EFEKTIVITAS ARANG AKTIF KULIT BUAH NAGA MERAH (*Hylocereus polyrhizus*) SEBAGAI BIOSORBEN UNTUK MENURUNKAN KADAR ION Pb^{2+}

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
dalam Ilmu Kimia

Oleh:

CHINTYA LARASATI

NIM: 2108036081

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

2025

EFEKTIVITAS ARANG AKTIF KULIT BUAH NAGA MERAH (*Hylocereus polyrhizus*) SEBAGAI BIOSORBEN UNTUK MENURUNKAN KADAR ION Pb^{2+}

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
dalam Ilmu Kimia

CHINTYA LARASATI

NIM: 2108036081

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

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Chintya Larasati

NIM : 2108036081

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

EFEKTIVITAS ARANG AKTIF KULIT BUAH NAGA MERAH (*Hylocereus polyrhizus*) SEBAGAI BIOSORBEN UNTUK MENURUNKAN KADAR ION Pb(II)

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

Semarang, 10 Juni 2025

Pembuat pernyataan



Chintya Larasati

NIM: 2108036081

KEMENTERIAN AGAM RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Prof. Dr.Hamka Ngaliyan, Semarang Telp.024-7601295

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul	: Efektivitas Arang Aktif Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*) Sebagai Biosorben untuk Menurunkan Kadar Ion Pb^{2+}
Penulis	: Chintya Larasati
NIM	: 2108036081
Jurusan	: Kimia

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

Semarang, 30 Juli 2025

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang	Sekertaris Sidang
Deni Ebit Nugroho, M.Pd	Ana Mardliyah, M.Si
NIP: 198507202019031007	NIP: 198905252019032019
Penguji I	**Penguji II**
Kholidah, M.Si	Nana Misrochah, M.Pd
NIP: 198508112019032008	NIP: 198608282019032009

Pembimbing

Deni Ebit Nugroho, M.Pd
NIP: 198507202019031007

iii

NOTA DINAS

Semarang, 10 Juni 2025

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

Assalamualaikum wr.wb.

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

Judul : **Efektivitas Arang Aktif Kulit Buah Naga Merah (Hylocereus polyrhiuz) Sebagai Biosorben untuk Meneurunkan Kadar Ion Pb(II)**

Nama : Chintya Larasati

NIM : 2108036081

Jurusan : Kimia

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

Wassalamu'alaikum wr.wb.

Pembimbing

Deni Ebit Nugroho, M.Pd.

NIP. 198507202019031007

ABSTRAK

Judul : **Efektivitas Arang Aktif Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhiuz*) Sebagai Biosorben untuk Menurunkan Kadar Ion Pb^{2+}**

Nama : Chintya Larasati

NIM : 2108036081

Logam berat Pb (timbal) merupakan polutan berbahaya yang memerlukan penanganan serius melalui teknologi adsorpsi berbahan ramah lingkungan seperti limbah kulit buah. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik adsorben, menentukan kapasitas dan efektivitas adsorpsi, serta mengetahui model kinetika dan isoterm adsorpsinya. Kulit buah naga dibuat melalui proses karbonisasi pada suhu 400^{o}C dan diaktivasi menggunakan H_2SO_4 sehingga menjadi arang aktif, kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan SAA untuk analisis luas permukaan. Karakterisasi menggunakan FTIR mengidentifikasi gugus fungsi O-H sebelum dan setelah aktivasi dari bilangan gelombang 3368,71 cm^{-1} menjadi 3349,77 cm^{-1} dan munculnya gugus fungsi baru yaitu C=O pada bilangan gelombang 1694,40 cm^{-1} yang berperan dalam pengikatan ion Pb(II), sedangkan hasil analisis SAA mengalami peningkatan luas permukaan setelah aktivasi dengan H_2SO_4 sebesar 5,66%. Hasil pengujian adsorpsi menunjukan kondisi terbaik dengan nilai kapasitas 2,4964 mg/g dan efektivitas 99,85% pada konsentrasi Pb^{2+} 10 ppm dalam waktu kontak 45 menit di pH 6. Kinetika adsorpsi sesuai dengan model *pseudo* orde dua dengan nilai R^2 sebesar 1. Model isoterm terbaik adalah Langmuir dengan nilai R^2 sebesar 0,9095. Penelitian ini membuktikan bahwa arang aktif kulit buah naga merah teraktivasi H_2SO_4 memiliki potensi sebagai biosorben ramah lingkungan untuk mengadsorpsi ion Pb^{2+} .

Kata Kunci: *Adsorpsi, Ion Pb(II), Arang aktif, Kulit buah naga merah, Aktivasi H_2SO_4, dan Kinetika kimia*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikm Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya tanpa hambatan apapun. Sholawat serta salam tidak lupa penulis panjatkan kepada junjungan kita baginda Rasul Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat manusia dari kehidupan gelap menuju kehidupan yang lebih terang dan penuh *Rahmatan Lil'alamin*.

Rasa syukur penulis ucapkan sekali lagi kepada Allah yang telah memberikan kemudahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi dengan judul "**Efektivitas Arang Aktif Kulit Buah Naga Merah (Hylocereus polyrhizus) Sebagai Biosorben Untuk Menurunkan Kadar Ion Pb^{2+}".** Skripsi ini disusun sebagai persyaratan guna memperoleh gelar sarjana sains ilmu kimia di UIN Walisongo Semarang, Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Kimia. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

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

3. Dr. Mulyatun, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi.
4. Almh. Dyah Fitasari, M.Si selaku dosen pembimbing I yang sudah membimbing penulis dengan sangat baik dan sabar, memberikan kritik, saran, serta masukan selama menyusun skripsi.
5. Deni Ebit Nugroho, M.Pd selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing, memberikan masukan, motivasi, dan memberikan arahan dengan sangat baik kepada penulis sehingga penulis sangat terbantu dalam penyusunan skripsi hingga selesai.
6. Segenap Dosen, Pegawai, dan Civitas Akademik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Walisongo Semarang yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama kuliah.
7. Kedua orang tua tercinta, Bapak Tohirin dan Ibu Eli Berti yang menjadi sumber inspirasi dan motivasi yang tidak pernah padam, selalu memberikan dukungan tanpa syarat dengan cara-cara yang penuh cinta dan pengertian. Kedua orang tua saya adalah *support system* terbaik yang penulis miliki.
8. Penulis juga ingin mengapresiasi diri sendiri atas usaha dan kerja keras yang telah dilakukan. Setiap tantangan yang dihadapi telah membentuk penulis menjadi pribadi yang lebih kuat dan tangguh. Penulis percaya bahwa perjalanan ini adalah bagian dari proses belajar yang tidak ternilai.

