal ini mencakup sistem saraf, darah, pencernaan, jantung, pembuluh darah, serta ginjal.

2.3 Sabut Kelapa

Industri minyak kelapa menghasilkan limbah padat berupa sabut kelapa, selain itu sabut kelapa juga diperoleh dari sisa makanan yang dikonsumsi manusia (Ningtyas et al., 2022). Sabut kelapa memiliki komponen lignoselulosa sehingga dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif bahan adsorben. Sekitar 35% dari total buah kelapa matang merupakan sabut kelapa yang terdiri dari serat-serat yang terdapat di antara lapisan keras bagian dalam (batok). Sabut kelapa memiliki potensi digunakan sebagai adsorben mengingat kandungan selulosa di dalam strukturnya, serta adanya gugus karboksil, gugus karboksil, dan lignin yang mengandung asam phenolat yang ikut berperan dalam proses pengikatan logam (Herwanto, 2006).

Menurut Saleh (2009) terdapat sejumlah komponen yang terdapat dalam sabut kelapa, antara lain sebagai berikut:

a. Selulosa

Selulosa dengan rumus kimia $(C_6H_{10}O_5)n$ merupakan senyawa organik yang tidak dapat larut dengan air dan memiliki fungsi sebagai komponen penyusun struktur serat pada tanaman serta memiliki peran penting dalam menentukan karakteristik serat. Selulosa adalah sebuah polimer yang tersusun dari unit glukosa dengan tipe anomer β, yang memungkinkan selulosa memiliki bentuk rantai yang sangat panjang.

b. Hemiselulosa

Hemiselulosa terdiri dari rangkaian glukosa yang memiliki cabang pendek. Hemiselulosa adalah jenis polisakarida yang dapat diekstraksi menggunakan larutan basa. Jika dibandingkan dengan selulosa, hemiselulosa lebih mudah terurai dan dapat larut dalam air.

c. Lignin

Lignin adalah struktur tiga dimensi yang terbuat dari polimer fenolik yang memiliki sifat mengikat dan mengeraskan serat selulosa. Lignin berfungsi dalam pembentukan lamela perantara (*intermediate layer of fibres*), yaitu penghubung antar serat. Lignin termasuk salah satu bagian dari tumbuhan dan biasanya terbentuk dari kombinasi selulosa, hemiselulosa dan lignin.

2.4 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses dimana gas menempel pada permukaan suatu material yang tergantung pada jenis fase yang bersentuhan, adsorpsi mempertimbangkan proses antara lain cair-gas, cair-cair, padat-cair, dan padat-gas. Mirip dengan interaksi antara gas atau cairan dengan suatu logam tertentu, interaksi yang terbentuk ini akan mengubah sifat dari logam sehingga karakteristiknya mengalami modifikasi (Mc Cash, 2001). Zat yang teradsorpsi disebut sebagai adsorbat, sedangkan zat dalam fase gas atau uap sebelum teradsorpsi disebut sebagai adsorben. Adsorben merupakan zat yang memiliki kemampuan untuk menangkap serta menahan suatu cairan atau gas ke dalam zat tersebut. Salah satu metode alternatif dalam pengelolaan limbah yang

mengandung logam berat seperti timbal adalah dengan pemanfaatan bahan-bahan alami dalam proses adsorpsi sebagai adsorben. Proses ini menunjukkan seberapa efektif biomassa dalam menangkap logam berat dari suatu larutan melalui mekanisme metabolisme atau reaksi fisika-kimia. Keuntungan dari proses adsorpsi yang menggunakan bahan alami mencakup biaya yang dikeluarkan relatif rendah, tingkat efisiensi yang relatif tinggi, produksi lumpur yang rendah, serta kemudahan dalam tahap regenerasinya (Ashraf et al., 2010).

Menurut Dabrowski (2001) efisiensi proses adsorpsi sangat bergantung pada parameter berikut:

1. Luas Permukaan: Semakin besar luas permukaan (porositas) adsorben, semakin banyak molekul yang dapat diserap.
2. pH Larutan: Memengaruhi muatan permukaan adsorben dan spesiasi kimia adsorbat (terutama pada logam berat atau zat warna).
3. Suhu: Pada fisisorpsi, kenaikan suhu biasanya menurunkan kapasitas adsorpsi (eksotermik), sedangkan pada chemisorption, suhu dapat meningkatkan laju reaksi.
4. Waktu Kontak: Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai kesetimbangan.

Ada dua kategori adsorpsi berdasarkan tingkat kekuatan interaksinya, yaitu adsorpsi fisika (*physisorption*) dan adsorpsi kimia (*chemisorption*). Pada adsorpsi fisika, kekuatan ikatan yang terjadi antara molekul yang diadsorpsi dengan permukaan material sangat lemah, dan interaksi seperti ini disebut sebagai gaya *Van der Waals*. Di sisi lain, dalam adsorpsi kimia, ikatan yang terbentuk merupakan jumlah dari penempatan elektron saat terjadi reaksi antara adsorben dan zat yang diserap. Kekuatan ikatan pada *chemisorption* lebih signifikan dibandingkan dengan adsorpsi fisika, karena kondisi molekul adsorben berubah dibandingkan dengan keadaan awalnya. Permukaan atom menunjukkan sifat elektron yang tidak jenuh disebabkan oleh adanya beberapa valensi yang bebas (Oudar, 1973).

2.5 Desorpsi

Desorpsi adalah proses pelepasan kembali adsorbat dari permukaan adsorben ke dalam fase fluida. Proses ini penting dalam regenerasi adsorben dan evaluasi stabilitas material. Perbedaan kurva adsorpsi dan desorpsi sering menunjukkan adanya fenomena histeresis, yang berkaitan dengan struktur pori dan mekanisme kapiler (Thommes et al., 2015). Bahan yang sudah terjerat dikeluarkan melalui metode seperti pemanasan, pengurangan tekanan, pembersihan menggunakan zat yang tidak dapat diserap, pergeseran dengan zat yang mampu diserap lebih efisien, atau dengan cara ekstraksi menggunakan pelarut (Yuliarti, 2007). Desorpsi bertujuan untuk regenerasi dan daur ulang adsorben bekas, hal ini dapat mengurangi biaya operasional dan menjaga lingkungan (Wankasi et al., 2005). Desorpsi ion logam oleh asam mineral menghasilkan reaksi pertukaran ion antara ion H^+ dari asam dan ion logam yang terikat pada gugus fungsi –COO- dari adsorben (Dwika Adha et al., 2015). Desorpsi memungkinkan pemulihan logam-logam yang telah dihilangkan sehingga adsorben dapat digunakan kembali. Proses desorpsi ini dilakukan dengan cara mencampurkan adsorben yang sudah dipakai dengan agen atau larutan yang berfungsi untuk mendesorpsi. Larutan pendesorpsi ini bisa berupa asam, basa, ataupun larutan netral (Zustriani, 2019).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Deng et al. (2007). HNO_3 merupakan larutan asam yang paling efektif untuk proses desorpsi Pb(II) dari biomassa alga *Cladophora fascicularis*, dengan presentasi desorpsi sebesar 85%. Hal ini karena interaksi elektrostatis antara gugus aktif biomassa dan logam berkurang pada pH rendah. Tran et al. (2017) menyatakan bahwa pemilihan larutan pendesorpsi yang tepat, seperti larutan asam (HCl, HNO_3) atau basa (NaOH), sangat menentukan tingkat pemulihan (*recovery*) zat terlarut sekaligus menjaga integritas struktur pori adsorben agar dapat digunakan kembali pada siklus berikutnya.

Secara praktis, studi desorpsi memberikan informasi mengenai aspek keberlanjutan dan nilai ekonomi dari suatu proses pengolahan limbah. Tanpa

kemampuan desorpsi yang baik, adsorben hanya akan menjadi limbah padat baru setelah mencapai titik jenuhnya, yang justru menambah beban lingkungan. Lata dan Samadder (2016) menekankan bahwa evaluasi terhadap siklus adsorpsi-desorpsi (studi reusabilitas) sangat penting untuk menilai potensi penerapan adsorben dalam skala industri, di mana minimalisasi biaya operasional dan pemulihan material berharga menjadi prioritas utama.

2.6 Kinetika Adsorpsi-Desorpsi

Data kinetik memberikan penjelasan mengenai proses mekanisme adsorpsi-desorpsi untuk efektivitas proses tersebut. Memahami sejauh mana adsorpsi-desorpsi berlangsung selama penghilangan zat pencemar dari limbah cair sangat krusial untuk meningkatkan rancangan parameter yang akan diterapkan, karena kinetika sistem mengatur waktu tinggal adsorbat serta ukuran reaktor (Quintelas, et al, 2006).

Kinetika dalam proses adsorpsi-desorpsi dapat mengikuti model kinetika Lagergren (pseudo orde pertama) maupun model kinetika Ho (pseudo orde kedua) (Kaewsarn et al., 2008). Model pseudo orde pertama mengasumsikan bahwa laju desorpsi berbanding lurus dengan jumlah situs aktif yang masih terisi oleh adsorbat pada waktu tertentu, dimana jenis ikatan yang terjadi cenderung fisisorpsi dengan ikatan van der waals yang lemah. Menurut Simonin (2016), model ini umumnya efektif untuk mendeskripsikan tahap awal proses desorpsi dimana difusi melalui lapisan film menjadi tahapan pembatas laju. Model kinetika pseudo orde pertama memiliki persamaan linier yang dapat dituliskan seperti berikut:

$$\text{Log (qe-qt)} = Log\ (qe) - \frac{K1}{2{,}303}(t)$$

Dengan menunjukkan keterangan dimana qt adalah jumlah maksimum logam yang teradsorpsi pada waktu t (mg/g) dan qe adalah jumlah logam yang

teradsorpsi ketika mencapai kesetimbangan (mg/g) sementara K_1 adalah konstanta laju reaksi untuk proses orde pertama (1/menit).

Di sisi lain, model pseudo orde kedua mengasumsikan bahwa laju desorpsi dikontrol oleh mekanisme kemisorpsi (interaksi kimia), di mana terjadi pembagian atau pertukaran elektron antara adsorbat dan permukaan adsorben. Ho dan McKay (1999) dalam studinya yang fenomenal menyatakan bahwa jika data eksperimen lebih cocok (fit) dengan model pseudo orde kedua, maka interaksi kimia yang kuat (seperti ikatan kovalen atau ionik) adalah faktor dominan yang menghambat pelepasan kembali zat tersebut. Penggunaan model pseudo orde kedua dalam desorpsi memberikan gambaran mengenai kapasitas desorpsi setimbang (qe) yang lebih akurat dibandingkan model orde pertama pada sistem yang kompleks. Model kinetika pseudo orde kedua memiliki persamaan yang dapat dituliskan dengan persamaan:

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 qe^2} + \frac{1}{qe}(t)$$

Persamaan tersebut menunjukkan dimana qt adalah jumlah gram padatan yang teradsorpi oleh adsorben pada waktu tertentu (mg/g), qe adalah jumlah gram padatan teradsorpi oleh adsorben pada kesetimbangan (mg/g), sementara K_2 adalah konstanta laju kesetimbangan reaksi pada orde kedua (1/menit).

2.7 Isoterm Adsorpsi-Desorpsi

Isoterm adsorpsi–desorpsi merupakan hubungan kuantitatif antara jumlah adsorbat yang terjerap pada permukaan adsorben (q□) dengan konsentrasi kesetimbangan dalam fase cair atau tekanan parsial dalam fase gas (C□ atau P) pada suhu konstan. Analisis isoterm sangat penting untuk memahami mekanisme interaksi adsorben–adsorbat, kapasitas maksimum adsorben, energi adsorpsi, serta karakteristik permukaan material (Foo & Hameed, 2010).

Secara umum, isoterm diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar, yaitu isoterm dua-parameter (misalnya Langmuir dan Freundlich) serta isoterm tiga-parameter (misalnya Temkin, Dubinin–Radushkevich, dan Sips). Setiap model memiliki asumsi teoritis yang berbeda dan pemilihannya harus disesuaikan dengan karakteristik sistem adsorpsi (Tran et al., 2017). Model isoterm digunakan untuk:

a. Menentukan kapasitas maksimum adsorben
b. Mengidentifikasi sifat permukaan
c. Memahami mekanisme interaksi adsorben dengan adsorbat (Foo & Hameed, 2010)

2.7.1. Isoterm Langmuir

Langmuir menggambarkan sebuah model isoterm untuk gas yang teradsorpsi pada suatu material pada pada tahun 1918. Material yang teradsorpsi akan terperangkap di dalam lapisan molekul sebelum tercapainya tekanan tertentu. Model isoterm ini merupakan proses *chemisorption* atau pembentukan ikatan kimia, di mana ikatan tersebut terjadi akibat dari interaksi antara adsorben dan adsorbat. Langmuir mengembangkan teori isoterm adsorpsi-desorpsi melalui suatu model sederhana mengenai gas yang terserap pada permukaan padat. Model ini menjelaskan bahwa kapasitas maksimum untuk adsorpsi dan desorpsi dapat tercapai karena adanya satu lapisan adsorpsi (*monolayer*) yang menutupi permukaan adsorben. Asumsi dasar dari model isoterm Langmuir meliputi:

1. Gas yang terikat pada permukaan dan mengikuti perilaku ideal terjadi ketika berada pada fase gas.
2. Adsorpsi gas yang terjadi hanya pada satu lapisan saja.
3. Permukaan dari adsorbat bersifat homogen. Dengan kata lain, setiap tempat untuk molekul gas memiliki daya tarik yang sama.
4. Tidak terjadi interaksi antar molekul yang sudah teradsorpsi satu sama lain.

5. Molekul gas yang sudah teradsorpsi akan terpusat karena tidak bergerak di permukaan adsorben (Lisa, 2015).

Isoterm Langmuir mengikuti persamaan berikut ini:

$$\frac{Ce}{qt} = \frac{1}{Kl.qm} + \frac{1}{qm} \times Ce$$

Persamaan tersebut memiliki keterangan dimana qt adalah jumlah adsorbat yang terikat pada adsorben yang mempunyai satuan mg/g. Selanjutnya qm menunjukkan kapasitas adsorpsi (mg/g), Kl merupakan konstanta langmuir (l/mg), dan Ce merepresentasikan konsentrasi adsorbat pada kondisi kesetimbangan dengan satuan mg/L (Miri dan Narimo, 2022). Proses adsorpsi yang terjadi pada model isoterm Langmuir memungkinkan terjadinya *dimensionless* (RL) yang dapat diketahui menggunakan rumus:

$$RL = \frac{1}{1 + Kl.Co}$$

2.7.2. Isoterm Freundlich

Isoterm Freundlich telah diterapkan untuk mengkaji relasi yang terjadi pada adsorpsi yang bersifat reversibel hingga non-ideal dan pembentukan *multilayer*. Isoterm ini umumnya berhubungan dengan sistem heterogen seperti interaksi berbagai jenis senyawa organik, saringan molekuler, dan karbon aktif. Namun, penggunaan isoterm Freundlich dalam penelitian dibatasi karena adanya kekurangan dalam database termodinamika fundamental pada konsentrasi tertentu (Miri dan Narimo, 2022). Isoterm Freundlich menggunakan persamaan:

$$\log qt = \log Kf + \frac{1}{n} \log Ce$$

Persamaan tersebut memiliki keterangan dimana qt adalah total logam yang terserap pada saat kesetimbangan (mg/g), Ce adalah konsentrasi logam pada saat kesetimbangan (mg/L), dan Kf adalah konstanta freundlich (l/mg).

2.8 *Atomic Adsorption Spectrophotometry* (AAS)

Atomic Adsorption Spectrophotometry (AAS) merupakan sebuah alat yang diterapkan dalam analisis untuk dapat mengukur secara kuantitatif unsur-unsur logam, yang pengukurannya berdasarkan pada penyerapan cahaya pada panjang gelombang tertentu (Skoog, 2000). Prinsip dari metodologi penggunaan AAS adalah adanya proses penyerapan cahaya oleh suatu atom, dimana pada panjang gelombang tertentu, atom-atom itu akan menyerap sinar cahaya (Gupta and Roy, 2007). Seiring bertambahnya jumlah atom dalam jalur cahaya, jumlah cahaya yang diserap meningkat secara terprediksi. Dengan mengukur jumlah cahaya yang diserap, penentuan kuantitatif jumlah unsur analit yang ada dapat dilakukan. Penggunaan sumber cahaya khusus dan pemilihan panjang gelombang yang tepat memungkinkan penentuan kuantitatif spesifik dari masing-masing unsur (Beaty and Kerber, 1993).

Mekanisme kerja AAS terjadi pada saat larutan sampel menguap, dimana logam yang terdapat di dalamnya berubah menjadi atom bebas. Atom-atom ini akan menyerap radiasi dari sumber cahaya yang dikeluarkan oleh lampu katoda berongga yang memiliki elemen yang ingin diukur (Darmono, 1995).