9. Drs. Eng Annisa Adiwena M.Sc yang senantiasa memberikan motivasi dan semangat dalam perjalanan penyusunan skripsi ini. Dukungan dan dorongan Ibu menjadi sumber inspirasi yang sangat berarti bagi penulis untuk terus berusaha dan tidak mudah menyerah menghadapi setiap rintangan.
10. Sahabat-sahabat penulis Pipul, Prita, Vina, Wanda, Mita, Ryan dan Nunung. Terimakasih telah menemani, membantu, dan menghibur, dan menyemangati untuk menyelesaikan skripsi.
11. Teman-teman seperjuangan jurusan kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang Angkatan 2021 yang telah bekerja sama sampai pada titik ini.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas segala bantuan dan motivasinya kepada penulis.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa karya ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang konstruktif sangat diharapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi orang lain dan mendapatkan berkah dari-Nya. *Aamiin yaa Rabbal'Aalamiin*

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Semarang, 10 Juni 2025

Chintya Larasati

2108036081

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN ..... **Error! Bookmark not defined.**
PENGESAHAN ..... **Error! Bookmark not defined.**
NOTA DINAS ..... **Error! Bookmark not defined.**
ABSTRAK iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI viii
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR LAMPIRAN xiv
BAB I PENDAHULUAN 1
A. Latar Belakang 1
B. Rumusan Masalah 7
C. Tujuan Penelitian 8
D. Manfaat Penelitian 8
BAB II LANDASAN PUSTAKA 9
A. Landasan Teori 9
1. Kulit Buah Naga 9
2. Biosorben 12
3. Arang Aktif 13
4. Karbonisasi 16
5. Aktivasi 17
6. Timbal (Pb) 20
7. Adsorpsi 23

8. Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR)29
9. *Surface Area Analyzer* (SAA).....33
10. *Atomic Absorbtion Spektofotometri* (AAS).....35
B. Kajian Pustaka.....38
C. Hipotesis.....40
BAB III METODE PENELITIAN.....42
A. Tempat dan Waktu Penelitian.....42
B. Alat dan Bahan.....42
1. Alat.....42
2. Bahan 43
C. Prosedur Penelitian.....43
1. Preparasi Sampel Kulit Buah Naga Merah 43
2. Pembuatan Arang Aktif Kulit Buah Naga Merah 43
3. Preparasi Larutan $Pb(NO_3)_2$.....48
4. Optimasi Adsorpsi ion Pb(II) Menggunakan Biosorben Kulit Buah Naga Merah 50
D. Analisis Data 52
1. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi 52
2. Perhitungan Kinetika Adsorpsi.....52
3. Perhitungan Isoterm Adsorpsi 54
BAB IV HASIL PEMBAHASAN 56
A. Preparasi Kulit Buah Naga Merah.....56
B. Metode Pembuatan Arang Aktif.....57
C. Pengujian Kualitas Arang Aktif.....58
D. Identifikasi Gugus Fungsi melalui Spektroskopi FTIR..62

E. Analisis Luas Permukaan Menggunakan SAA 65
F. Penentuan Kapasitas dan Efektivitas 67
BAB V PENUTUP 83
A. Kesimpulan 83
B. Saran 84
DAFTAR PUSTAKA 84
LAMPIRAN 94

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Persyaratan Karbon Aktif Berdasarkan SNI 06-3730-1995.....16
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kualitas Arang Aktif Kulit Buah Naga Merah 59
Tabel 4. 2 Hasil spektra FTIR arang kulit buah naga merah.....64
Tabel 4. 3 Hasil SAA arang Kulit Buah Naga Merah Sebelum dan Setelah Aktivasi.....66
Tabel 4. 4 Hasil data variasi pH 68
Tabel 4. 5 Hasil data waktu adsorpsi optimum.....71
Tabel 4. 6 Parameter kinetika adsorpsi.....74
Tabel 4. 7 Hasil data konsentrasi optimum.....76
Tabel 4. 8 Parameter isoterm adsorpsi.....80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Buah Naga Merah 9
Gambar 2. 2 Diagram spesiasi ion logam Pb(II) 22
Gambar 2. 3 Instrumen FTIR 29
Gambar 2. 5 Hasil Spektrum FTIR Biosorben Kulit Buah Naga (a) Sebelum Kontak dengan Cd(II) dan (b) setelah kontak dengan Cd(II) 32
Gambar 2. 6 Cara Kerja Instrumen SAA 33
Gambar 2. 7 Bagian-bagian Instrumen AAS 37
Gambar 4. 1 Spektra FTIR Arang Kulit Buah Naga Merah Sebelum Aktivasi dan Sesudah Aktivasi 63
Gambar 4. 2 Pengaruh variasi pH terhadap efisiensi adsorpsi 69
Gambar 4. 3 Pengaruh waktu adsorpsi optimum terhadap kapasitas adsorpsi 71
Gambar 4. 4 Model kinetika *pseudo* orde satu 73
Gambar 4. 5 Model kinetika *pseudo* orde dua 74
Gambar 4. 6 Pengaruh konsentrasi adsorpsi terhadap kapasitas adsorpsi 76
Gambar 4. 7 Kurva isoterm Langmuir 78
Gambar 4. 8 Kurva isoterm Freundlich 79

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Skema Prosedur Kerja.....94
Lampiran 2 Diagram Alir Penelitian 95
Lampiran 3 Data Hasil Percobaan 101
Lampiran 4 Perhitungan Analisa Data.....104
Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian 119
Lampiran 6 Hasil Karakterisasi Penelitian 122

BAB I
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Air termasuk sumber daya alam yang memiliki peran vital bagi kehidupan, sehingga pemanfaatannya harus dilakukan secara berkelanjutan dan bertanggung jawab untuk menjaga ketersediaannya di masa depan. Air menjadi salah satu anugerah dari Allah SWT yang nilainya sangat tinggi dan berharga. Namun demikian, manusia sering kali kurang memperhatikan pentingnya air dan cenderung mengabaikan pentingnya air dalam kehidupan (Pratomo et al., 2017). Sebagaimana terdapat dalam ayat 41 Q.S. Ar-Rum, Allah SWT berfirman sebagai berikut:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِى الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا
كَسَبَتْ اَيْدِى النَّاسِ لِيُذِيْقَهُمْ بَعْضَ الَّذِىْ عَمِلُوْا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُوْنَ

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

Berdasarkan Q.S. Ar-Rum ayat 41 ditegaskan bahwa berbagai bentuk kerusakan lingkungan baik di darat maupun di laut merupakan dampak dari tindakan manusia itu sendiri sebagai peringatan agar mereka menyadari dan memperbaiki perilakunya. Hal ini menunjukkan bahwa pencemaran lingkungan, termasuk pencemaran air merupakan dampak dari

tindakan manusia yang kurang bertanggung jawab (Pratomo et al., 2017). Masalah pencemaran air merupakan bentuk gangguan lingkungan yang berdampak luas dan menjadi perhatian utama dalam isu lingkungan di berbagai belahan dunia. Air yang tercemar tidak hanya mengancam ekosistem, tetapi juga kesehatan manusia (Prihandini, 2021).

Salah satu kontaminan yang sangat berbahaya adalah logam berat, di mana timbal menjadi salah satu logam berat yang sering kali ada pada limbah industri. Logam berat timbal (Pb) termasuk dalam ketegori logam berat beracun yang membahayakan lingkungan karena sifatnya yang toksik serta sulit terdegradasi secara alami. Zat ini umumnya berasal dari emisi bahan bakar dan berbagai aktivitas industri yang berpotensi mencemari lingkungan (Nzediegwu et al, 2021). Berbagai sumber pencemaran timbal meliputi limbah industri, pestisida, serta air sungai yang terkontaminasi timbal. Timbal bisa terserap tubuh manusia baik melalui makanan yang dikonsumsi atau air yang terkontaminasi (Sarode et al., 2018).

Laporan UNICEF yang telah dirilis pada tahun 2020 mengungkapkan bahwa sekitar 800 juta anak terpapar timbal dalam tingkat yang sangat tinggi dan belum pernah dialami sebelumnya (UNICEF, 2020). Menurut data yang dikeluarkan oleh World Bank, sekitar 27.000 orang Indonesia meninggal akibat keracunan timbal pada tahun 2019. Penelitian menunjukan bahwa sekitar 46% anak-anak berusia lima tahun

atau lebih muda terpapar timbal. Sumber utama pencemaran ini termasuk karena limbah industri dan pencemaran air yang mengandung timbal (World Bank, 2024). Pada tahun 2023, dari hasil penelitian terungkap bahwa pencemaran air sungai di Kabupaten Tegal telah menyebabkan keracunan timbal yang signifikan, terutama pada anak-anak. Kadar timbal yang terdeteksi di lingkungan tersebut melebihi ambang batas yang aman, yang berpotensi mengganggu perkembangan mental dan fisik anak (Tegalkab, 2023).

Logam timbal memberikan efek merugikan bagi kesehatan manusia, antara lain dapat menghambat kinerja enzim antioksidan, menurunkan stabilitas membran sel darah merah serta mempengaruhi sistem peredaran darah. Selain itu, paparan timbal juga dapat menurunkan daya tahan tubuh serta mengganggu fungsi reproduksi. Paparan timbal dalam kadar yang tinggi berisiko menimbulkan gangguan pada fungsi sistem saraf, peredaran darah, serta dapat menyebabkan kerusakan pada organ ginjal (Baloch et al., 2020).

Efek terpapar timbal pada tubuh meliputi mual, penurunan selera makan, serta kerusakan pada hati dan paru-paru. Selain itu, timbal dikenal sebagai neurotoksin yang dapat merusak otak secara permanen, terutama pada anak-anak, di mana kerusakan ini terjadi pada tahap perkembangan otak yang belum mencapai tingkat maksimal. Dampak dari paparan timbal pada anak-anak bisa berupa gangguan pada fungsi otak,

kemampuan berpikir, serta gangguan fisik permanen (Sarode et al., 2018). Berdasarkan data yang dirilis oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), tidak ada tingkat paparan timbal yang dianggap aman, sehingga penting untuk mengurangi kadar timbal dalam lingkungan terutama dalam sumber air bersih (WHO, 2019).

Pencemaran akibat timbal merupakan masalah serius yang memerlukan perhatian dan solusi inovatif. Terdapat beragam pendekatan yang dapat digunakan dalam upaya penanggulangan pencemaran lingkungan, khususnya pada ekosistem perairan. Beberapa di antaranya meliputi proses adsorpsi, teknik pertukaran ion, reaksi pengendapan, pemisahan berbasis membran, metode elektrokimia, serta pemanfaatan mekanisme biodegradasi (Sarode et al., 2018). Cara efektif untuk menghilangkan kontaminan terutama logam berat adalah teknik biosorpsi. Biosorpsi adalah proses di mana material biologis, seperti biomassa tanaman atau mikroorganisme digunakan untuk menyerap ion logam dari larutan. Proses ini memanfaatkan interaksi antara ion logam dan permukaan biosorben melalui mekanisme fisik dan kimia (Ningsih et al., 2016).

Kulit buah naga merah merupakan salah satu limbah pertanian yang hingga kini belum dimanfaatkan secara maksimal. Limbah ini mengandung seperti lignin, hemiselulosa, selulosa, karbohidrat, protein serta senyawa

fenolik yang terdiri dari unsur-unsur utama seperti karbon, nitrogen, hidrogen, dan sulfur. Adanya gugus fungsi hidroksil dan karboksil pada kulit buah naga merah berpotensi untuk berinteraksi dengan polutan, khususnya ion logam berat, melalui mekanisme penyerapan (Sarode et al., 2018). Penelitian menunjukan bahwa serat pangan kulit buah naga merah mencapai 46,7% yang menandakan potensinya sebagai biosorben untuk menyerap logam berat (Saneto, 2005).

Penelitian yang dilakukan Arlofa et al (2023) mengenai pemanfaatan kulit buah naga merah sebagai adsorben logam berat timbal (Pb). Adsorpsi menggunakan kulit buah naga merah mengikuti model isoterm adsorpsi Langmuir, dengan kapasitas adsorpsi maksimum logam Pb sebesar 0,2992 mg/g dan Freundlich juga digunakan, dengan nilai K sebesar 1,7298 mg/g. Pengaruh pH terhadap kemampuan adsorpsi juga dianalisis dengan menghasilkan daya adsorpsi maksimum sebesar 70%.