2.9 Penelitian Terdahulu

Pemanfaatan sabut kelapa sebagai adsorben juga pernah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Adapun penelitian yang telah dilakukan sebelumnya terangkum pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Pengarang	Data Penelitian
1	*Desorption Of Pb^{2+} And Cu^{2+} From Nipa Palm (Nypa Fruticans Wurmb) Biomass.*	Wankasi, *et al.* (2005)	• Adsorben: Nipa palm • Logam: Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) • Variasi waktu kontak: 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 menit • Variasi konsentrasi: 0,1 M HCl, 0,1 M NaOH, dan aquades • Nilai optimal yang didapat: waktu 140 menit dan HCl 0,1 M • % desorpsi: Pb sebesar 75,3% dan Cu sebesar 63,7% • Kinetika desorpsi (k_{des}): Pb^{2+} sebesar $6,3\times10^{2}$ min^{-1} dan Cu^{2+} sebesar $7,9\times10^{2}$ min^{-1}
2	Adsorpsi Seng (II) Oleh Biomassa *Azolla Microphylla* - Sitrat: Kajian Desorpsi Menggunakan Larutan Asam Nitrat.	Felayati, *et al.* (2015)	• Adsorben: biomassa *Azolla microphylla* • Logam: Seng (Zn) • Variasi waktu kontak: 30, 45, 60, 75, 90 menit • Variasi konsentrasi: HNO_3 0,1; 0,5; 1,0; 1,5; dan 2,0 M • Nilai optimal yang didapat: waktu 60 menit dan konsentrasi 1,0 M • % desorpsi: 93,62%
3	Desorpsi Ion Logam Besi (Fe) dan Tembaga (Cu) dari Adsorben Biji Pepaya dengan Larutan Pendesorpsi Asam dan Basa.	Zustriani dan Anita (2019)	• Adsorben: biji pepaya • Logam: Besi (Fe) dan Tembaga (Cu) • Variasi waktu kontak: 120 menit • Variasi konsentrasi: HCl dan NaOH 0,1 M; 0,15 M; 0,2 M

			• Nilai optimal yang didapat: HCl konsentrasi 0,15 M • % desorpsi: besi (Fe) sebesar 53,66%, dan tembaga (Cu) sebesar 91,56%
4	Pengaruh Konsentrasi Larutan HNO_3 Dan Waktu Kontak Terhadap Desorpsi Kadmium (II) Yang Terikat Pada Biomasa *Azolla microphylla*-Sitrat	Adha, *et al.* (2015)	• Adsorben: Biomasa *Azolla microphylla* • Logam: Kadmium (Cd) • Variasi waktu kontak: 30, 45, 60, 75, 90 menit • Variasi konsentrasi: HNO_3 0,1; 0,5; 1,0; 1,5; dan 2,0 M • Nilai optimal yang didapat: waktu 60 menit dan konsentrasi 1,0 M • % desorpsi: 99,27%

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian eksperimental yang dilaksanakan dalam skala laboratorium dengan pengujian sampel.

Adapun aspek yang digunakan sebagai penunjang pelaksanaan penelitian ini, maka ditetapkan beberapa variabel penelitian yang akan dicari atau diukur yaitu:

a. Variabel bebas:
   1. Jenis Asam : HCl, H_2SO_4, dan HNO_3.
   2. Waktu Kontak : 0,5, 1, 2, 3, dan 4 jam.
   3. Konsentrasi Asam : 0,05; 0,5; 1; 1,5; dan 2 M.

b. Variabel Terikat:
   1. Adsorben berasal dari sabut kelapa ukuran 70 mesh.
   2. Kecepatan pengadukan 150 rpm.
   3. Volume larutan timbal 30 mL.
   4. Konsentrasi timbal (Pb) 7 ppm.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Alat Pengujian Sampel

No	Nama Alat
1	Oven
2	*Grinder*
3	Ayakan 70 mesh
4	Neraca analitik
5	Cawan porselin
6	Gelas beaker (500, 50) mL
7	Labu ukur (1000, 500) mL
8	Erlenmeyer 100 mL
9	Corong kaca
10	*Orbital shaker*
11	Corong kaca
12	pH meter
13	Kertas saring
14	AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*)

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain tertera pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Bahan Pengujian Sampel

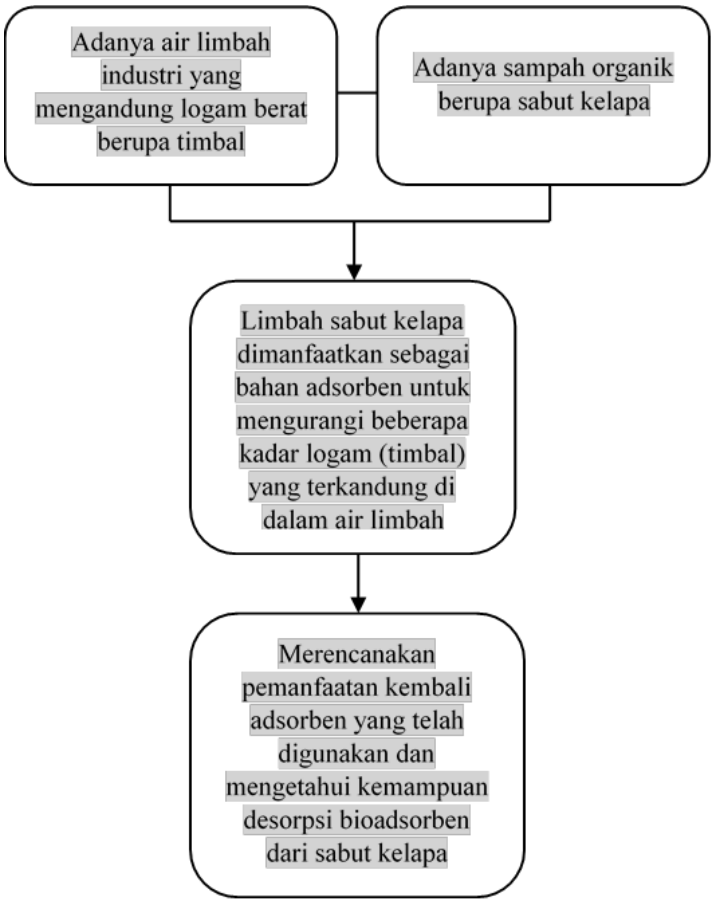
No	Nama Bahan
1	Sabut kelapa
2	$Pb(NO_3)_2$
3	HCl
4	HNO_3
5	H_2SO_4
6	KHP
7	NaOH
8	Aquades

3.3 Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data primer. Data primer adalah data yang diperoleh melalui penelitian langsung yang dilakukan di laboratorium. Data primer didapatkan melalui hasil pengujian sampel secara langsung di Laboratorium Kualitas Lingkungan Fakultas Teknik Desain Inovasi Universitas Islam Indonesia. Parameter yang akan diuji adalah logam berat timbal (Pb) dimana pengujian akan dilakukan dengan menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) yang diacu berdasarkan SNI 6989.8:2009.

3.4 Kerangka Berpikir

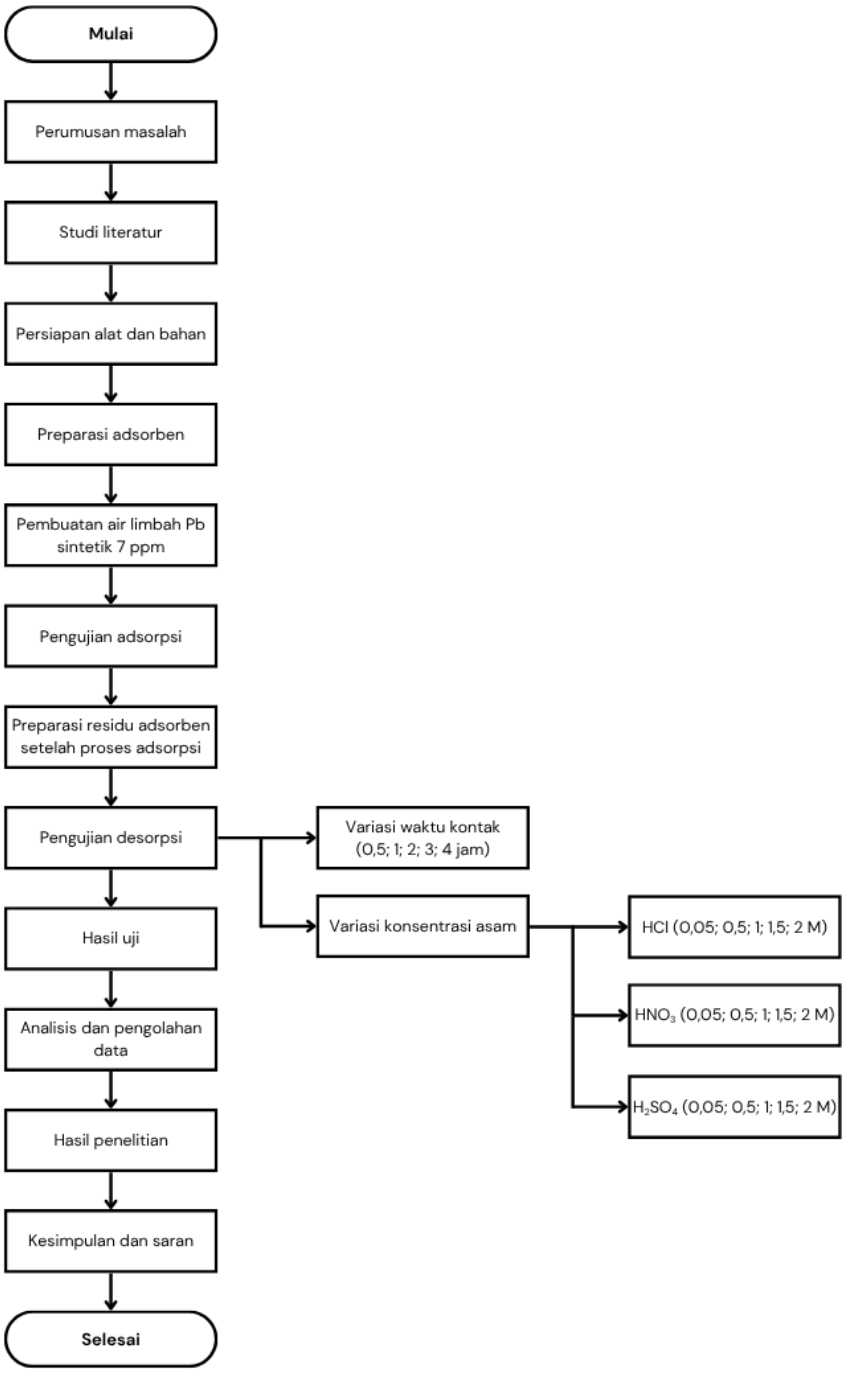
Adapun kerangka berpikir dalam penelitian yang dilakukan adalah sebagaimana terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Kerangka Berpikir

3.5 Diagram Alir Penelitian

Adapun flowchart langkah dalam penelitian adalah sebagaimana Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

3.6 Langkah Penelitian

Langkah penelitian dimulai dari preparasi adsorben, kemudian percobaan penelitian, selanjutnya analisis data, dan penyusunan laporan.

3.6.1 Preparasi Adsorben

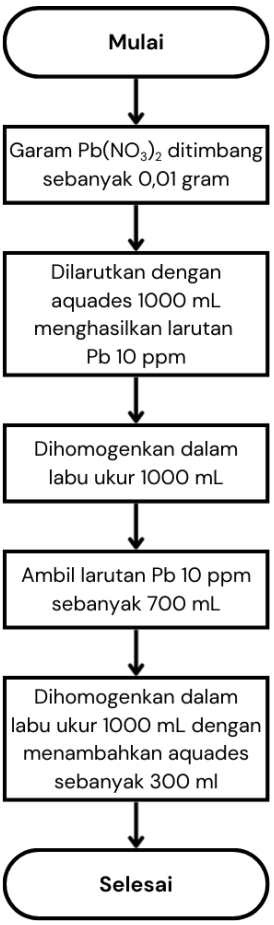
Sabut kelapa diperoleh dari penjual kelapa parut di pasar. Pertama-tama sabut kelapa dikupas dan dicuci dengan air mengalir hingga bersih. Kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari selama 8 jam. Setelah kering, sabut kelapa diblender hingga menjadi serbuk. Kemudian sabut kelapa dikeringkan dalam oven pada suhu 110^{o}C. Serbuk sabut kelapa kemudian disimpan dalam desikator dan siap digunakan sebagai adsorben yang dijelaskan pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Proses Preparasi Adsorben

3.6.2 Pembuatan Air Limbah Pb Sintetik

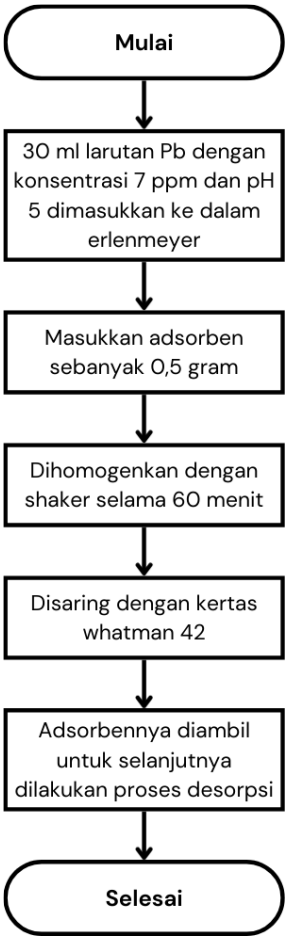
Pembuatan air limbah timbal (Pb) sintetik dilakukan dengan melarutkan Garam $Pb(NO_3)_2$ dengan aquades 1000 mL menghasilkan larutan standar Pb 10 ppm, kemudian sebanyak 700 mL dilarutkan menggunakan aquades 300 mL. Sehingga akan didapatkan air limbah sintetik dengan konsentrasi 7 ppm. Langkah tersebut dijelaskan pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Proses Pembuatan Air Limbah Pb Sintetik

3.6.3 Pengujian Adsorpsi Pada Air Limbah Pb Sintetik

Proses adsorpsi pada air limbah sintetik dilakukan dengan ketentuan kondisi awal larutan timbal menggunakan data nilai optimal yang diambil dari skripsi penulis sebelumnya, konsentrasi awal larutan timbal yang digunakan sebesar 7 ppm. Proses adsorpsi diperlakukan dengan kondisi pH 5 dan waktu optimum 60 menit seperti yang dijelaskan pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Proses Adsorpsi

3.6.4. Pengujian Desorpsi

Pengujian desorpsi dari residu adsorben dilakukan menggunakan 3 jenis asam yaitu HCl, H_2SO_4, dan HNO_3 sebanyak 100 mL dengan perlakuan tiga variabel bebas yaitu waktu kontak dengan 1, 2, 3, 4 jam dan konsentrasi asam 0,05; 0,5; 1; 1,5 dan 2 M.

3.6.4.1 Variasi Waktu Kontak

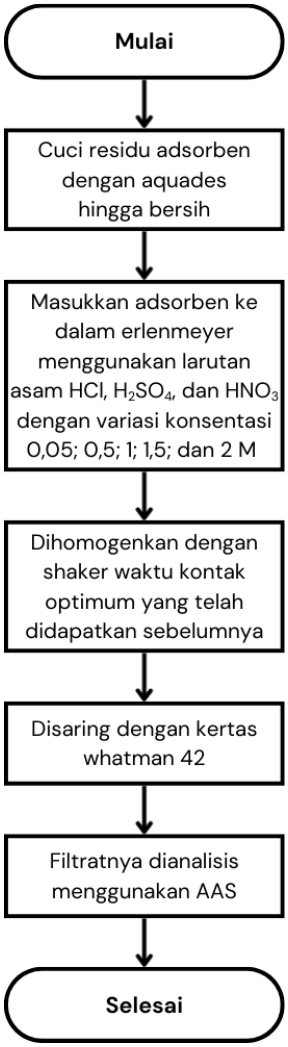
Pengujian variasi waktu kontak dilakukan dengan menghomogenkan adsorben dan larutan HCl 0,5 M ke dalam beaker glass dengan perlakuan variasi waktu 0,5; 1; 2; 3; dan 4 jam. Tahapan pengujian variasi waktu kontak dijelaskan pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 6 Proses Uji Variasi Waktu Kontak

3.6.4.2 Variasi Konsentrasi Asam

Setelah didapatkan waktu kontak optimum, kemudian melakukan pengujian variasi konsentrasi larutan asam. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan 3 larutan asam yaitu HCl, H_2SO_4, dan HNO_3 dengan menghomogenkan adsorben dan larutan asam perlakuan variasi 0,05; 0,5; 1; 1,5; dan 2 M ke dalam beaker glass dengan massa adsorben dan waktu kontak optimum. Adapun flowchart tahapan pengujian desorpsi variasi konsentrasi larutan asam pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 7 Proses Uji Variasi Konsentrasi Asam

3.7 Analisis Data

3.7.1 Analisis Adsorpsi-Desorpsi Pada Air Pb Sintetik

Data yang sebelumnya didapatkan melalui pengujian *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) berupa angka (kuantitatif) yang kemudian dianalisis untuk mengetahui kapasitas adsorpsi-desorpsi. Kapasitas adsorpsi didefinisikan sebagai jumlah adsorbat yang dapat terakumulasi pada permukaan adsorben yang digunakan. Sedangkan kapasitas desorpsi merupakan kemampuan suatu larutan pendesorpsi untuk melepaskan suatu zat yang telah diserap oleh adsorben. Dari pengujian *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) diketahui nilai dari konsentrasi logam timbal (Pb) pada air sebelum dan sesudah proses adsorpsi maupun proses desorpsi. Menghitung konsentrasi timbal yang terserap oleh adsorben menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C\ terserap = Co - Ct$$

Keterangan:

Co = konsentrasi awal air limbah (mg/L)

Ct = konsentrasi akhir air limbah (mg/L)

Kemudian melakukan perhitungan kapasitas adsorpsi dari adsorben menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kapasitas Adsorpsi } (qt) = \frac{(Co-Ct)}{m} \times V$$

Keterangan:

Co = konsentrasi awal air limbah (mg/L)

Ct = konsentrasi akhir air limbah (mg/L)

V = volume larutan (L)

m = massa adsorben (g)

Selanjutnya yaitu melakukan perhitungan untuk mendapatkan efisiensi nilai desorpsi. Perhitungan desorpsi menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{ desorpsi} = \frac{Ct}{Co} \times 100\%$$

Keterangan:

Co = konsentrasi timbal teradsorpsi (mg/L)

Ct = konsentrasi timbal terdesorpsi (mg/L)

Kemudian melakukan perhitungan kapasitas desorpsi menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kapasitas desorpsi } (qt) = \frac{(Co-Ct)}{m} \times V$$

Keterangan:

Co = konsentrasi timbal teradsorpsi (mg/L)

Ct = konsentrasi timbal terdesorpsi (mg/L)

V = volume larutan (L)

m = massa adsorben (g)

3.7.2 Analisis Kinetika Adsorpsi-Desorpsi

Data yang sebelumnya telah didapatkan melalui analisis adsorpsi-desorpsi berupa nilai kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihan, selanjutnya akan diolah menggunakan kinetika adsorpsi menggunakan model persamaan orde tingkat pertama dan persamaan orde tingkat kedua. Persamaan orde pertama dalam persamaan liniernya dapat dituliskan:

$$Log\ (qe - qt) = Log\ (qe)\ -\ \frac{K1}{2{,}303}(t)$$

Keterangan:

qt : kapasitas adsorpsi maksimal pada waktu t (mg/g)
qe : kapasitas adsorpsi pada waktu kesetimbangan (mg/g)
K1 : konstanta laju reaksi pada orde pertama (1/menit)

Sedangkan persamaan orde kedua dapat dituliskan dengan persamaan:

$$\frac{t}{qt}\ =\ \frac{1}{k_2\, qe^2} + \frac{1}{qe}(t)$$

Keterangan:

qt : kapasitas adsorpsi maksimal pada waktu t (mg/g)
qe : kapasitas adsorpsi pada waktu kesetimbangan (mg/g)
K_2 : konstanta laju reaksi pada orde kedua (1/menit)

3.7.3 Analisis Isoterm Adsorpsi-Desorpsi

Untuk menghitung Isoterm Langmuir mengikuti persamaan berikut ini:

$$\frac{Ce}{qt} = \frac{1}{Kl.qm} + \frac{1}{qm} \times Ce$$

Keterangan:

qt : kapasitas adsorpsi maksimal pada waktu t (mg/g)

qm : kapasitas adsorpsi (mg/g)

Kl : konstanta langmuir (l/mg

Ce : konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan (mg/L)

Kemudian untuk menghitung Isoterm Freundlich menggunakan persamaan:

$$\log qt = \log Kf + \frac{1}{n} \log Ce$$

Keterangan:

qt : total logam yang terserap pada saat kesetimbangan (mg/g)

Ce : konsentrasi logam pada saat kesetimbangan (mg/L)

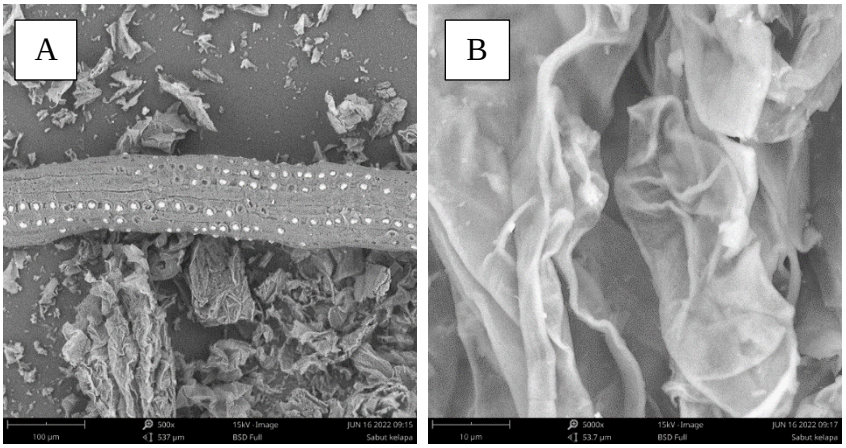
Kf : konstanta freundlich (l/mg).

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Adsorben

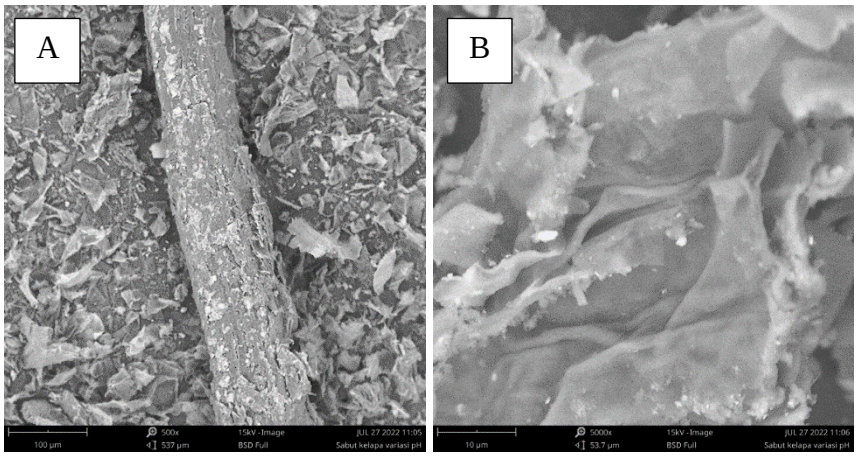
4.1.1 *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Karakterisasi adsorben menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan untuk mengetahui gambaran dari serat sabut kelapa pada perbesaran 500x dan 5000x. Hasil penelitian ini diadaptasi dari skripsi Nabila (2022) dengan judul Aplikasi Sabut Kelapa Sebagai Bioadsorben Logam Timbal (Pb) Dalam Media Air.



Gambar 4. 1 Karakterisasi Adsorben *Scanning Electron Microscope* (SEM) Sebelum Adsorpsi Perbesaran 500X (A) dan Perbesaran 5000X (B)

Pada Gambar 4.1 karakterisasi adsorben SEM perbesaran 500x (A), menunjukkan bahwa serat sabut kelapa berbentuk silinder yang permukaannya kasar dan berlubang. Sedangkan pada perbesaran 5000x (B), menunjukkan bahwa sabut kelapa memiliki rongga kosong, hal ini berhubungan dengan porositas yang dapat menyerap dan melepaskan zat logam dalam proses adsorpsi-desorpsi.



Gambar 4. 2 Karakterisasi Adsorben *Scanning Electron Microscope* (SEM) Sesudah Adsorpsi Perbesaran 500X (A) dan Perbesaran 5000X (B)

Pada Gambar 4.2, hasil analisis SEM sabut kelapa sesudah proses adsorpsi pada perbesaran 500x (A), memperlihatkan morfologi permukaan yang pori-porinya telah tertutup oleh partikel yang teradsorpsi. Sementara itu, pada perbesaran 5000x (B), tampak bahwa permukaan serbuk sabut kelapa menunjukkan struktur pori yang lebih rapat.

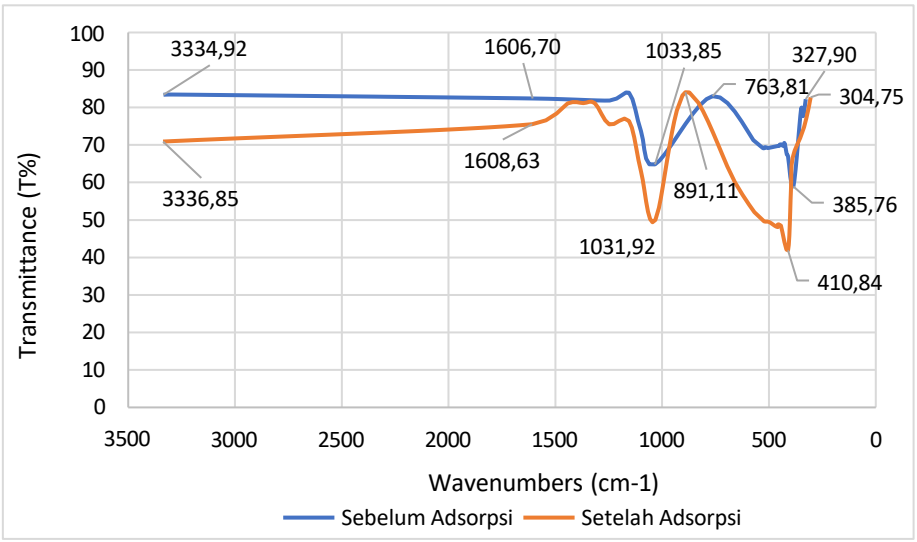
Apabila dibandingkan hasil SEM pada Gambar 4.1 sebelum adsorpsi dengan Gambar 4.2 sesudah adsorpsi, terlihat adanya perbedaan yang jelas. Sebelum adsorpsi, pori-pori sabut kelapa masih terbuka, sedangkan setelah adsorpsi pori-pori tersebut tampak tertutup. Selain itu, pada Gambar 4.2 perbesaran 500x, ukuran rongga pori terlihat lebih kecil dibandingkan sebelum adsorpsi, serta terlihat adanya partikel yang melekat di sekitar serat sabut kelapa. Partikel tersebut merupakan adsorbat yang menempel pada permukaan adsorben sehingga menyebabkan tertutupnya pori-pori sabut kelapa.

Jika dibandingkan dengan literatur yang ada, penelitian yang dilakukan oleh Arsyad, et al. (2015) menunjukkan perbedaan permukaan sabut kelapa sebelum dan sesudah dicuci dengan NaOH dan $KMnO_4$ melalui foto SEM. Perlakuan kimia dapat mengubah morfologi permukaan serat kelapa menjadi lebih kasar meskipun kekuatan

mekaniknya sedikit menurun. Perlakuan pertama menyebabkan kristalisasi pada permukaan serat, sedangkan perlakuan kedua menciptakan cekungan memanjang yang terbentuk pada permukaan serat kelapa. Menurut penelitian Etim et al. (2016), SEM sebelum adsorpsi menunjukkan permukaan yang sangat kasar, tidak beraturan, dan memiliki banyak rongga atau pori-pori terbuka. Struktur ini dijelaskan sebagai penyedia luas permukaan yang besar untuk menangkap molekul zat warna. Sedangkan sesudah Adsorpsi terjadi perubahan drastis di mana pori-pori yang sebelumnya terbuka menjadi tertutup atau terisi oleh lapisan molekul zat warna (*cationic dye*) dan permukaan terlihat lebih halus karena akumulasi adsorbat di atas situs aktif. Esfandiar et al. (2014) menyatakan bahwa perbandingan SEM sebelum dan sesudah proses desorpsi dapat digunakan untuk memverifikasi apakah struktur fisik adsorben masih tetap utuh atau mengalami kerusakan struktural setelah kontak dengan agen pendesorpsi yang agresif, yang pada akhirnya menentukan siklus hidup (*reusability*) dari adsorben berbasis sabut kelapa tersebut.

4.1.2 *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Karakterisasi adsorben dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan untuk mengenali gugus fungsi yang ada dalam adsorben sabut kelapa. FTIR menghasilkan spektra gelombang yang mencakup bilangan gelombang dan persen transmittansinya, kemudian ditentukan gugus fungsinya.



Gambar 4. 3 Karakterisasi Adsorben *Fourier Transform Infrared*

Pada Gambar 4.3 menunjukkan struktur kimia yang terkandung di dalam adsorben sabut kelapa. Dari hasil spektra menghasilkan gelombang 3334,92 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi ikatan O-H, jika dikonfirmasi pada serapan gelombang 1033,85 cm^{-1} yang merupakan vibrasi dari ikatan C-O, maka menunjukkan adanya kandungan senyawa alkohol pada sampel sabut kelapa. Terdapat gelombang 1606,70 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi ikatan C=O, didukung pada serapan gelombang 1033,85 cm^{-1} vibrasi dari ikatan C-O yang menunjukkan adanya kandungan senyawa ester.

Jika dibandingkan antara grafik sabut kelapa sebelum dan sesudah adsorpsi, terlihat persen transmitansi (T%) yang merupakan puncak pita getaran cenderung menurun. Transmitansi (T%) pada ikatan O-H sebelum adsorpsi berada pada 83%, namun setelah adanya adsorpsi persen transmitansi turun menjadi 71%. Hal ini menunjukkan karena adanya interaksi yang terjadi antara gugus aktif hidroksil (-OH) dengan kation Pb(II). Sehingga selama proses adsorpsi-desorpsi, ion logam terutama timbal akan berinteraksi dengan gugus fungsi yang terkandung dalam sabut kelapa.

Jika dibandingkan dengan literatur yang ada, penelitian yang dilakukan oleh Septa et al. (2025), pengujian sabut kelapa menggunakan FTIR terdapat puncak serapan bilangan gelombang 3289-3332 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus fungsi O-H. Selain itu ditemukan serapan gelombang 2890-2922 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus fungsi C-H. Dan pada bilangan gelombang 1729 cm^{-1} terlihat puncak yang tumpang tindih yang menunjukan adanya gugus C=O. Leonard et al. (2013) melakukan pengujian FTIR pada serbuk sabut kelapa sebelum dan sesudah perendaman NaOH. Hasil analisis FTIR terhadap sampel dapat dilihat bahwa telah terjadi perubahan gugus fungsi –OH, dilihat dari bergesernya pita serapan 3417,04 cm^{-1} menjadi 3476,84 cm^{-1}. Perubahan gugus fungsi C-H dengan bergesernya 2920,35 cm^{-1} menjadi 2390,87 cm^{-1}.

4.2 Analisis Uji Adsorpsi

Pengujian adsorpsi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui konsentrasi timbal yang teradsorpsi yang selanjutnya akan digunakan untuk pengujian desorpsi. Kondisi awal larutan timbal menggunakan data nilai optimal yang diambil dari skripsi penulis sebelumnya, konsentrasi awal larutan timbal yang digunakan sebesar 7,51 ppm, proses adsorpsi diperlakukan dengan kondisi pH 5 sebanyak 30 mL. Adsorben yang digunakan sebanyak 0,5 gram. Metode uji adsorpsi menggunakan *system batch* menggunakan *orbital shaker* dengan kecepatan pengadukan 150 rpm selama 60 menit. Dari hasil pengujian adsorpsi air limbah timbal didapatkan seperti dalam Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Pengujian Adsorpsi

Waktu	pH	Sampel	Konsentrasi Awal Timbal (Co)	Konsentrasi Akhir Timbal (Ct)	Konsentrasi Timbal yang Teradsorpsi	Efisiensi Penyisihan	Kapasitas Adsorpsi (qt)
menit			ppm	ppm	ppm	%	mg/g
60	5,17	1	7,51	1,04	6,46	86,10	0,38
		2		1,05	6,45	85,90	0,38
		3		1,13	6,37	84,83	0,38
		4		1,02	6,48	86,35	0,38
		5		0,97	6,53	86,97	0,39
Rata - rata						86,03	0,38

Dari hasil perhitungan uji adsorpsi didapatkan efisiensi penyisihan paling tinggi 86,97% dengan rata-rata 86,03% dan kapasitas adsorpsi paling tinggi 0,39 mg/g dengan rata-rata 0,38 mg/g. Dari hasil pengujian yang telah didapat, hal yang selanjutnya dilakukan adalah melakukan pengujian desorpsi.