Biosorben dari kulit buah naga merah telah terbukti efektif dalam mengurangi konsentrasi logam berat, namun kapasitas penyerapanya dapat ditingkatkan. Salah satu cara untuk meningkatkan efektivitas biosorben kulit buah naga merah adalah dengan mengolahnya menjadi arang aktif. Arang aktif merupakan jenis arang yang telah mengalami proses aktivasi sehingga memiliki struktur berpori terbuka dengan luas permukaan total berkisar antara 300 hingga 3500 m^2 per

gram. Struktur tersebut memungkinkan arang aktif memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi, yakni mencapai 25 hingga 100% dari massa arangnya. Produk arang aktif yang diperoleh memiliki struktur yang lebih baik untuk menangkap ion Pb(II) (Jamilatun dan Setyawan, 2014).

Penggunaan aktivator dalam proses aktivasi seperti menggunakan asam sulfat dapat lebih meningkatkan efektivitas biosorben. Aktivator membantu membuka pori-pori pada struktur arang sehingga meningkatkan luas permukaan dan kemampuan adsorpsi terhadap ion logam Pb(II) (Kim et al., 2014). Hasil penelitian terdahulu Dewi et al (2015) mengenai pemanfaatan arang aktif kulit pisang raja untuk menurunkan kadar ion Pb(II) teraktivasi H_2SO_4 menunjukkan bahwa luas permukaan sebesar 3,431 m^2/g dengan rata-rata jari-jari pori mencapai 32,3493 Å. Sebaliknya, arang yang tidak melalui proses aktivasi memiliki luas permukaan yang lebih kecil, yaitu 3,279 m^2/g, dengan rata-rata jari-jari pori sebesar 24,0124 Å. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa proses aktivasi pada arang aktif mampu menghasilkan struktur pori yang lebih optimal, sehingga lebih efisien dalam menyerap ion Pb^{2+} dibandingkan dengan arang dari kulit pisang raja yang belum mengalami proses aktivasi.

Kajian yang dilakukan oleh Rahmi et al (2017) biosorben dari tanaman azolla memiliki kemampuan dalam menyerap logam berat timbal (Pb) secara maksimal hingga

mencapai efisiensi penurunan sebesar 100%. Sementara itu, tanaman enceng gondok menunjukkan efektivitas penurunan konsentrasi timbal sebesar 94,11%, dan tanaman semanggi air mampu menurunkan kadar logam berat tersebut hingga 87,01%. Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh Fasya dan Fadhilah et al (2014) arang aktif dari sekam padi menunjukan kapasitas penyerapan ion Pb(II) yang hampir mencapai tingkat maksimum, yaitu mendekati 100%.

Berdasarkan penjelasan yang telah dikemukakan, diperlukan suatu penelitian untuk mengkaji efektivitas arang aktif yang berasal dari kulit buah naga merah yang diketahui mengandung komponen selulosa, hemiselulosa, dan lignin dalam menyerap logam berat khususnya logam timbal (Pb). Dengan demikian, kombinasi antara penggunaan kulit buah naga merah sebagai biosorben dan penggunaan aktivator dapat memberikan solusi yang efektif dan ramah lingkungan untuk mengatasi pencemaran logam berat dalam air.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik arang aktif dari kulit buah naga merah yang akan dimanfaatkan sebagai biosorben dalam menurunkan konsentrasi ion logam Pb^{2+}?
2. Bagaimana kapasitas dan efektivitas arang kulit buah naga merah yang telah diaktivasi H_2SO_4 dalam menyerap ion logam Pb^{2+}?

3. Bagaimana model kinetika serta isotherm dalam proses adsorpsi yang terjadi?

C. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui karakteristik arang aktif dari kulit buah naga merah yang akan dimanfaatkan sebagai biosorben dalam menurunkan konsentrasi ion logam Pb^{2+}.
2. Mengetahui kapasitas dan efektivitas arang kulit buah naga merah yang telah diaktivasi H_2SO_4 dalam menyerap ion logam Pb^{2+}.
3. Mengetahui model kinetika serta isotherm dalam proses adsorpsi yang terjadi.

D. Manfaat Penelitian

1. Memberikan pemahaman tambahan kepada masyarakat mengenai kegunaan limbah kulit buah naga merah yang menjadi biosorben dalam menurunkan konsentrasi ion logam Pb^{2+}.
2. Membantu mengatasi pencemaran air yang disebabkan oleh ion logam Pb^{2+}.
3. Menyampaikan informasi terkait kemampuan penyerapan biosorben yang berasal dari kulit buah naga merah.
4. Menawarkan solusi alternatif dalam meminimalisisr limbah kulit buah naga.

BAB II
LANDASAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Kulit Buah Naga

Secara ilmiah buah naga merah diklasifikasikan dengan nama *Hylocereus polyrhizus*. (Kusumasari et al., 2024). Buah ini berasal dari daerah tropis dan subtropis, dan kini telah tersebar ke berbagai bagian dunia, termasuk kawasan Asia Tenggara, Amerika Latin, dan Australia. Buah naga merah dikenal karena penampilannya yang mencolok dengan kulit buah yang berwarna merah dan daging buah yang berwarna putih atau merah, tergantung pada varietasnya. Selain penampilannya yang menarik, buah ini juga mengandung nutrisi serta senyawa bioaktif yang memiliki peran positif terhadap kesehatan tubuh (Rahayu et al., 2018).



Gambar 2. 1 Buah Naga Merah

(Sumber : GBIF)

Menurut sistem taksonomi tumbuhan, buah naga tergolong dalam klasifikasi berikut:

Devisi : *Spermatophyta* (tumbuhan berbiji)
Subdivisi : *Angiospermae* (berbiji tertutup)
Kelas : *Dicotyledonae* (berkeping dua)
Ordo : *Cactales*
Famili : *Cactaseae*
Subfamili: *Hylocereanea*
Genus : *Hylocereus*
Spesies : *Hylocereus polyrhizus* (daging merah)

Kulit buah naga termasuk ke dalam jenis limbah pertanian yang hingga saat ini belum dimanfaatkan secara maksimal. Berdasarkan hasil karakterisasi, limbah ini memiliki potensi sebagai sumber bahan organik karena mengandung berbagai senyawa seperti lignin, hemiselulosa, selulosa, karbohidrat, protein, serta senyawa fenolik. Senyawa-senyawa tersebut tersusun atas unsur utama seperti karbon, nitrogen, hidrogen, dan sulfur. Kandungan ini turut membawa gugus fungsional seperti hidroksil (-OH) dan karboksil (-COOH) yang berperan aktif dalam proses interaksi kimia, khususnya dalam mengikat ion logam berat sebagai polutan (Arlofa et al., 2023).