4.3 Analisis Uji Desorpsi

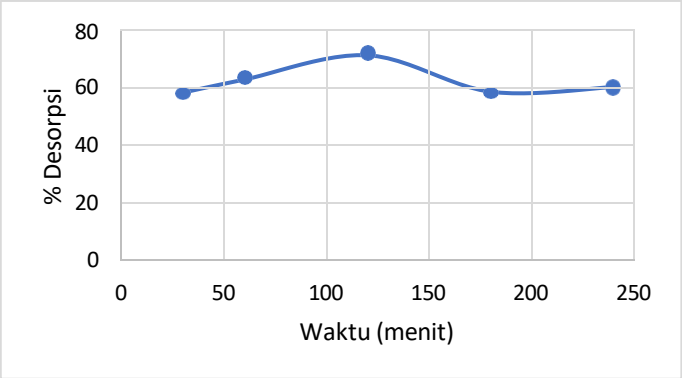
4.3.1 Desorpsi Variasi Waktu

Adanya pengujian desorpsi variasi waktu bertujuan untuk mendapatkan waktu paling optimal yang dibutuhkan larutan pendesorpsi dalam menyerap timbal yang terkandung dari adsorben secara maksimal. Variasi waktu yang digunakan yaitu 30, 60, 120, 180, 240 menit. Proses uji desorpsi variasi waktu ini menggunakan larutan HCl dengan pengondisian konsentrasi 0,5 M dengan adsorben 0,5 gram yang dimasukkan kedalam gelas beaker dan dilakukan pengadukan menggunakan *orbital shaker* dengan kecepatan 150 rpm. Hasil dari pengujian desorpsi variasi waktu didapatkan seperti dalam Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Pengujian Desorpsi Variasi Waktu

Waktu	Konsentrasi Timbal Teradsorpsi (Co)	Konsentrasi Timbal Terdesorpsi (Ct)	% Desorpsi
menit	ppm	ppm	%
30	6,46	3,77	58,32
60	6,45	4,05	62,84
120	6,37	4,54	71,31
180	6,48	3,80	58,63
240	6,53	3,93	60,26

Berdasarkan hasil perhitungan desorpsi variasi waktu pada menit ke 30 diperoleh % desorpsi sebesar 58,32%, pada menit 60 diperoleh % desorpsi meningkat menjadi 62,84%, kemudian pada menit ke 120 mengalami peningkatan kembali % desorpsi sebesar 71,31%, namun pada menit ke 180 dan 240 mengalami penurunan % desorpsi menjadi 58,63% dan 60,26%. Sehingga didapatkan nilai % desorpsi optimum terjadi pada waktu 120 menit memiliki nilai % desorpsi sebesar 71,31%. Keadaan jenuh sudah terlihat pada waktu 180 menit, keadaan ini terjadi apabila reaksi adsorben yang mengandung logam timbal dengan larutan pendesorpsi telah melewati waktu setimbangnya sehingga logam timbal tidak mampu diserap lagi oleh larutan pendesorpsi. Hal ini dapat dijelaskan bahwa semakin lama waktu kontak yang dilakukan pada saat desorpsi, maka semakin tinggi nilai % desorpsi hingga mencapai waktu tertentu dimana nilai % desorpsi kembali menurun.



Gambar 4. 4 Pengujian Desorpsi Variasi Waktu

Berdasarkan Gambar 4.4 titik tertinggi waktu optimal terdapat pada menit ke 120 dengan konsentrasi awal timbal sebelum desorpsi sebesar 6,37 ppm dan konsentrasi akhir sebesar 4,54 ppm, dengan % desorpsi sebesar 71,31%. Kemudian pada menit selanjutnya, % desorpsi mengalami penurunan. Dari hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu kontak antara adsorben yang mengandung timbal dengan larutan pendesorpsi, maka kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihannya semakin tinggi. Namun % desorpsi dapat menurun setelah proses desorpsi menemukan waktu setimbang. Hal ini dapat terjadi karena proses desorpsi telah terjadi secara maksimal karena ikatan antara molekul yang didesorpsi dan larutan pendesorpsi akan semakin lemah.

4.3.2 Desorpsi Variasi Konsentrasi Asam

Pengujian desorpsi variasi konsentrasi bertujuan untuk mendapatkan konsentrasi paling optimal yang dibutuhkan larutan pendesorpsi dalam menyerap timbal yang terkandung dari adsorben secara maksimal. Larutan pendesorpsi asam yang digunakan yaitu HCl, HNO_3, dan H_2SO_4 dengan menghomogenkan adsorben dan larutan asam perlakuan variasi 0,05; 0,5; 1; 1,5; dan 2 M. Proses uji desorpsi variasi konsentrasi ini menggunakan larutan pendesorpsi beberapa asam dengan pengkondisian variasi konsentrasi dengan adsorben 0,5 gram yang dimasukkan kedalam gelas beaker dan dilakukan pengadukan menggunakan *orbital shaker*

dengan kecepatan 150 rpm dan desorpsi ini dilakukan dengan menggunakan hasil dari variasi waktu yaitu 120 menit. Hasil dari pengujian desorpsi variasi konsentrasi asam didapatkan seperti dalam Tabel 4.3.

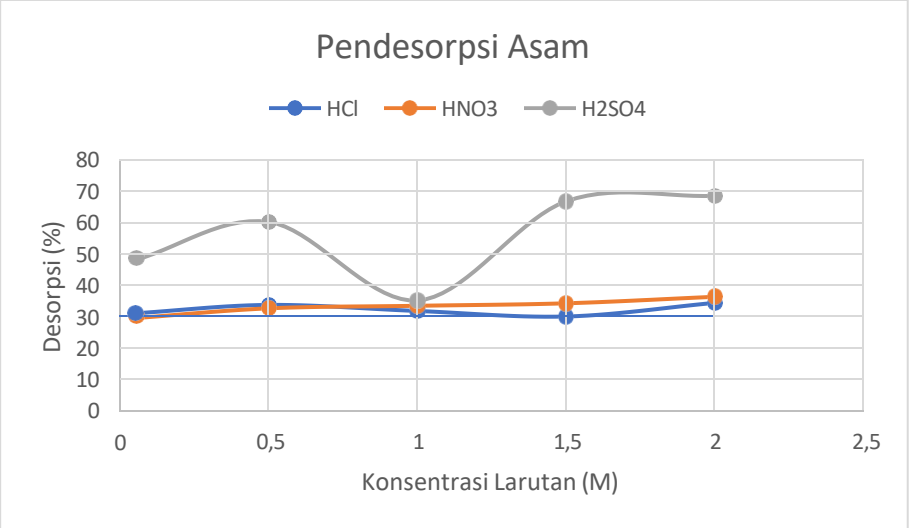
Tabel 4. 3 Pengujian Desorpsi Variasi Konsentrasi Asam

Jenis Asam	**Konsentrasi asam**	**Konsentrasi Timbal Teradsorpsi (Co)**	**Konsentrasi Timbal Terdesorpsi (Ct)**	**% Desorpsi**
	M	**ppm**	**ppm**	**%**
HCl	0,05	5,96	1,85	31,06
	0,5	5,96	2,01	33,74
	1	5,96	1,89	31,80
	1,5	5,96	1,79	30,04
	2	5,96	2,05	34,39
HNO_3	0,05	5,96	1,76	29,53
	0,5	5,96	1,94	32,65
	1	5,96	1,99	33,46
	1,5	5,96	2,04	34,25
	2	5,96	2,16	36,33
H_2SO_4	0,05	5,96	2,86	48,09
	0,5	5,96	3,58	60,17
	1	5,96	2,09	35,15
	1,5	5,96	3,98	66,78
	2	5,96	4,08	68,52

Berdasarkan hasil perhitungan desorpsi variasi konsentrasi asam, penggunaan larutan asam yang pertama yaitu HCl. Pada pengkondisian konsentrasi 0,05M didapatkan nilai % desorpsi sebesar 31,06%, selanjutnya pada konsentrasi 0,5M nilai % desorpsi 33,74%, selanjutnya pada konsentrasi 1M didapatkan nilai % desorpsi sebesar 31,80%, selanjutnya pada konsentrasi 1,5M memiliki nilai % desorpsi sebesar 30,04%. Kondisi optimal penggunaan larutan HCl terdapat pada konsentrasi 2M yang memiliki % desorpsi sebesar 34,39%.

Penggunaan larutan asam yang kedua yaitu HNO_3. Pada pengkondisian konsentrasi 0,05M didapatkan nilai % desorpsi sebesar 29,53%, selanjutnya pada konsentrasi 0,5M nilai % desorpsi 32,65%, selanjutnya pada konsentrasi 1M didapatkan nilai % desorpsi sebesar 33,46%, selanjutnya pada konsentrasi 1,5M memiliki nilai % desorpsi sebesar 34,25%. Didapatkan nilai optimal penggunaan larutan HNO_3 adalah pada konsentrasi 2M dengan % desorpsi sebesar 36,33%.

Penggunaan larutan asam yang ketiga yaitu H_2SO_4. Pada konsentrasi asam 0,05M didapatkan nilai % desorpsi sebesar 48,09%, selanjutnya pada konsentrasi 0,5M nilai % desorpsi sebesar 60,17%, selanjutnya pada konsentrasi 1M memiliki nilai % desorpsi 35,15%, pada konsentrasi 1,5M didapatkan nilai % desorpsi sebesar 66,78%. Nilai optimal penggunaan larutan H_2SO_4 terdapat pada konsentrasi 2M dengan % desorpsi 68,52%.



Gambar 4. 5 Pengujian Desorpsi Variasi Konsentrasi Asam

Berdasarkan Gambar 4.5 titik tertinggi konsentrasi optimal untuk larutan HCl, HNO_3, maupun H_2SO_4 adalah 2M dengan % desorpsi berturut-turut sebesar 34,39%, 36,33%, dan 68,52%. Semakin tinggi konsentrasi asam, selama masih dalam batas optimal, maka jumlah ion H^+ yang tersedia juga semakin banyak, sehingga kemampuan mendorong pelepasan Pb^{2+} semakin besar.

4.4 Analisis Kinetika Desorpsi

Proses desorpsi bisa terjadi karena adanya transfer antar adsorbat dengan kecepatan yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti difusi eksternal, difusi massal, proses fisika-kimia, serta pertukaran ion. Data kinetika akan memberikan informasi tentang bagaimana mekanisme desorpsi untuk efisiensi dalam proses desorpsi tersebut. Untuk mempelajari model kinetika, para peneliti melihat pola bagaimana adsorben dan adsorbat berubah seiring waktu. Dalam penelitian ini, yang digunakan adalah model pseudo orde pertama dan pseudo orde kedua.

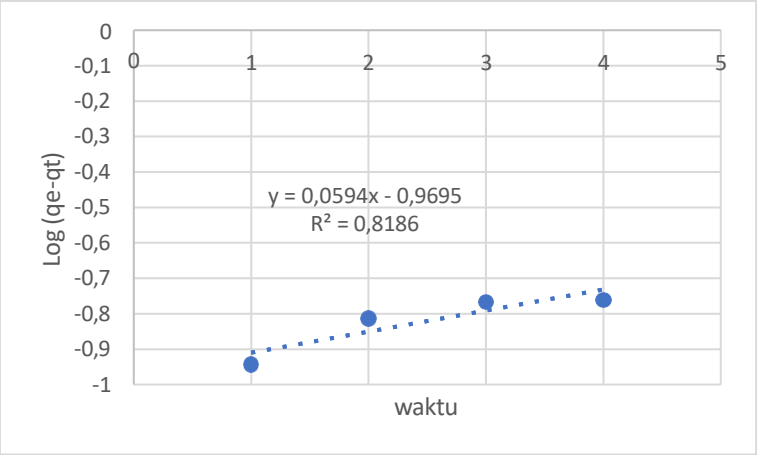
4.4.1 Model Pseudo Orde Pertama

Didapatkan hasil perhitungan kinetika desorpsi pseudo orde pertama sebagaimana pada Tabel 4.4 berikut ini

Tabel 4. 4 Model Pseudo Orde Pertama

Waktu	**Konsentrasi Timbal Teradsorpsi (Co)**	**Konsentrasi Timbal Terdesorpsi (Ct)**	**% Desorpsi**	**Kapasitas Desorpsi (qt)**	**qe-qt**	**Log (qe-qt)**
menit	**ppm**	**ppm**	**%**	**mg/g**		
30	6,46	3,77	58,32	0,53	0,17	-0,76
60	6,45	4,05	62,84	0,47	0,11	-0,94
120	6,37	4,54	71,31	0,36	0	-
180	6,48	3,80	58,63	0,53	0,17	-0,76
240	6,53	3,93	60,26	0,51	0,15	-0,81

Dari hasil perhitungan tersebut dilakukan plot kurva antara waktu dengan nilai log (qe-qt) seperti pada Gambar 4.6 sehingga kinetika desorpsi menggunakan model pseudo orde pertama diperoleh persamaan $y = 0,0594x - 0,9695$ dengan nilai $R^2 = 0,8186$.



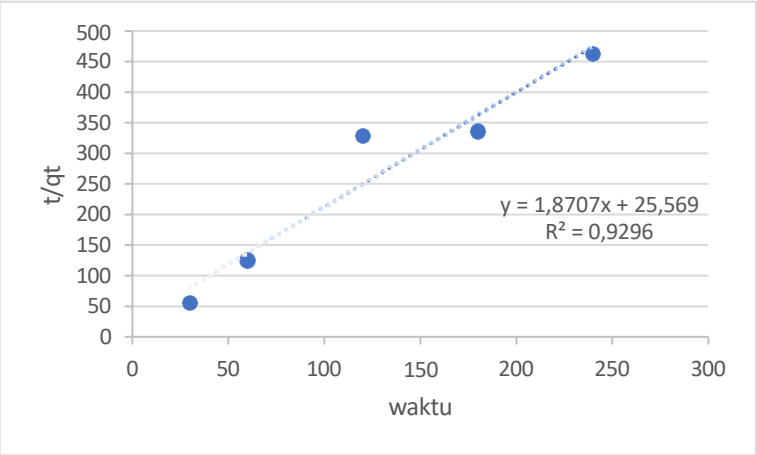
Gambar 4. 6 Kurva Model Pseudo Orde Pertama

4.4.2 Model Pseudo Orde Kedua

Didapatkan hasil perhitungan kinetika desorpsi pseudo orde pertama sebagaimana pada Tabel 4.5

Tabel 4. 5 Model Pseudo Orde Kedua

Waktu	Konsentrasi Timbal Teradsorpsi (Co)	Konsentrasi Timbal Terdesorpsi (Ct)	% Desorpsi	Kapasitas Desorpsi (qt)	t/qt
menit	ppm	ppm	%	mg/g	
30	6,46	3,77	58,32	0,53	55,63
60	6,45	4,05	62,84	0,47	125,09
120	6,37	4,54	71,31	0,36	328,19
180	6,48	3,80	58,63	0,53	335,33
240	6,53	3,93	60,26	0,51	462,10



Gambar 4. 7 Kurva Model Pseudo Orde Kedua

Dari hasil perhitungan tersebut dilakukan plot kurva antara waktu dengan nilai t/qt seperti pada Gambar 4.7 sehingga kinetika desorpsi menggunakan model pseudo orde pertama diperoleh persamaan y = 1,8707x + 25,569 dengan nilai R^2 = 0,9296.

4.4.3 Perbandingan Parameter Model Kinetika Desorpsi

Dari hasil persamaan linear pada kinetika desorpsi model pseudo orde pertama dan model pseudo orde kedua dilakukan perhitungan parameter model kinetika berupa jumlah desorpsi (qe) dan konstanta laju kesetimbangan orde pertama dan orde kedua. Sehingga didapatkan hasil perhitungan seperti pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Parameter Model Kinetika Adsorpsi

Model Kinetika	**Persamaan Garis Linear**	**Nilai R^2**	**Jumlah desorpsi (qe)**	**Konstanta laju kesetimbangan orde (k)**
			mg/g	**1/menit**
Pseudo Orde Pertama	y = 0,0594x - 0,9695	R^2 = 0,8186	0,1072	0,1367
Pseudo Orde Kedua	y = 1,8707x + 25,569	R^2 = 0,9296	0,5345	0,1368

Berdasarkan Tabel 4.6 didapatkan nilai qe pada model kinetika pseudo orde pertama sebesar 0,1072 mg/g, sedangkan nilai qe pseudo orde kedua sebesar 0,5345 mg/g. Dilakukan juga perhitungan nilai k dari model kinetika pseudo orde pertama didapatkan sebesar 0,1367 /menit, sedangkan nilai k dari model kinetika pseudo orde kedua sebesar 0,1368 /menit.

Berdasarkan hasil penelitian, model kinetika pseudo orde kedua menunjukkan nilai koefisien korelasi R^2 = 0,9296 yang lebih tinggi dibandingkan dengan model pseudo orde pertama (R^2 = 0,8186). Hal ini mengindikasikan bahwa laju desorpsi dikontrol oleh mekanisme kemisorpsi (penyerapan kimia), ini berarti ikatan yang terbentuk saat proses adsorpsi sebelumnya melibatkan pertukaran elektron (ikatan valensi) antara permukaan adsorben dengan molekul adsorbat. Dalam hal ini terjadi hambatan energi yang besar untuk melepaskan adsorbat yang mengindikasikan bahwa adsorben memiliki afinitas kimia yang kuat, sehingga memerlukan agen pendesorpsi yang lebih kuat (seperti H_2SO_4 pekat). Hal ini berbanding lurus dengan hasil pengujian desorpsi variasi konsentrasi asam yang mendapatkan hasil optimal pada penggunaan larutan H_2SO_4 konsentrasi 2M.

4.5 Analisis Isoterm Desorpsi

Pengujian model isoterm dilakukan untuk menentukan model kesetimbangan manakah yang terjadi dalam proses desorpsi. Secara umum, model isoterm yang cocok dengan hasil penelitian diuji menggunakan analisis regresi linear sederhana, dengan melihat nilai koefisien korelasi (R^2) yang digunakan untuk menentukan seberapa besar pengaruh dari variabel-variabel yang digunakan. Dalam analisis ini isoterm desorpsi ditentukan menggunakan 2 model yaitu isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich yang diolah menjadi kurva kesetimbangan linier.

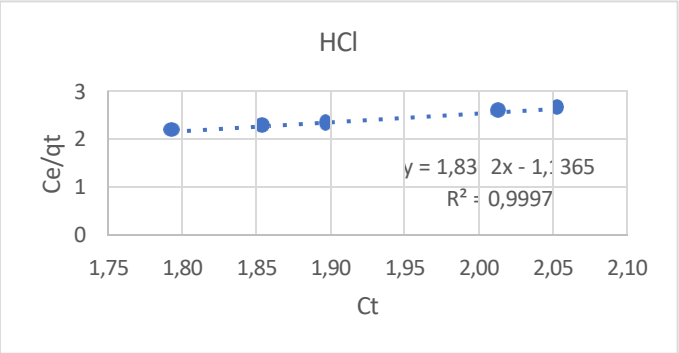
4.5.1 Model Isoterm Langmuir

Persamaan isoterm Langmuir dibuat grafik antara Ce/qt dengan Ce. Dari analisis yang dilakukan, maka dapat dihasilkan perhitungan isoterm Langmuir sebagaimana ditampilkan pada Tabel.

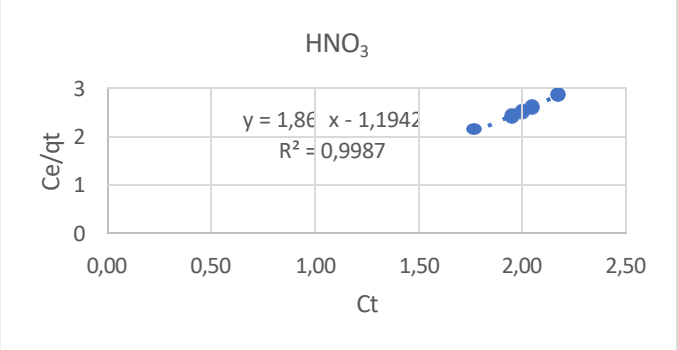
Tabel 4. 7 Model Isoterm Langmuir

Jenis Asam	**Konsentrasi asam**	**Konsentrasi Timbal Teradsorpsi (Co)**	**Konsentrasi Timbal Terdesorpsi (Ct)**	**% Desorpsi**	**Kapasitas Desorpsi (qt)**	$\frac{Ce}{qt}$
	M	**ppm**	**ppm**	**%**	**mg/g**	
HCl	0,05	5,96	1,85	31,06	0,82	2,25
	0,5	5,96	2,01	33,74	0,79	2,54
	1	5,96	1,89	31,80	0,81	2,33
	1,5	5,96	1,79	30,04	0,83	2,14
	2	5,96	2,05	34,39	0,78	2,62
HNO_3	0,05	5,96	1,76	29,53	0,84	2,09
	0,5	5,96	1,94	32,65	0,80	2,42
	1	5,96	1,99	33,46	0,79	2,51
	1,5	5,96	2,04	34,25	0,78	2,60
	2	5,96	2,16	36,33	0,75	2,85
H_2SO_4	0,05	5,96	2,86	48,09	0,61	4,63
	0,5	5,96	3,58	60,17	0,47	7,55
	1	5,96	2,09	35,15	0,77	2,71
	1,5	5,96	3,98	66,78	0,39	10,05
	2	5,96	4,08	68,52	0,37	10,88

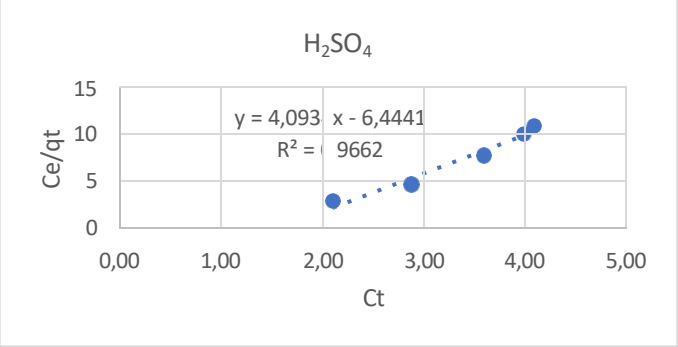
Dari data tabel 4.7 Dilakukan plot kurva nilai Ct dengan Ce/qt sebagaimana digambarkan seperti Gambar 4.8, Gambar 4.9, dan Gambar 4.10. Berdasarkan Gambar 4.8 Maka dapat dilihat bahwa hasil isoterm Langmuir HCl memiliki persamaan y = 1,8302x - 1,1365 dengan nilai R^2 = 0,9997. Sedangkan Gambar 4.9 merupakan hasil isoterm Langmuir HNO_3 memiliki persamaan y = 1,862x - 1,1942 dengan nilai R^2 = 0,9987. Dan hasil isoterm Langmuir H_2SO_4 pada Gambar 4.10 didapatkan persamaan y = 4,0934x - 6,4441 dengan nilai R^2 = 0,9662.



Gambar 4. 8 Kurva Isoterm Langmuir HCl



Gambar 4. 9 Kurva Isoterm Langmuir HNO_3



Gambar 4. 10 Kurva Isoterm Langmuir H_2SO_4

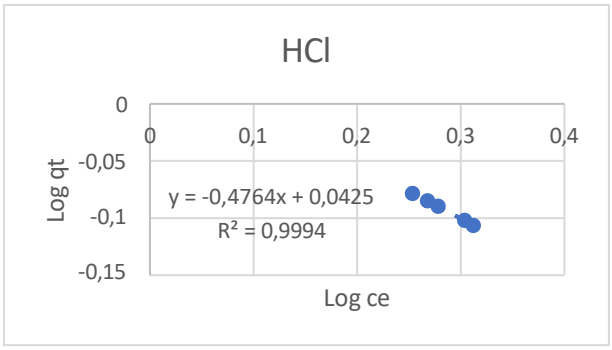
4.5.2 Model Isoterm Freundlich

Persamaan isoterm Freundlich menggunakan perbandingan antara log qt dan log ce.

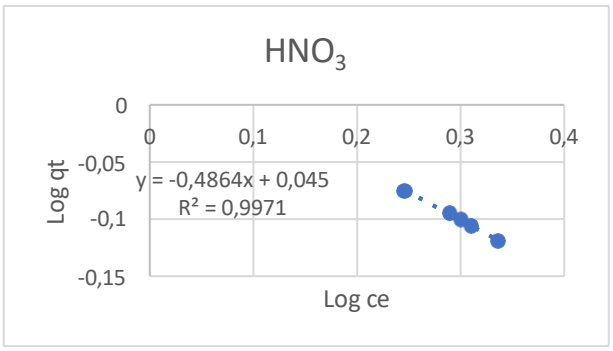
Tabel 4. 8 Model Isoterm Freundlich

Jenis Asam	Konsentrasi asam	Konsentrasi Timbal Teradsorpsi (Co)	Konsentrasi Timbal Terdesorpsi (Ct)	% Desorpsi	Kapasitas Desorpsi (qt)	Log qt	Log ce
	M	ppm	ppm	%	mg/g		
HCl	0,05	5,96	1,85	31,06	0,82	-0,084	0,267
	0,5	5,96	2,01	33,74	0,79	-0,102	0,303
	1	5,96	1,89	31,80	0,81	-0,089	0,278
	1,5	5,96	1,79	30,04	0,83	-0,078	0,253
	2	5,96	2,05	34,39	0,78	-0,106	0,312
HNO_3	0,05	5,96	1,76	29,53	0,84	-0,075	0,246
	0,5	5,96	1,94	32,65	0,80	-0,095	0,289
	1	5,96	1,99	33,46	0,79	-0,100	0,300
	1,5	5,96	2,04	34,25	0,78	-0,105	0,310
	2	5,96	2,16	36,33	0,75	-0,119	0,335
H_2SO_4	0,05	5,96	2,86	48,09	0,61	-0,208	0,457
	0,5	5,96	3,58	60,17	0,47	-0,323	0,555
	1	5,96	2,09	35,15	0,77	-0,111	0,321
	1,5	5,96	3,98	66,78	0,39	-0,402	0,600
	2	5,96	4,08	68,52	0,37	-0,425	0,611

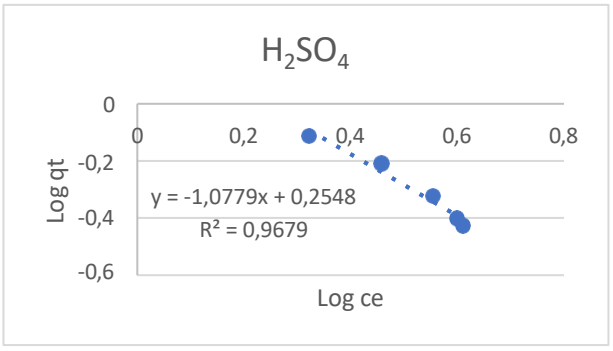
Berdasarkan Gambar 4.11, Gambar 4.12, dan Gambar 4.13, maka dapat dilihat bahwa hasil isoterm Freundlich HCl memiliki persamaan y = -0,4764x + 0,0425 dengan nilai R^2 = 0,9994. Sedangkan hasil isoterm Langmuir HNO_3 memiliki persamaan y = -0,4864x + 0,045 dengan nilai R^2 = 0,9971. Dan hasil isoterm Langmuir H_2SO_4 didapatkan persamaan y = -1,0779x + 0,2548 dengan nilai R^2 = 0,9679.



Gambar 4. 11 Kurva Isoterm Langmuir HCl



Gambar 4. 12 Kurva Isoterm Langmuir HNO_3



Gambar 4. 13 Kurva Isoterm Langmuir H_2SO_4

Dari hasil pengolahan data kedua model isoterm maka diperoleh perbandingan data antara isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich dari proses desorpsi sebagaimana ditampilkan pada tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Perbandingan Data Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich

HCl		**HNO3**		**H2SO4**	
Model Parameter	**Model Langmuir**	**Model Parameter**	**Model Langmuir**	**Model Parameter**	**Model Langmuir**
Desorpsi maks (mg/g)	0,5463	Desorpsi maks (mg/g)	0,537	Desorpsi maks (mg/g)	0,2442
Konstanta Afinitas Langmuir (l/g)	1,6103	Konstanta Afinitas Langmuir (l/g)	1,5592	Konstanta Afinitas Langmuir (l/g)	0,6352
RL	0,0814	RL	0,0839	RL	0,1836
Model Parameter	**Model Freundlich**	**Model Parameter**	**Model Freundlich**	**Model Parameter**	**Model Freundlich**
Intensitas Desorpsi	-2,099	Intensitas Desorpsi	-2,0559	Intensitas Desorpsi	-0,9277
Konstanta Freundlich	1,1028	Konstanta Freundlich	1,1091	Konstanta Freundlich	1,798

Didapatkan hasil perbandingan nilai R^2 data isoterm Langmuir dan isoterm Freudlich dari variasi larutan asam sebagaimana tabel 4.10 Berdasarkan hasil tabel perbandingan tersebut, isoterm yang terjadi pada HCl dan HNO_3 adalah isoterm Langmuir, sedangkan isoterm yang terjadi pada H_2SO_4 adalah isoterm freundlich.

Tabel 4. 10 Perbandingan Nilai R^2 dengan Variasi Larutan Asam

Perbandingan R^2	**Langmuir**	**Freundlich**	**Isoterm yang terjadi**
HCl	R^2 = 0,9997	R^2 = 0,9994	Langmuir
HNO_3	R^2 = 0,9987	R^2 = 0,9971	Langmuir
H_2SO_4	R^2 = 0,9662	R^2 = 0,9679	Freundlich

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil penelitian proses desorpsi variasi waktu, kondisi optimum terjadi pada menit ke 120 dengan %desorpsi sebesar 71%. Sedangkan proses desorpsi variasi konsentrasi HCl, HNO_3, maupun H_2SO_4 didapatkan konsentrasi optimum 2 M dengan %desorpsi sebesar 34%, 36%, dan 68%.
2. Berdasarkan hasil perhitungan kinetika desorpsi, didapatkan model yang sesuai untuk proses desorpsi yang terjadi adalah model kinetika adsorpsi pseudo orde kedua dengan nilai $R^2 = 0,9296$. Sedangkan jumlah desorpsi sebesar 0.5345 mg/g dan konstanta laju kesetimbangan sebesar 0.1368 /menit.
3. Berdasarkan hasil perhitungan model isoterm desorpsi yang sesuai untuk proses desorpsi yang terjadi pada HCl adalah isoterm Langmuir dengan nilai $R^2 = 0,9997$, sedangkan pada HNO_3 adalah isoterm Langmuir dengan nilai $R^2 = 0,9987$, dan pada H_2SO_4 adalah isoterm Freundlich dengan nilai $R^2 = 0,9679$.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan desorpsi variasi massa dan temperatur.
2. Untuk analisis selanjutnya dapat dilakukan analisis isoterm delr dan isoterm temkin.
3. Untuk pengujian selanjutnya dapat dilakukan *reuse* dan penerapan pada air limbah industry yang sesungguhnya.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, A., Saleh, A., & Novianty, I. (2014). Adsorpsi Karbon Aktif Dari Sabut Kelapa (Cocos nucifera) Terhadap Penurunan Fenol. Al Kimia, 1–2.

Aini, N., Wardhani, O. P., & Iriany. (2017). Desorpsi B-Karoten Minyak Kelapa Sawit (Crude Palm Oil) Dari Karbon Aktif Menggunakan Isopropanol. Jurnal Teknik Kimia USU, 5(4), 1–7. https://doi.org/10.32734/jtk.v5i4.1547

Arsyad, M., Wardana, I.N.G., Pratikto, and Irawan, Y.S. (2015) The Morphology of Coconut Fiber Surface under Chemical Treatment. *Matéria* (*Rio de Janeiro*), 20, 169-177. https://doi.org/10.1590/s1517-707620150001.0017

Ashraf, MA., Maah, M.J., Yusoff, I. (2010). Study of Banana peel (Musa sapientum) as a Cationic Biosorben. American Eurasian J. Agric & Environ. Sci 8(1): 7- 17.

Beaty, R. D., & Kerber, J. D. (1993). Concepts, Instrumentation, and Techniques in Atomic Absorption Spectrophotometry. Perkin-Elmer Corporation.

Dabrowski, A. (2001). *Adsorption—from theory to practice*. Advances in Colloid and Interface Science, 93(1-3), 135-224.

Dwika Adha, S., Purwonugroho, D., & Tjahjanto, R. T. (2015). Pengaruh konsentrasi larutan HNO3 dan waktu kontak terhadap desorpsi cadmium (II) yang terikat pada biomassa Azolla microphylla-sitrat. Kimia Student Journal, 1(1), 636–642.

Esfandiar, A., dkk. (2014). Adsorption of Cu(II) from aqueous solution by activated carbon prepared from coconut shell: Evaluation of adsorbent and kinetic, isotherm and thermodynamic studies. Journal of Industrial and Engineering Chemistry.

Etim, U. J., Umoren, S. A., & Eduok, U. M. (2016). Coconut coir dust as a low-cost adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solution. Journal of Saudi Chemical Society, 20, S67-S76.

Etsuyankpa, B. M., Augustine, A. U., Musa, S. T., Mathew, J. T., Ismail, H., Salihu, A. M., & Mamman, A. (2024). An overview of wastewater characteristics,

treatment and disposal: A review. Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 28(5), 1553–1572.

Felayati, M. F., Purwonugroho, D., Khunur, M. M. (2015). Adsorpsi Seng (Ii) Oleh Biomassa Azolla microphylla - Sitrat: Kajian Desorpsi Menggunakan Larutan Asam Nitrat. Kimia Student Journal, 1(1), 623–628.

Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. Chemical Engineering Journal, 156(1), 2–10.

Herwanto, B. & E. Santoso. (2006). Adsorpsi Ion Logam Pb(II) pada Membran Selulosa Kitosan Terikat Silang. Akta Kimia Indonesia, 2(1): 9-24

Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. Process Biochemistry.