Kulit buah naga merah mengandung serat pangan sekitar 46,7% yang tergolong tinggi. Kandungan serat ini

melebihi jumlah serat yang terdapat pada beberapa buah lainnya seperti pear, jeruk, dan persik (Saneto, 2005). Sehingga, kulit buah naga dapat dijadikan sebagai biosorben dalam aplikasi pengolahan air dan limbah. Ini karena kulit buah naga memiliki beberapa karakteristik yang membuatnya potensial sebagai material biosorben, terutama dalam penghapusan kontaminan dari air atau limbah cair. Beberapa karakteristik utama kulit buah naga yang relevan untuk penggunaan sebagai biosorben adalah:

a. Kandungan serat: Kulit buah naga mengandung serat alami yang dapat berfungsi sebagai substrat untuk menyerap kontaminan dalam air atau limbah cair. Serat ini dapat membantu dalam mengikat partikel dan zat-zat berbahaya.
b. Porositas: Kulit buah naga memiliki porositas yang cukup, yang memungkinkan untuk menyerap zat-zat kimia dan partikel dalam air. Porositas ini dapat berkontribusi pada kapasitas sorpsi kulit buah naga.
c. Kemampuan mengikat logam berat: Kulit buah naga dapat memiliki kemampuan untuk mengikat logam berat seperti timbal, merkuri, dan kadmium. Hal tersebut memberikan potensi bagi pemanfaatanya dalam proses pengolahan limbah industri yang tercemar logam berat.
d. Sifat-sifat kimia: Kulit buah naga memiliki sifat-sifat kimia seperti keasaman dan kelarutan yang dapat

memengaruhi kemampuannya untuk menyerap berbagai jenis kontaminan.

2. Biosorben

Biosorben adalah material yang digunakan untuk proses adsorpsi, yaitu penyerapan molekul atau ion dari suatu fase ke permukaan material tersebut. Dalam konteks kimia, bisorben sering digunakan untuk menghilangkan kontaminan dari air, gas, dan berbagai larutan. Proses ini sangat penting dalam pengolahan limbah dan pemurnian bahan kimia, di mana efisiensi dan efektivitas biosorben dapat mempengaruhi kualitas produk akhir (Halim et al., 2021).

Salah satu jenis biosorben yang banyak diteliti adalah karbon aktif, yang memiliki luas permukaan yang sangat besar serta kemampuan adsorpsi yang tinggi. Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai sumber, termasuk limbah pertanian dan biomassa, dengan demikian hal ini menawarkan pendekatan yang berkelanjutan dan bersifat ramah lingkungan dalam pengolahan limbah (Sari et al., 2020). Penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif yang dihasilkan dari limbah pertanian seperti kulit buah dapat digunakan untuk mengadsorpsi logam berat dan senyawa organik berbahaya, sehingga mengurangi dampak pencemaran lingkungan (Pratiwi et al., 2022).

Biosorben dari kulit buah telah menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan dalam pengolahan limbah, terutama dalam mengatasi pencemaran logam berat di lingkungan. Kulit buah, seperti kulit pisang, kulit durian, kulit buah naga dan kulit jeruk, memiliki potensi yang tinggi sebagai bahan baku untuk menghasilkan biosorben yang efektif. Proses adsorpsi yang terjadi pada biosorben ini dapat mengurangi konsentrasi polutan dalam air, sehingga berkontribusi pada pemulihan kualitas lingkungan (Sari et al., 2020).

Biosorben dapat ditemukan dalam jumlah yang melimpah, baik berasal dari sumber alami maupun hasil samping atau limbah dari proses industri. Material ini umumnya memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi serta berpotensi untuk digunakan kembali atau diperbarui (Halim, et al., 2021).

3. Arang Aktif

Arang aktif adalah material padat berpori yang memiliki kandungan karbon sebesar 85–95%, diperoleh melalui proses pemanasan bahan-bahan berkarbon pada suhu tinggi. Proses ini menghasilkan luas permukaan internal yang sangat besar, yaitu sekitar 300 hingga 3500 m^2 per gram. Luas permukaan tersebut dapat terus ditingkatkan melalui pengembangan struktur pori-porinya. Struktur internal ini memungkinkan arang aktif untuk

menyerap berbagai gas dan uap dari fase gas, serta mampu memisahkan senyawa-senyawa dalam fase cair (Kumar dan Rani, 2018)

Menurut Setyoningsih (2018), arang aktif merupakan bentuk arang yang telah melalui pross aktivasi tertentu guna memperbesar daya serapnya terhadap berbagai zat, baik dalam bentuk larutan maupun gas. Sebagai adsorben, arang aktif sangat efektif dalam mengikat molekul organik. Kemampuannya mencakup penyerapan anion, kation, serta molekul organik dan anorganik, baik dalam fase cair maupun gas. Perbedaan utama antara arang aktif dan arang biasa terletak pada kondisi permukaannya. Pada arang biasa memiliki permukaan yang tertutup oleh residu hidrokarbon yang menghambat aktivitasnya, arang aktif memiliki permukaan yang bersih dan area permukaan serta pori-pori yang terbuka lebar, sehingga daya serapnya jauh lebih tinggi. Proses aktivasi diperlukan untuk mengubah arang biasa menjadi arang aktif dengan meningkatkan daya serapnya (Bhatnagar et al., 2017).

Secara umum, satu gram karbon aktif memiliki luas permukaan internal antara 500 hingga 1500 m^2, yang membuatnya sangat efisien dalam menangkap partikel-partikel berukuran sangat kecil, mulai dari 0,01 hingga 0,0000001 mm. Dalam penggunaan normal, karbon aktif

akan mengalami kejenuhan dan kehilangan efektivitasnya setelah sekitar 60 jam pemakaian. Oleh sebab itu, bahan ini dapat disimpan dalam tempat yang kedap udara untuk menjaga kualitasnya. Pada kondisi tertentu, sebagian jenis arang aktif masih memungkinkan untuk diaktifkan kembali, meskipun penggunaannya lebih dianjurkan hanya satu kali. Kemampuan reaktivasi arang aktif bergantung pada metode aktivasi yang digunakan sebelumnya (Govint , 2017).

a. Klasifikasi Arang Aktif

Jenis arang aktif dapat dibedakan berdasarkan metode aktivasi yang digunakan, yaitu aktivasi secara fisika maupun secara kimia. Proses aktivasi secara fisik melibatkan pemanasan bahan baku dalam atmosfer yang terbatas oksigen, diikuti dengan pengolahan dengan gas aktif seperti uap air atau karbon dioksida. Di sisi lain, aktivasi kimia melibatkan penggunaan agen kimia, seperti asam fosfat atau asam sulfat, untuk meningkatkan porositas dan luas permukaan arang aktif (Bhatnagar et al., 2017). Proses aktivasi ini sangat mempengaruhi karakteristik adsorpsi arang aktif, termasuk kapasitas dan efektivitasnya dalam mengadsorpsi kontaminan.

Klasifikasi arang aktif juga dapat dilakukan berdasarkan struktur fisiknya, yang mencakup arang

aktif granular, serbuk, dan bentuk lainnya. Arang aktif granular sering digunakan dalam aplikasi filtrasi, sedangkan arang aktif serbuk lebih umum digunakan dalam proses adsorpsi yang memerlukan area permukaan yang lebih besar (Kumar dan Rani, 2018).

b. Syarat Mutu Arang Aktif

Penilaian mutu karbon aktif merujuk pada ketentuan yang tercantum dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-370-1995, dengan kriteria sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Persyaratan Karbon Aktif Berdasarkan SNI 06-3730-1995

Jenis Persyaratan	Parameter
Kadar air	Maksimal 15%
Kadar abu	Maksimal 10%
Kadar zat menguap	Maksimal 25%
Kadar karbon terikat	Minimal 65%
Daya serap terhadap iodium	Minimal 750 mg/g
Daya serap terhadap benzene	Minimal 25%

Fasya dan Fadilah (2017)

4. Karbonisasi

Proses karbonisasi merupakan tahap pemanasan bahan baku dalam kondisi terbatas oksigen yang menyebabkan dekomposisi senyawa organik serta penghilangan komponen pengotor. Pada tahap ini, sebagian besar unsur yang bukan merupakan karbon akan tereliminasi. Pelepasan senyawa *volatile* selama proses

berlangsung turut berperan dalam pembentukan awal pori-pori pada struktur material. Karbonisasi bertujuan menghilangkan kandungan zat yang mudah menguap dalam bahan baku pembuatan arang. Selama proses ini, senyawa organik yang membentuk struktur awal bahan mengalami dekomposisi, menghasilkan produk sampingan seperti air, uap asam asetat, dan berbagai hidrokarbon. Setelah proses selesai, yang tersisa adalah residu padat berupa karbon dengan struktur berpori halus dan sempit (Setiyoningsih, 2018).

Karbonisasi berlangsung melalui beberapa tahap, dimulai dari proses dehidrasi atau penghilangan air, selanjutnya terjadi proses penguapan lignin dan selulosa yang berlangsung pada terperatur kurang lebih 400℃. Selanjutnya, pemurnian karbon dilakukan dengan pemanasan lanjutan pada kisaran suhu 500–800℃. Pada tahap akhir ini, kandungan karbon dalam bahan meningkat hingga mencapai sekitar 80%, membentuk struktur arang dengan karakteristik yang lebih stabil dan berpori (Setiyoningsih , 2018).

5. Aktivasi

Aktivasi merupakan tahap penting dalam proses pembuatan arang aktif yang mana memiliki fungsi sebagai penghilang sisa-sisa hidrokarbon yang masih melekat pada permukaan arang. Tahapan ini bertujuan untuk membuka

dan memperluas struktur pori, serta meningkatkan ukuran pori yang telah terbentuk selama proses karbonisasi. Melalui tahapan aktivasi ini, kemampuan adsorpsi arang aktif dapat ditingkatkan secara signifikan, mengingat arang hasil karbonisasi awal umumnya masih memiliki senyawa pengotor yang menyumbat pori-pori. Selain memodifikasi struktur pori, proses ini juga menyebabkan perubahan sifat fisik dan kimia dari arang aktif yang secara langsung mempengaruhi efektivitas dalam proses adsorpsi. Secara umum, metode aktivasi dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu:

a. Metode aktivasi yang dilakukan secara fisika

Aktivasi fisik dilakukan dengan memanaskan bahan karbon dalam reaktor bersuhu tinggi, yakni antara 600 hingga 1000°C. Pada suhu tersebut, karbon bereaksi dengan agen pengaktivasi seperti uap air atau udara, membentuk gas oksida karbon yang tersebar merata di seluruh permukaan material. Proses ini menyebabkan terbentuknya pori-pori pada material karbon sebagai dampak dari aktifvitas zat pengaktif yang digunakan. Awalnya, reaksi berlangsung pada bagian karbon yang masih *amorf*, sehingga pori-pori yang sebelumnya tertutup mulai terbuka. Seiring berjalannya proses, oksidasi lanjutan memperluas jaringan pori, sehingga

jumlah dan ukuran pori dalam material meningkat secara signifikan (Sriatun et al., 2020).

b. Metode aktivasi yang dilakukan secara kimia

Metode aktivasi kimia dilakukan dengan menambahkan zat kimia tertentu, seperti $ZnCl_2$, $CaCl_2$, H_2SO_4, atau NaOH, ke dalam bahan karbon. Metode ini bekerja berdasarkan prinsip reaksi kimia yang mampu mengikis struktur karbon, sehingga mendorong pembentukan pori-pori secara lebih intensif. Untuk mengoptimalkan efektivitas proses ini, pemanasan pada suhu tertentu biasanya diterapkan sebagai tahap lanjutan. Dalam tahapan ini, proses aktivasi dilakukan dengan terlebih dahulu menambahkan bahan kimia (reagen) sebelum memasuki tahap karbonisasi, sehingga metode aktivasi ini tergolong lebih praktis untuk diterapkan. Kualitas arang aktif yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh jenis bahan baku, agen pengaktif yang digunakan, serta metode pembuatannya. Pada umumnya digunakan berbagai jenis bahan kimia untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi arang aktif. Beberapa zat kimia yang sering digunakan dan dianggap efektif antara lain $Ca(OH)_2$, $CaCl_2$, HNO_3, $ZnCl_2$, H_2SO_4, dan sejenisnya. Aktivasi dilakukan dengan mencampurkan karbon dengan agen kimia tertentu, kemudian campuran yang dihasilkan mengalami proses

pengeringan dan pemanasan lebih lanjut guna memaksimalkan pembentukan pori dan memperbesar luas permukaan adsorben (Sriatun et al., 2020).

6. Timbal (Pb)

Logam timbal (Pb) diklasifikasikan sebagai salah satu jenis logam berat yang memiliki dampak serius terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Penggunaan timbal dalam berbagai industri, seperti pembuatan baterai, cat, dan pipa, telah menyebabkan pencemaran yang signifikan di banyak daerah. Menurut penelitian terbaru, paparan timbal dengan jumlah yang besar dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, terutama pada anak-anak yang lebih rentan terhadap efek toksik dari logam ini (Silalahi et al., 2023).