Iqbal, A., & Bonasi, K. S. (2025). A critical review on the removal of lead (heavy metal) by using various adsorbents from aqueous solution. Environmental Science and Pollution Research International.

Kaewsarn, Pairat, Wanna S., Surachai Wongcharee. (2008). Dried Biosorbent Derived from Banana Peel: A Potential Biosorbent for Removal of Cadmium Ions from Aqueous Solution. Thailand Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference.

Kurniasari, L. (2010). Pemanfaatan Mikroorganisme Dan Limbah Pertanian Sebagai Bahan Baku Biosorben Logam Berat. Jurnal Momentum UNWAHAS, vol. 6, no. 2. doi:10.36499/jim.v6i2.115.

Lampiran VI PP No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup di Indonesia.

Lata, S., & Samadder, S. R. (2016). *Removal of heavy metals using agricultural particulate waste and mechanical microbial isolates from industrial effluents.* Environmental Science and Pollution Research.

Lisa, M. (2015). Uji Persamaan Langmuir Dan Freundlich Pada Penyerapan Mn(Ii) Oleh Komposit Fe3o4-Zeolit. Jurnal Dampak, 12(2), 114. https://doi.org/10.25077/dampak.12.2.114-119.2015.

Leonard, J., S, H. A. & Maulida. (2013). Pengaruh Penggunaan Larutan Alkali Dalam Uji Fourier Transform Infrared Pada Komposit Termoplastik Berpengisi Serbuk Serabut Kelapa. 2(2), 32–36.

Mc.Cash, E.M. (2001). Surface Chemistry. Oxford: Oxford University Press

Metcalf & Eddy. (2014). Wastewater engineering: Treatment and resource recovery (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Nafi'ah, R., & Nugraheni, B. (2017). Kinetika Adsorpsi Timbal dengan Adsorben Sabut Siwalan Terxanthasi. Cendekia Journal of Pharmacy, 1(1), 9–17. https://doi.org/10.31596/cjp.v1i1.2

Nasution, Poso, et al. (2015). "Studi Penurunan Tss, Turbidity Dan Cod Dengan Menggunakan Kitosan Dari Limbah Cangkang Keong Sawah (Pila Ampullacea) Sebagai Biokoagulan Dalam Pengolahan Limbah Cair PT. Sido Muncul, Tbk Semarang." Jurnal Teknik Lingkungan, vol. 4, no. 1, 2015, pp. 1-10.

Ningtyas, K. R., Sarono, Analianasari, Nugraha Agassi, T. N., Gina Putri, P., & Perdiansyah H, M. M. (2022). Pemanfaatan Limbah Sabut Kelapa Sebagai Produk Unggulan Lokal. Jurnal Pengabdian Nasional, 3(1), 1–6. https://jurnal.polinela.ac.id/JPN/article/view/2440

Oudar, J. (1973). La Chimie des Surfaces. Paris : Presses Universitaire de France.

Palar, H. (1994). Pencemaran dan Toksikologi logam berat. Jakarta : Rineka Cipta.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.

Quintelas, K., Flavio, S.S., E. Sousa, S. Neto. (2006). Competitive Biosorption Of Ortho Cresol, Phenol, Chlorophenol And Chromium(VI) From Aqueous Solution By A Bacterial Biofilm Supported On Granular Activated Carbon. Process Biochemistry 41(9):2087-2091.

Saleh, A., M.M.D. Pakpahan, N. Angelina. (2009). Pengaruh Konsentrasi Pelarut, Temperatur dan Waktu Pemasakan pada Pembuatan Pulp dari Sabut Kelapa Muda. Jurnal Teknik Kimia, 16(3): 35-44.

Septa, A., Budi, S., & Kusuma, W. (2025). Synthesis Of Cellulose Acetate Based on Coconut Coir (Cocos nucifera L .) and It ' s Application on Bioplastic Fabrication. Indonesian Journal of Chemical Science. 14(1).

Simonin, J. P. (2016). On the comparison of pseudo-first order and pseudo-second order heterogeneous chemical kinetic models. Chemical Engineering Journal.

Supriyatno, B. (2000). Pengelolaan air limbah yang berwawasan lingkungan suatu strategi dan langkah penanganannya. Jurnal Teknologi Lingkungan, 1(1).

Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., & Burton, F. (2014). Wastewater engineering: Treatment and resource recovery. McGraw-Hill Education.

Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., & Sing, K. S. W. (2015). Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution. Pure and Applied Chemistry, 87(9–10), 1051–1069.

Tran, H. N., You, S. J., & Chao, H. P. (2017). Insights into adsorption mechanism and isotherm modeling of adsorbents. Environmental Science and Pollution Research, 24, 11692–11705.

Wankasi, D., Horsfall, M., & Spiff, A. I. (2005). Desorption of Pb2+ and Cu2+ from Nipa palm (Nypa fruticans Wurmb) biomass. African Journal of Biotechnology, 4(9), 923–927.

Yadav, A., Yadav, P. K., & Shukla, P. D. N. (2013). Investigation of Heavy metal status in soil and vegetables grown in urban area of Allahabad, Uttar Pradesh, India. International Journal of Scientific and Research Publications, 3(9), 1–7.

Yuliarti, E. (2007). Kinetika Desorpsi Isotermal β-karoten Olein Sawit Kasar dari Atapulgit dengan Menggunakan Isopropanol.

Zustriani, A. K. (2019). Desorpsi Ion Logam Besi (Fe) dan Tembaga (Cu) dari Adsorben Biji Pepaya dengan Larutan Pendesorpsi Asam dan Basa. Integrated Lab Journal, 7(2), 106–118.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan

1. Preparasi larutan Timbal (Pb)
   a. Larutan standar Pb 10 ppm
      - Massa atom relatif (Ar) Pb = 207,2 g/mol
      - Massa molekul relatif (Mr) $Pb(NO_3)_2$ = 331,2 g/mol

      gr Pb $= \text{mg} \times \frac{\text{Mr Pb(NO3)2}}{Ar\ Pb}$

      $= 10\ mg\ \times \frac{331{,}2\ \text{g}/mol}{207{,}1\ \text{g}/mol}$

      $= 15{,}98\ mg$

      $= 0{,}0159\ gram$

      Jadi 0,0159 gram $Pb(NO_3)_2$ dilarutkan dalam 1000 ml aquades akan menjadi larutan induk Pb 10 ppm.

   b. Larutan uji 7 mg/L

      $C1 \times V1 = C2 \times V2$

      $V1 = \frac{\text{C2} \times \text{V2}}{\text{C1}}$

      $= \frac{7\ \text{ppm} \times 1000\ \text{ml}}{10\ \text{ppm}}$

      = 700 ml

      Jadi, untuk membuat 1000 ml larutan Pb 7 ppm dibutuhkan 700 ml larutan induk Pb 10 ppm.

2. Preparasi 1L larutan penyangga pH 5

   700 ml KHP 0,1 M + 300 ml NaOH 0,1 M

   a. 1000 ml KHP 0,1 M

      $0{,}1\ M = \frac{\text{gr}}{\text{Mr}} \times \frac{1000}{\text{mL}}$

      $0{,}1\ M = \frac{\text{gr}}{71{,}08} \times \frac{1000}{700\ \text{mL}}$

      $gr = 4{,}9756\ gram$

   b. 300 ml NaOH 2 0,1 M

      $0{,}1\ M = \frac{\text{gr}}{\text{Mr}} \times \frac{1000}{\text{mL}}$

      $0{,}1\ M = \frac{\text{gr}}{39{,}988} \times \frac{1000}{300\ \text{mL}}$

      $gr = 1{,}19964\ gram$

   Jadi, untuk membuat 1L larutan penyangga pH 5 adalah dengan melarutkan 4,9765 gram KHP dengan 700 ml aquades dan 1,19964 gram NaOH dengan 300 ml aquades, kemudian kedua larutan tersebut dihomogenkan.

3. Preparasi larutan pendesorpsi asam (HCl, HNO_3, dan H_2SO_4)

   a. HCl

      Berat molekul = 36,5 g/mol

      - 0,05 M

mol HCl	=	M × V	
	=	0,005 mol	
Berat HCl yang dibutuhkan	=	mol × berat molekul	
	=	0,1825	g
V HCl	=	$\frac{Berat\ HCl}{Kadar\ HCl}$	
	=	0,4932432	mL

- 0,5 M

mol HCl = M × V
= 0,05 mol
Berat HCl yang dibutuhkan = mol × berat molekul
= 1,825 g

$$V\ HCl = \frac{Berat\ HCl}{Kadar\ HCl}$$

= 4,9324324 mL

- 1 M

mol HCl = M × V
= 0,1 mol
Berat HCl yang dibutuhkan = mol × berat molekul
= 3,65 g

$$V\ HCl = \frac{Berat\ HCl}{Kadar\ HCl}$$

= 9,8648649 mL

- 1,5 M

mol HCl = M × V
= 0,15 mol
Berat HCl yang dibutuhkan = mol × berat molekul
= 5,475 g

$$V\ HCl = \frac{Berat\ HCl}{Kadar\ HCl}$$

= 14,797297 mL

- 2 M

mol HCl
= M × V
= 0,2 mol
Berat HCl yang dibutuhkan = mol × berat molekul
= 7,3 g

$$V\ HCl = \frac{Berat\ HCl}{Kadar\ HCl}$$

= 19,72973 mL

b. HNO_3

- 0,05 M

mol HNO_3 = M × V
= 0,005 mol
Berat HNO_3 yang dibutuhkan = mol × berat molekul
= 0,315 g

$$V\ HNO_3 = \frac{Berat\ HNO3}{Kadar\ HNO3}$$

= 0,4846154 mL

- 0,5 M

mol HNO_3 = M × V
= 0,05 mol
Berat HNO_3 yang dibutuhkan = mol × berat molekul
= 3,15 g

$$V\ HNO_3 = \frac{Berat\ HNO3}{Kadar\ HNO3}$$

= 4,8461538 mL

- 1 M

mol HNO_3 = M × V
= 0,1 mol
Berat HNO_3 yang dibutuhkan = mol × berat molekul
= 6,3 g

$$V\ HNO_3 = \frac{Berat\ HNO3}{Kadar\ HNO3}$$

= 9,6923077 mL

- 1,5 M

mol HNO_3 = M × V
= 0,15 mol
Berat HNO_3 yang dibutuhkan = mol × berat molekul
= 9,45 g

$$V\ HNO_3 = \frac{Berat\ HNO3}{Kadar\ HNO3}$$

= 14,538462 mL

- 2 M

mol HNO_3 = M × V
= 0,2 mol
Berat HNO_3 yang dibutuhkan = mol × berat molekul
= 12,6 g

$$V\ HNO_3 = \frac{Berat\ HNO3}{Kadar\ HNO3}$$

= 19,384615 mL

c. H_2SO_4

- 0,05 M

mol H_2SO_4 = M × V
= 0,005 mol
Berat H_2SO_4 yang dibutuhkan = mol × berat molekul
= 0,49 g

$$V\ H_2SO_4 = \frac{Berat\ H2SO4}{Kadar\ H2SO4}$$

= 0,5157895 mL

- 0,5 M

mol H_2SO_4 = M × V
= 0,05 mol
Berat H_2SO_4 yang dibutuhkan = mol × berat molekul
= 4,9 g

$$V\ H_2SO_4 = \frac{Berat\ H2SO4}{Kadar\ H2SO4}$$

= 5,1578947

- 1 M

mol H_2SO_4 = M × V
= 0,1 mol
Berat H_2SO_4 yang dibutuhkan = mol × berat molekul
= 9,8 g

$$V\ H_2SO_4 = \frac{Berat\ H2SO4}{Kadar\ H2SO4}$$

= 10,315789 mL

- 1,5 M

mol H_2SO_4 = M × V
= 0,15 mol
Berat H_2SO_4 yang dibutuhkan = mol × berat molekul
= 14,7 g

$$V\ H_2SO_4 = \frac{Berat\ H2SO4}{Kadar\ H2SO4}$$

= 15,473684 mL

- 2 M

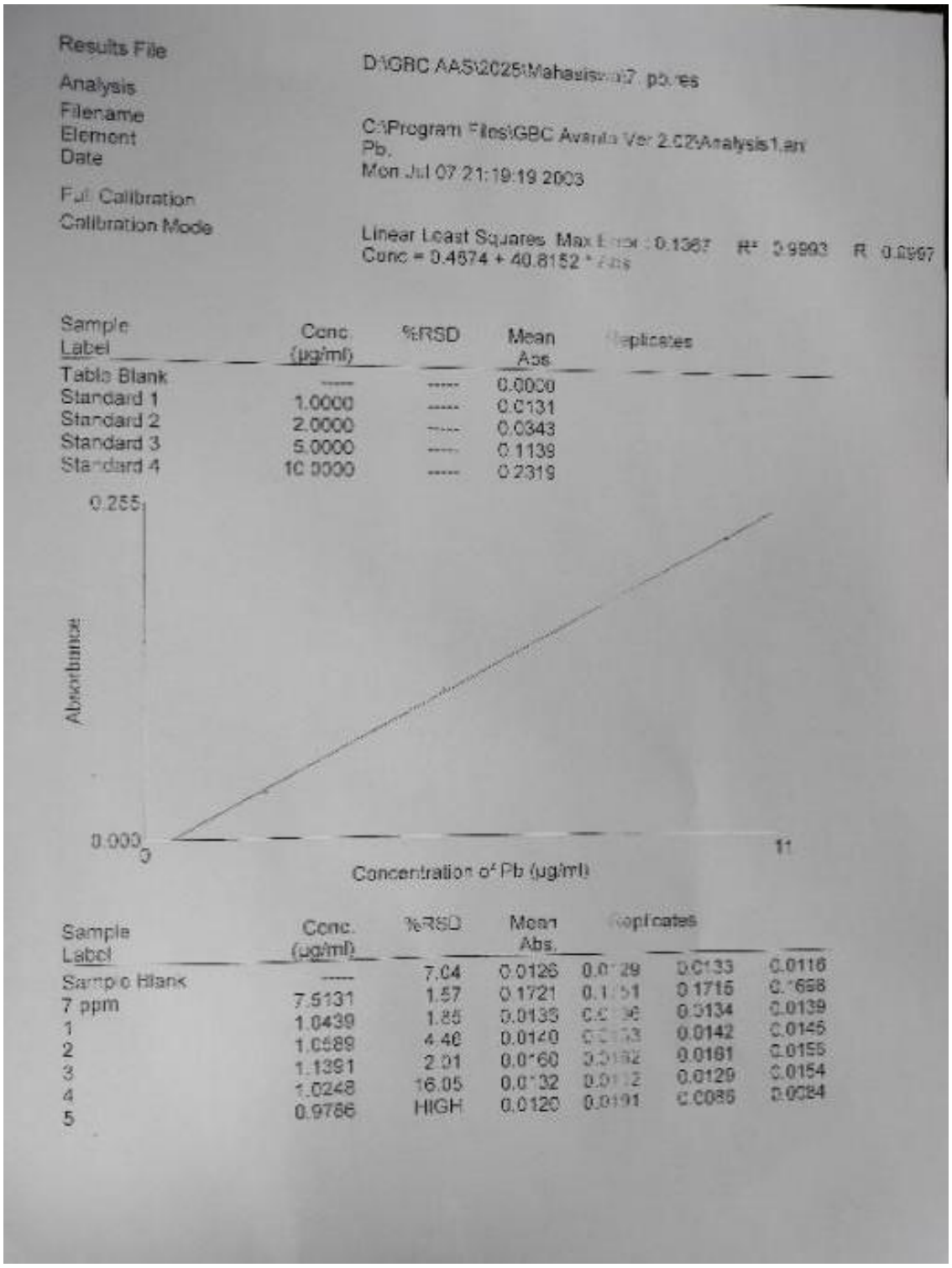
mol H_2SO_4 = M × V
= 0,2 mol
Berat H_2SO_4 yang dibutuhkan = mol × berat molekul
= 19,6 g

$$V\ H_2SO_4 = \frac{Berat\ H2SO4}{Kadar\ H2SO4}$$

= 20,631579 mL

Lampiran 2 Hasil AAS

- Hasil AAS Adsorpsi



Results File D:\GBC AAS\2025\Mahasis...7. pb.res
Analysis
Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.an
Element Pb.
Date Mon Jul 07 21:19:19 2003
Full Calibration
Calibration Mode Linear Least Squares Max E... 0.1367 R² 0.9993 R 0.0997
Conc = 0.4674 + 40.8152 * Abs

Sample Label	Conc (µg/ml)	%RSD	Mean Abs	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	1.0000	-----	0.0131	
Standard 2	2.0000	-----	0.0343	
Standard 3	5.0000	-----	0.1139	
Standard 4	10.0000	-----	0.2319	

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates		
Sample Blank	-----	7.04	0.0126	0.0129	0.0133	0.0116
7 ppm	7.5131	1.57	0.1721	0.1751	0.1715	0.1698
1	1.0439	1.85	0.0135	0.0136	0.0134	0.0139
2	1.0589	4.46	0.0140	0.0153	0.0142	0.0145
3	1.1391	2.01	0.0160	0.0162	0.0161	0.0155
4	1.0248	16.05	0.0132	0.0112	0.0129	0.0154
5	0.9786	HIGH	0.0120	0.0191	0.0086	0.0084

- Hasil AAS Desorpsi HCl

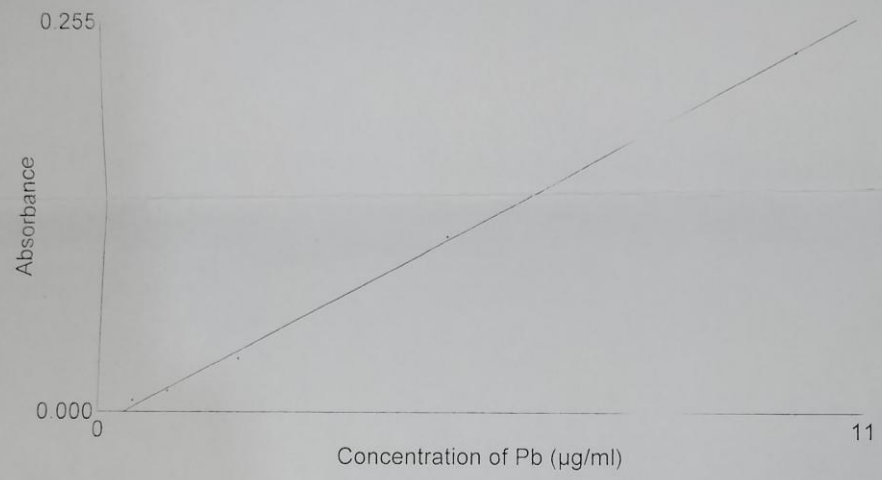
Results File D:\GBC AAS\2025\Mahasisv ...\70. pb1.res

Analysis Filename C:\Program Files\GBC Avan ... Ver 2.02\Analysis1.anl
Element Pb,
Date Thu Feb 28 05:24:42 2002

Calibration Mode Full Calibration

Linear Least Squares Max E ...ror : 0.2022 R^2 : 0.9985 R : 0.9993
Conc = 0.3919 + 41.3516 * A...s

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	...eplicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.5000	-----	0.0070	
Standard 2	1.0000	-----	0.0130	
Standard 3	2.0000	-----	0.0340	
Standard 4	5.0000	-----	0.1140	
Standard 5	10.0000	-----	0.2320	



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	...eplicates	
Sample Blank	-----	7.23	0.0110	0.0...13	0.0116	0.0101
Sampel 1	1.8530	4.09	0.0353	0.0...45	0.0345	0.0370
Sampel 2	2.0129	6.42	0.0392	0.0...76	0.0421	0.0379
Sampel 3	1.8971	11.42	0.0364	0.0...40	0.0340	0.0412
Sampel 4	1.7923	14.14	0.0339	0.0...28	0.0391	0.0297
Sampel 5	2.0514	9.92	0.0401	0.0...07	0.0359	0.0438

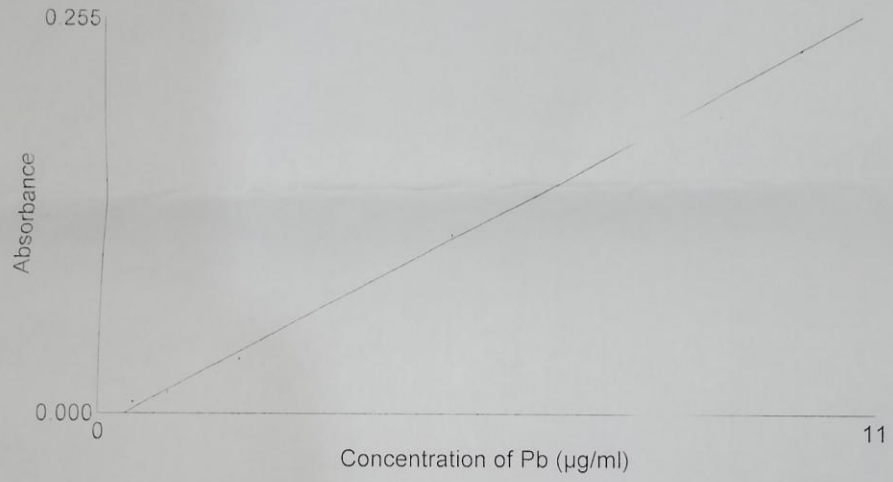
- Hasil AAS Desorpsi HNO_3

Results File D:\GBC AAS\2025\Mahasis...81. pb.res

Analysis Filename C:\Program Files\GBC Avan... Ver 2.02\Analysis1.anl
Element Pb,
Date Thu Mar 07 06:17:20 2002

Full Calibration
Calibration Mode Linear Least Squares Max E...or : 0.2022 R^2 : 0.9985 R : 0.9993
Conc = 0.3919 + 41.3516 * A...s

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	...eplicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.5000	-----	0.0070	
Standard 2	1.0000	-----	0.0130	
Standard 3	2.0000	-----	0.0340	
Standard 4	5.0000	-----	0.1140	
Standard 5	10.0000	-----	0.2320	



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	...eplicates		
Sample Blank	-----	15.46	0.0176	0.0...10	0.0192	0.0144
1	1.7620	11.01	0.0331	0.0...22	0.0301	0.0372
2	1.9481	9.64	0.0376	0.0...18	0.0362	0.0350
3	1.9963	7.22	0.0388	0.0...56	0.0405	0.0404
4	2.0432	3.36	0.0399	0.0...14	0.0390	0.0415
5	2.1672	3.63	0.0429	0.0...46	0.0428	0.0415

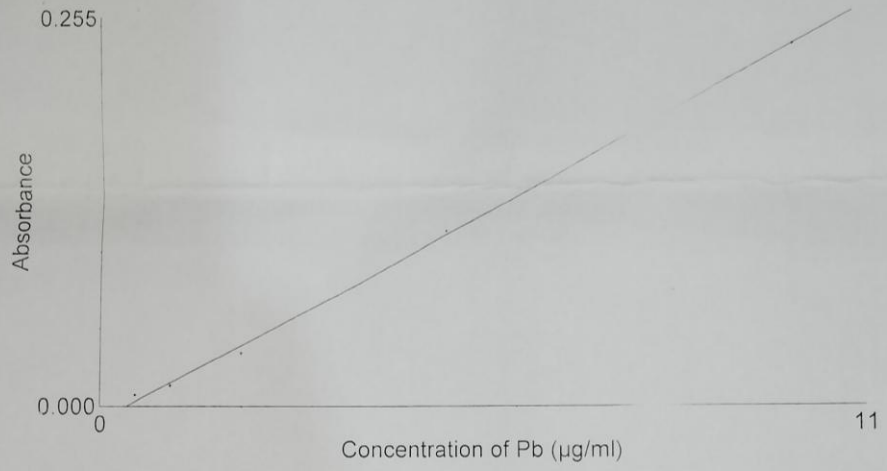
- Hasil AAS Desorpsi H_2SO_4

Results File D:\GBC AAS\2025\Mahasisv...88. pb.res

Analysis Filename C:\Program Files\GBC Avan... Ver 2.02\Analysis1.anl
Element Pb,
Date Tue Mar 19 01:35:45 2002

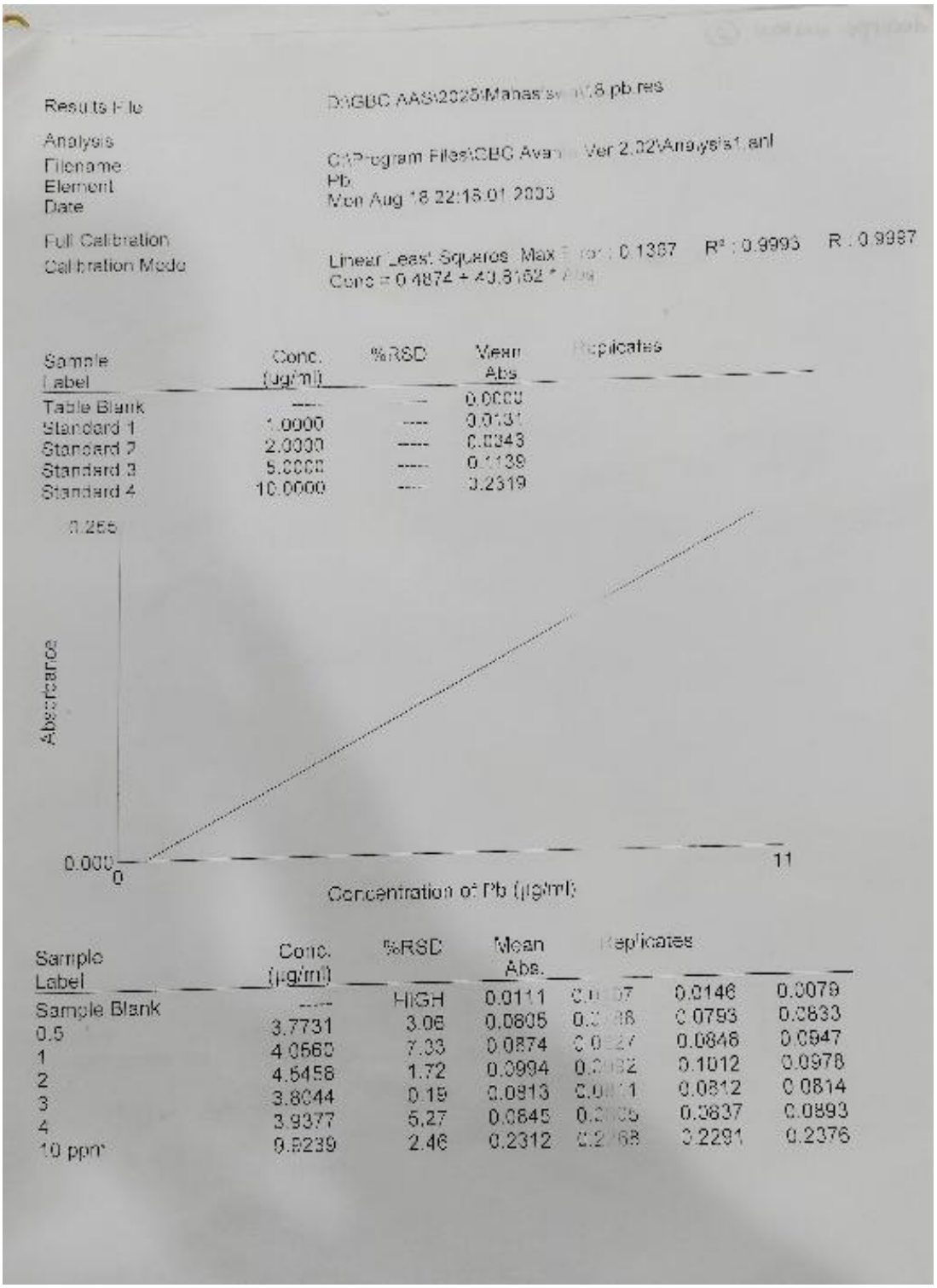
Full Calibration
Calibration Mode Linear Least Squares Max E...or : 0.2022 R^2 : 0.9985 R : 0.9993
Conc = 0.3919 + 41.3516 * A...s

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	...eplicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.5000	-----	0.0070	
Standard 2	1.0000	-----	0.0130	
Standard 3	2.0000	-----	0.0340	
Standard 4	5.0000	-----	0.1140	
Standard 5	10.0000	-----	0.2320	



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	...eplicates		
Sample Blank	-----	7.97	0.0100	0.0...8	0.0092	0.0100
Sample 1	2.8688	5.01	0.0599	0.0...9	0.0629	0.0569
Sample 2	3.5897	3.69	0.0773	0.0...4	0.0775	0.0801
Sample 3	2.0969	10.27	0.0412	0.0...9	0.0366	0.0422
Sample 4	3.9839	1.53	0.0869	0.0...4	0.0880	0.0872
Sample 5	4.0873	2.35	0.0894	0.0...3	0.0873	0.0915

- AAS Desorpsi Waktu



Results File D:\GBC AAS\2025\Manas\s... 8 pb.res

Analysis
Filename C:\Program Files\GBC Ava... Ver 2.32\Analysis1.anl
Element Pb
Date Mon Aug 18 22:15:01 2025

Full Calibration
Calibration Mode Linear Least Squares Max ... : 0.1387 R² : 0.9993 R : 0.9997
Conc = 0.4874 + 43.8162 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs	Replicates
Table Blank	----	---	0.0000	
Standard 1	1.0000	----	0.0131	
Standard 2	2.0000	-----	0.0343	
Standard 3	5.0000	-----	0.1139	
Standard 4	10.0000	----	0.2319	

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates		
Sample Blank	----	HIGH	0.0111	0.0107	0.0146	0.0079
0.5	3.7731	3.06	0.0805	0.0768	0.0793	0.0833
1	4.0560	7.33	0.0874	0.0827	0.0848	0.0947
2	4.5458	1.72	0.0994	0.0982	0.1012	0.0978
3	3.8044	0.19	0.0813	0.0811	0.0812	0.0814
4	3.9377	5.27	0.0845	0.0805	0.0837	0.0893
10 ppm	9.8239	2.46	0.2312	0.2368	0.2291	0.2376

Lampiran 3 Dokumentasi

- Sabut kelapa sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) diblender

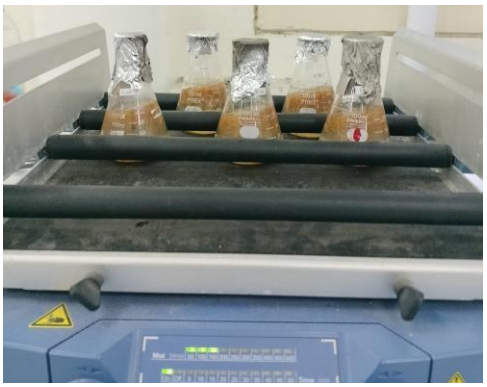




- Proses adsorpsi



- Proses desorpsi



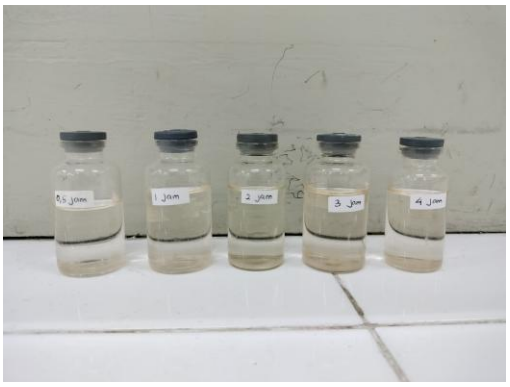
- Proses penyaringan

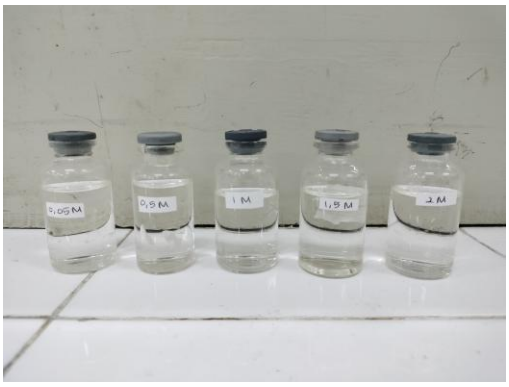


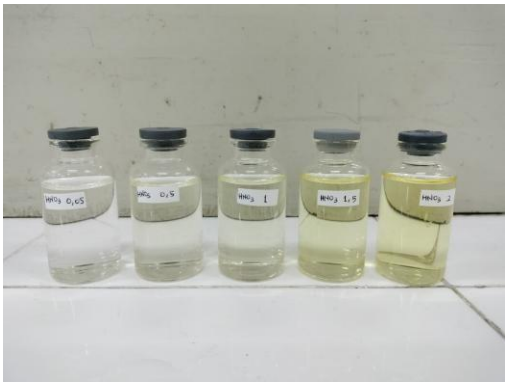
- Proses pengeringan residu adsorben menggunakan oven