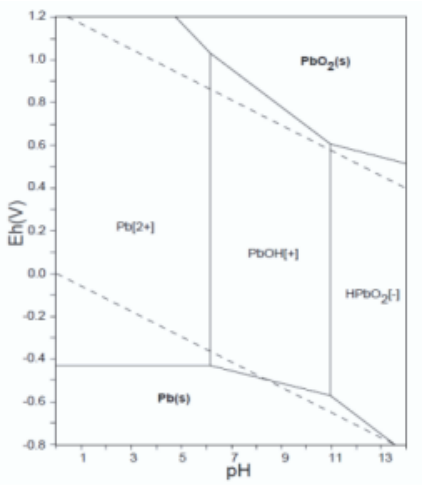
Paparan timbal dapat terjadi melalui beberapa jalur, termasuk konsumsi makanan atau air yang terkontaminasi, inhalasi debu yang mengandung timbal, dan kontak langsung dengan produk yang mengandung timbal. Penelitian menunjukkan bahwa paparan jangka panjang terhadap timbal dapat menyebabkan gangguan neurologis, penurunan IQ, keterlambatan perkembangan, kesulitan belajar, serta masalah perilaku pada anak-anak. Anak-anak lebih rentan terhadap efek timbal karena otak mereka masih berkembang. Bahkan paparan rendah dapat memiliki dampak jangka panjang pada perkembangan kognitif dan

perilaku anak (Suryani dan Apriani, 2022). Selain itu, pada orang dewasa, paparan timbal dapat berkontribusi terhadap hipertensi, gangguan fungsi ginjal, dan masalah reproduksi (Putra et al., 2022).

Salah satu mekanisme toksisitas timbal adalah kemampuannya untuk menggantikan kation penting dalam tubuh, seperti kalsium dan seng. Hal ini dapat mengganggu proses biokimia yang vital, termasuk sintesis hemoglobin yang berakibat pada anemia (Nuri et al., 2023). Selain itu, timbal juga dapat mempengaruhi sistem saraf pusat, yang dapat menyebabkan gejala neurologis yang serius (Putra et al., 2022).

Upaya untuk mengurangi paparan timbal sangat penting, terutama di daerah yang berisiko tinggi. Pengelolaan limbah yang baik dan regulasi yang ketat terhadap penggunaan timbal dalam produk industri dapat membantu mencegah pencemaran lebih lanjut. Kesadaran masyarakat tentang bahaya timbal dan pentingnya pengelolaan limbah yang efektif juga perlu ditingkatkan untuk melindungi kesehatan individu dan lingkungan secara keseluruhan (Suryani dan Apriani, 2022).

Ion logam Pb(II) bersifat asam dan menunjukkan efisiensi reaksi tertinggi dalam kondisi pH rendah, yaitu pada rentang pH 1 hingga 6. Nilai pH larutan menjadi salah satu parameter krusial yang dapat menentukan tingkat keberhasilan proses adsorpsi ion logam berat oleh material adsorben. Rentang pH optimal untuk Pb(II) berada antara pH 3 sampai 5. Pada pH sekitar 6 konsentrasi ion Pb(II) mulai mengalami perubahan, dan saat pH mencapai 6,5 senyawa $Pb(OH)_2$ mulai mengendap. Jika pH meningkat lebih tinggi dari 7, maka akan terbentuk spesies hidroksida terlarut seperti $PbOH^+$, $Pb(OH)_2$, dan $Pb(OH)^{3+}$ (Mentari et al., 2018). Gambar 2.2 merupakan diagram spesiasi logam Pb(II)



Gambar 2. 2 Diagram spesiasi ion logam Pb(II) (Mentari et al., 2018)

7. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan mekanisme penyerapan zat terlarut dari suatu larutan oleh permukaan material penyerap, di mana terjadi interaksi secara fisik maupun kimia antara molekul zat terlarut dan permukaan penyerap (Atkins, 1997). Dalam proses ini, material yang berperan sebagai penyerap tersebut disebut adsorben, sementara zat yang mengalami proses penyerapan dinamakan adsorbat. Oleh karena itu, adsorpsi dapat diartikan sebagai proses penyerapan atau pemisahan zat terlarut pada permukaan fase padat (Rengga, 2020).

Adsorben umumnya berupa material padat yang memiliki kemampuan untuk menarik dan mengikat komponen atau unsur tertentu yang terkandung dalam fase fluida. Bahan padat dengan struktur berpori sering digunakan sebagai adsorben karena pori-porinya memungkinkan proses penyerapan berlangsung secara efektif (Atkins, 1997). Biasanya, adsorben memiliki pori berukuran mikro hingga meso, yang menyebabkan luas permukaan internalnya jauh lebih besar dibandingkan dengan luas permukaan luarnya, sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsinya secara signifikan (Rengga, 2020).

Adsorpsi merupakan proses yang terjadi ketika molekul dari fase gas atau cair berinteraksi dengan permukaan material penyerap (adsorben), yang kemudian

memicu terbentuknya gaya-gaya antar molekul seperti gaya kohesi, gaya elektrostatik, dan ikatan hidrogen. Ketidakseimbangan gaya-gaya tersebut dalam sistem menyebabkan terjadinya redistribusi konsentrasi molekul dalam fase fluida. Mekanisme ini berlangsung saat molekul dari larutan meninggalkan fase cairnya dan melekat pada permukaan adsorben melalui interaksi fisik maupun kimiawi (Rengga, 2020).

Berdasarkan mekanisme interaksi yang terjadi selama proses penyerapan, proses adsorpsi secara umum diklasifikasikan ke dalam dua kategori, yakni:

a. Adsorpsi fisika (*physical adsorption*)

Adsorpsi fisik (fisisorpsi) merupakan proses yang melibatkan interaksi gaya *Van der Waals* antara molekul zat terlarut dan permukaan adsorben. Proses ini bersifat *reversibl*e atau dapat terjadi dua arah. Molekul zat terlarut akan lebih mudah mengalami adsorpsi pada permukaan adsorben apabila energi tarik-menarik antara keduanya lebih besar dari pada gaya tarik antara zat terlarut dengan pelarutnya (Lucaci et al., 2020).

b. Adsorpsi kimia (*chemisorption*)

Adsorpsi secara kimia merupakan proses interaksi yang melibatkan reaksi antara permukaan padatan (adsorben) dengan molekul zat terlarut (adsorbat) melalui pembentukan ikatan kimia. Jenis adsorpsi ini

bersifat selektif terhadap jenis senyawa tertentu dan berlangsung melalui mekanisme kimiawi yang lebih kompleks dibandingkan dengan adsorpsi fisik. Energi yang terlibat dalam proses ini umumnya lebih tinggi, dan sifatnya yang *irreversible* menyebabkan regenerasi adsorben menjadi lebih sulit dilakukan dibandingkan dengan adsorpsi fisika (Kusumaningtyas, 2017).