- Hasil desorpsi







Lampiran 4 Perhitungan Kinetika Desorpsi

Model Pseudo Orde Pertama

$$\text{Log (qe-qt)} = Log\ (qe) - \frac{K1}{2{,}303}(t)$$

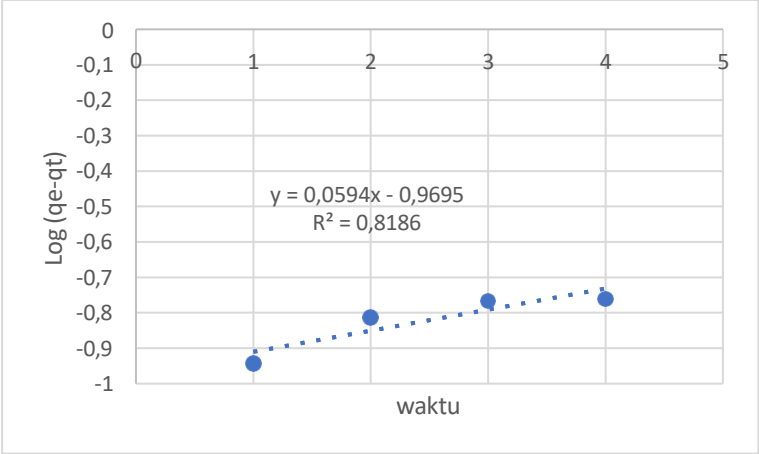
Keterangan:

qt = kapasitas logam teradsorpsi maksimal pada waktu t (mg/g)

qe = kapasitas logam teradsorpsi pada waktu kesetimbangan (mg/g)

K1 = konstanta laju reaksi pada orde pertama (1/menit)

Waktu	Konsentrasi Timbal Teradsorpsi (Co)	Konsentrasi Timbal Terdesorpsi (Ct)	% Desorpsi	Kapasitas Desorpsi (qt)	qe-qt	Log (qe-qt)
menit	ppm	ppm	%	mg/g		
30	6,4692	3,7731	58,324	0,53922	0,17358	-0,760500316
60	6,4542	4,0560	62,843	0,47964	0,114	-0,943095149
120	6,3740	4,5458	71,318	0,36564	0	-
180	6,4883	3,8044	58,635	0,53678	0,17114	-0,766648472
240	6,5345	3,9377	60,260	0,51936	0,15372	-0,813269624



Dari grafik didapatkan persamaan:

y = 0,0594x - 0,9695

R^2 = 0,8186

Diperoleh nilai:

Log qe = -0.9695

qe = 0.107275365 mg/g

$\frac{k1}{2{,}303}$ = 0.0594

k1 = 0.1367982 /menit

Model Pseudo Orde Kedua

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 qe^2} + \frac{1}{qe}(t)$$

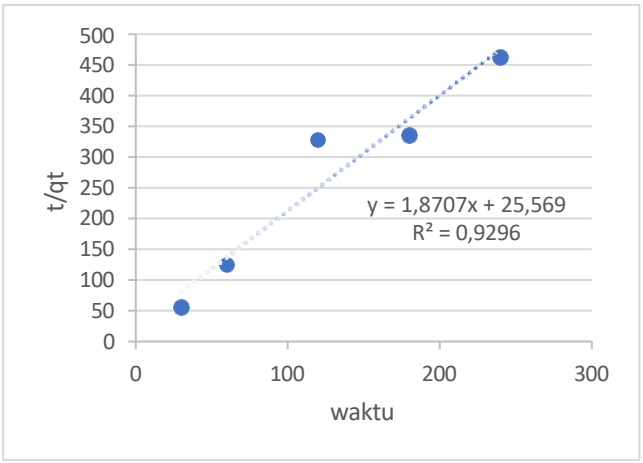
Keterangan:

qt = jumlah gram padatan yang teradsorpi oleh adsorben pada waktu tertentu (mg/g)

qe = jumlah gram padatan teradsorpi oleh adsorben pada kesetimbangan (mg/g)

K_2 = konstanta laju kesetimbangan reaksi pada orde kedua (1/menit)

Waktu	Konsentrasi Timbal Teradsorpsi (Co)	Konsentrasi Timbal Terdesorpsi (Ct)	% Desorpsi	Kapasitas Desorpsi (qt)	t/qt
menit	ppm	ppm	%	mg/g	
30	6,4692	3,7731	58,324	0,53922	55,63591855
60	6,4542	4,0560	62,843	0,47964	125,0938204
120	6,3740	4,5458	71,318	0,36564	328,1916639
180	6,4883	3,8044	58,635	0,53678	335,3329111
240	6,5345	3,9377	60,260	0,51936	462,1072089



Dari grafik didapatkan persamaan:

y = 1,8707x + 25,569

R^2 = 0,9296

Diperoleh nilai:

$\frac{1}{qe}$ = 1,8707

qe = 0,53455 mg/g

qe^2 = 0,28575 mg/g

$$\frac{1}{k2 \times q^2} = 25{,}569$$

$$\frac{1}{k2 \times 0{,}28575} = 25{,}569$$

$$k2 = \frac{1}{25{,}569 \times 0{,}28575}$$

k2 = 0,136865677 g/mg.menit

Lampiran 5 Perhitungan Isoterm Desorpsi

Model Isoterm Langmuir

$$\frac{Ce}{qt} = \frac{1}{Kl.\ qm} + \frac{1}{qm} \times Ce$$

Keterangan:

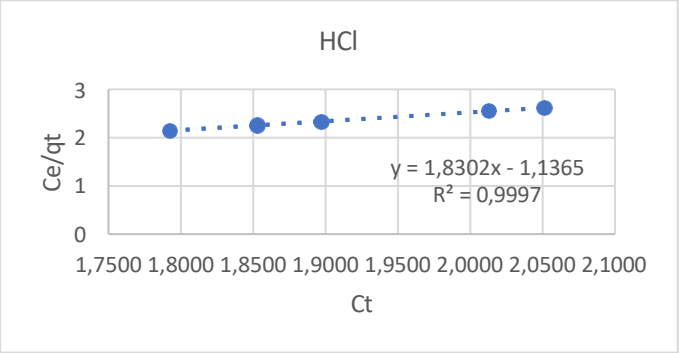
qt = jumlah adsorbat yang terikat pada adsorben (mg/g)

qm = kapasitas adsorpsi (mg/g)

Kl = konstanta langmuir (l/mg)

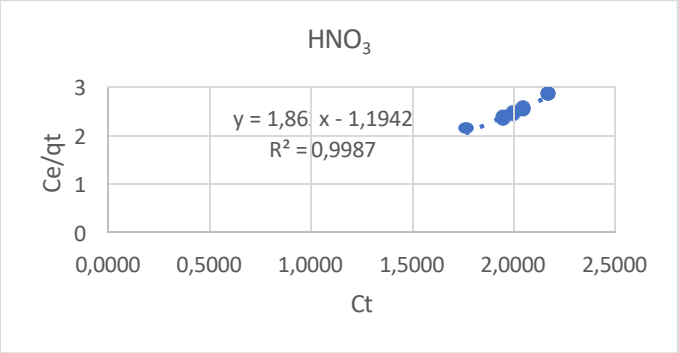
Ce = konsentrasi adsorbat pada kondisi kesetimbangan (mg/L)

Jenis Asam	Konsentrasi asam	Konsentrasi Timbal Teradsorpsi (Co)	Konsentrasi Timbal Terdesorpsi (Ct)	% Desorpsi	Kapasitas Desorpsi (qt)	$\frac{Ce}{qt}$
	M	ppm	ppm	%	mg/g	
HCl	0,05	5,9650	1,8530	31,065	0,82240	2,253161479
	0,5	5,9650	2,0129	33,745	0,79042	2,546620784
	1	5,9650	1,8971	31,804	0,81358	2,331792817
	1,5	5,9650	1,7923	30,047	0,83454	2,147650203
	2	5,9650	2,0514	34,391	0,78272	2,620860589
HNO_3	0,05	5,9650	1,7620	29,539	0,84060	2,096121818
	0,5	5,9650	1,9481	32,659	0,80338	2,424879882
	1	5,9650	1,9963	33,467	0,79374	2,515055308
	1,5	5,9650	2,0432	34,253	0,78436	2,604926309
	2	5,9650	2,1672	36,332	0,75956	2,853230818
H_2SO_4	0,05	5,9650	2,8688	48,094	0,61924	4,63277566
	0,5	5,9650	3,5897	60,179	0,47506	7,556308677
	1	5,9650	2,0969	35,153	0,77362	2,710503865
	1,5	5,9650	3,9839	66,788	0,39622	10,05476755
	2	5,9650	4,0873	68,521	0,37554	10,883794



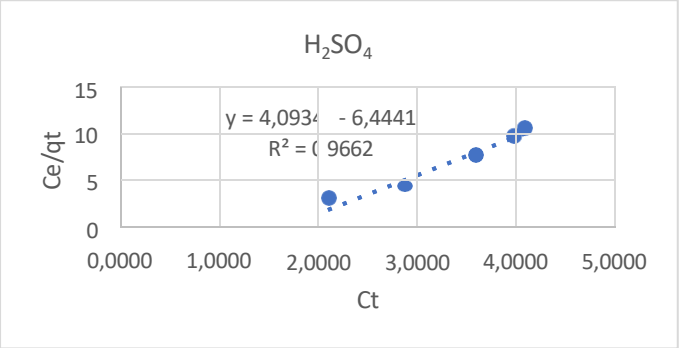
HCl
Dari grafik diperoleh persamaan: y = 1,8302x - 1,1365 R² = 0,9997 Nilai-nilai parameter Langmuir qmax dan k dihitung dari garis miring dan intersept dari plot linear 1/q vs 1/Ce, sehingga diperoleh: 1/qm = 1,8302 Qm = 0,546388373 1/(Ka.qm) = 1,1365 Kl = 1,610382754 RL $= \frac{1}{1 + KL\,.\,Co} = \frac{1}{1 + 1{,}610382754\,.\,7}$ = 0,0814818

Model Parameter	Model Langmuir
Desorpsi maks (mg/g)	0,546388373
Konstanta Afinitas Langmuir (l/g)	1,610382754
RL	0,0814818



HNO3
Dari grafik diperoleh persamaan: y = 1,862x - 1,1942 R² = 0,9987 Nilai-nilai parameter Langmuir qmax dan k dihitung dari garis miring dan intersept dari plot linear 1/q vs 1/Ce, sehingga diperoleh: 1/qm 1,862 Qm 0,537056928 1/(Ka.qm) 1,1942 Kl 1,559202814 RL $\frac{1}{1 + KL\,.\,Co} = \frac{1}{1 + 1{,}610382754\,.\,7}$ = 0,08393191

Model Parameter	Model Langmuir
Desorpsi maks (mg/g)	0,537056928
Konstanta Afinitas Langmuir (l/g)	1,559202814
RL	0,08393191



H2SO4
Dari grafik diperoleh persamaan: y = 4,0934x - 6,4441 R² = 0,9662 Nilai-nilai parameter Langmuir qmax dan k dihitung dari garis miring dan intersept dari plot linear 1/q vs 1/Ce, sehingga diperoleh: 1/qm = 4,0934 Qm = 0,244295696 1/(Ka.qm) = 6,4441 Kl = 0,63521671 RL $\frac{1}{1+KL.\ Co} = \frac{1}{1+1{,}610382754\ .\ 7}$ = 0,183603577

Model Parameter	Model Langmuir
Adsorpsi maks (mg/g)	0,244295696
Konstanta Afinitas Langmuir (l/g)	0,63521671
RL	0,183603577

Model Isoterm Freundlich

$$\log qt = \log Kf + \frac{1}{n} \log Ce$$

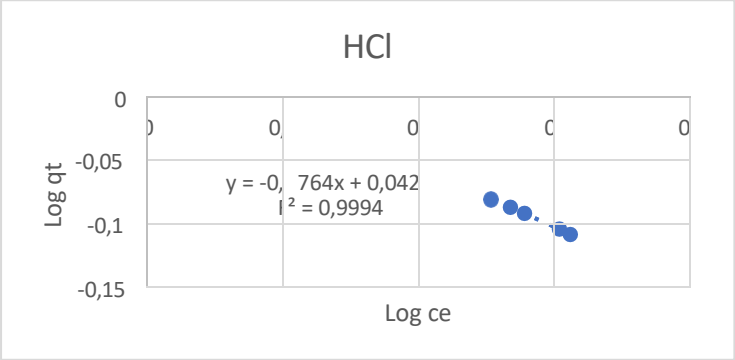
Keterangan:

qt : total logam yang terserap pada saat kesetimbangan (mg/g)

Ce : konsentrasi logam pada saat kesetimbangan (mg/L)

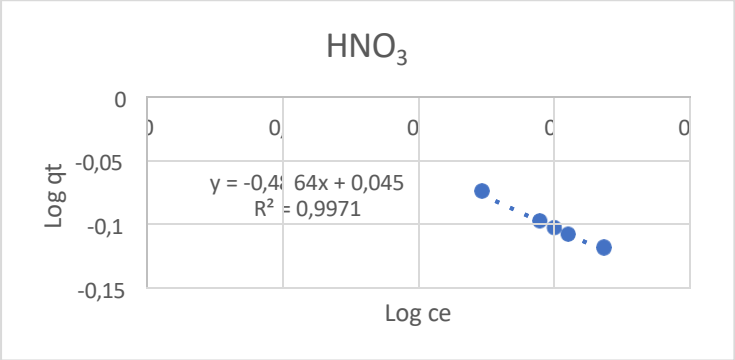
Kf : konstanta freundlich (l/mg).

Jenis Asam	Konsentrasi asam	Konsentrasi Timbal Teradsorpsi (Co)	Konsentrasi Timbal Terdesorpsi (Ct)	% Desorpsi	Kapasitas Desorpsi (qt)	Log qt	Log ce
	M	ppm	ppm	%	mg/g		
HCl	0,05	5,965	1,8530	31,065	0,8224	-0,084916898	0,267875419
	0,5	5,965	2,0129	33,745	0,79042	-0,102142079	0,3038222
	1	5,965	1,8971	31,804	0,81358	-0,089599736	0,278090224
	1,5	5,965	1,7923	30,047	0,83454	-0,078552842	0,253410705
	2	5,965	2,0514	34,391	0,78272	-0,106393569	0,312050351
HNO_3	0,05	5,965	1,7620	29,539	0,8406	-0,075410614	0,246005904
	0,5	5,965	1,9481	32,659	0,80338	-0,095078984	0,289611246
	1	5,965	1,9963	33,467	0,79374	-0,100321733	0,300225807
	1,5	5,965	2,0432	34,253	0,78436	-0,105484562	0,31031088
	2	5,965	2,1672	36,332	0,75956	-0,119437914	0,335898992
H_2SO_4	0,05	5,965	2,8688	48,094	0,61924	-0,208140998	0,457700272
	0,5	5,965	3,5897	60,179	0,47506	-0,323251536	0,555058155
	1	5,965	2,0969	35,153	0,77362	-0,111472311	0,32157772
	1,5	5,965	3,9839	66,788	0,39622	-0,402063606	0,600308429
	2	5,965	4,0873	68,521	0,37554	-0,425343798	0,611436515



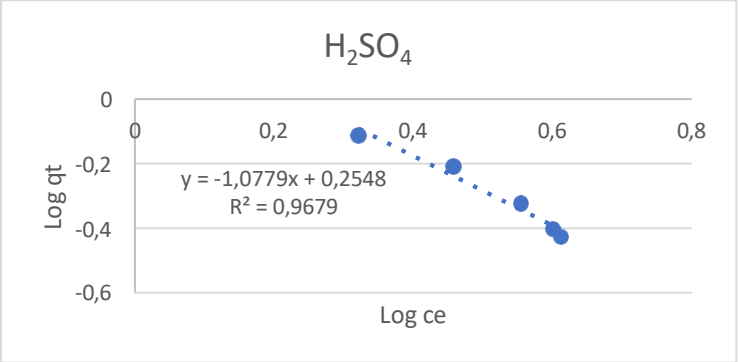
HCl
Dari grafik tersebut diperoleh persamaan: y = -0,4764x + 0,0425 R^2 = 0,9994 Nilai-nilai parameter Freundlich 1/n dan kf dihitung dari garis miring dan intersept dari plot linear log qt vs log ce, sehingga diperoleh: 1/n -0,4764 n -2,099076406 Log kf 0,0425 Kf 1,102808234

Model Parameter	**Model Freundlich**
Intensitas Desorpsi	-2,099076406
Konstanta Freundlich	1,102808234



HNO3
Dari grafik tersebut diperoleh persamaan: y = -0,4864x + 0,045 R^2 = 0,9971 Nilai-nilai parameter Freundlich 1/n dan kf dihitung dari garis miring dan intersept dari plot linear log qt vs log ce, sehingga diperoleh: 1/n -0,4864 n -2,055921053 Log kf 0,045 Kf 1,109174815

Model Parameter	**Model Freundlich**
Intensitas Desorpsi	-2,055921053
Konstanta Freundlich	1,109174815



H2SO4	
Dari grafik tersebut diperoleh persamaan:	
y = -1,0779x + 0,2548	
R² = 0,9679	
Nilai-nilai parameter Freundlich 1/n dan kf dihitung dari garis miring dan intersept dari plot linear log qt vs log ce, sehingga diperoleh:	
1/n	-1,0779
n	-0,927729845
Log kf	0,2548
Kf	1,798042695

Model Parameter	Model Freundlich
Intensitas Adsorpsi	-0,927729845
Konstanta Freundlich	1,798042695