Adsorpsi merupakan salah satu metode fisik yang banyak dimanfaatkan dalam proses pemisahan, khususnya untuk mengurangi atau menghilangkan kandungan polutan organik maupun anorganik dalam air yang telah terkontaminasi. Proses ini dilakukan dengan bantuan material adsorben. Beberapa jenis adsorben yang umum diaplikasikan dalam teknik ini meliputi karbon aktif, silika gel, dan oksida aluminium (Lucaci et al., 2020). Penggunaan limbah sebagai sumber material dalam proses pembuatan adsorben tidak hanya berkontribusi dalam menekan tingkat pencemaran lingkungan, tetapi juga mampu menurunkan biaya produksi, sehingga menghasilkan adsorben dengan harga yang lebih ekonomis (Haura et al., 2017).

Secara umum, kinerja proses adsorpsi ditentukan oleh sejumlah faktor penting, di antaranya adalah:

a. Luas permukaan, Semakin besar luas permukaan yang dimiliki oleh adsorben, maka semakin tinggi pula kapasitasnya dalam mengadsorpsi zat. Luas permukaan ini bergantung pada ukuran partikel serta kuantitas adsorben yang digunakan.
b. Jenis adsorbat, Peningkatan tingkat polarisabilitas pada molekul adsorbat dapat meningkatkan efisiensi proses adsorpsi. Molekul-molekul yang bersifat polar, karena kemampuannya membentuk dipol, cenderung memiliki gaya tarik-menarik yang lebih kuat terhadap molekul lain dibandingkan dengan molekul non-polar.
c. Struktur molekul adsorbat, menentukan sifat fisika dan kimianya seperti ukuran, polaritas,dan interaksi gugus fungsional. Jika struktur adsorbat cocok dengan karakteristik adsorben, proses adsorpsi akan lebih efisien.
d. Konsentrasi adsorbat, seiring bertambahnya konsentrasi adsorbat dalam suatu larutan, jumlah molekul yang dapat menempel dan berinteraksi dengan permukaan adsorben juga akan meningkat.
e. Suhu, proses pemanasan atau aktivasi terhadap adsorben dapat meningkatkan kapasitas penyerapan,

karena perlakuan termal tersebut berperan dalam memperluas dan membuka struktur pori-pori pada permukaan adsorben. Namun demikian, apabila suhu pemanasan melebihi batas optimal, struktur adsorben dapat mengalami kerusakan, yang pada akhirnya akan menurunkan efektivitasnya dalam proses adsorpsi.

f. pH, nilai pH dalam larutan berperan signifikan terhadap efektivitas adsorpsi, karena turut mengatur tingkat pelarutan ion logam, memengaruhi aktivitas gugus fungsi di permukaan biosorben, serta memicu persaingan antar ion dalam memperoleh tempat aktif pada media adsorben.
g. Kecepatan pengadukan, Laju pengadukan turut memengaruhi efisiensi adsorpsi. Jika pengadukan dilakukan terlalu lambat, proses perpindahan massa menuju permukaan adsorben menjadi kurang efektif, sehingga laju adsorpsi menurun. Sebaliknya, kecepatan pengadukan yang berlebihan berpotensi menyebabkan kerusakan pada struktur fisik adsorben, yang justru menghambat kinerja adsorpsi secara keseluruhan
h. Waktu kontak, Penentuan durasi kontak yang tepat sangat penting untuk mencapai kapasitas adsorpsi maksimum, yang umumnya terjadi saat sistem

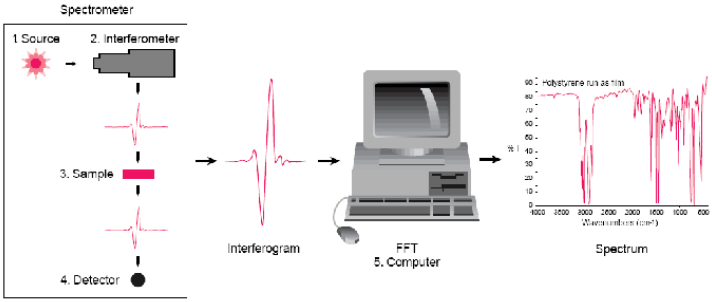
mencapai kondisi kesetimbangan antara adsorbat dan adsorben (Rengga, 2020).

Pada proses adsorpsi kinetika adsorpsi menggambarkan laju perpindahan ion logam dari larutan ke permukaan adsorben serta mekanisme interaksi yang terjadi selama proses tersebut. Model kinetika yang paling umum digunakan adalah model *pseudo orde satu*, yang menyatakan bahwa laju adsorpsi sebanding dengan jumlah situs aktif yang masih tersedia. Model ini cocok untuk adsorpsi fisika yang bersifat reversible. Sedangkan, model kinetika *pseudo* orde dua mengasumsikan bahwa tahap pengendali laju adsorpsi adalah *chemisorption*, di mana laju adsorpsi bergantung pada kuadrat selisih antara kapasitas adsorpsi setimbang (qe) dengan jumlah adsorbat yang terikat pada waktu t (qt). Model ini umumnya lebih sesuai untuk sistem adsorpsi logam berat. Pemilihan model kinetika terbaik didasarkan pada nilai koefisien determinasi (R^2) serta kesesuaian antara nilai eksperimental dan nilai perhitungan dari model (Haura et al., 2017).

Isoterm adsorpsi menjelaskan hubungan antara jumlah adsorbat yang terikat pada permukaan adsorben dengan konsentrasi zat terlarut dalam larutan pada keadaan kesetimbangan dan suhu konstan. Model isoterm digunakan untuk mengevaluasi kapasitas maksimum adsorpsi, heterogenitas permukaan, serta jenis interaksi

yang terjadi. Model isoterm yang sering digunakan adalah Isoterm Langmuir, yang mengasumsikan bahwa adsorpsi terjadi secara monolayer pada permukaan homogen, tanpa interaksi antar molekul adsorbat. Sedangakan, Isoterm Freundlich, yang digunakan untuk menggambarkan permukaan heterogen dan proses adsorpsi multilayer. Model ini bersifat empiris dan sering digunakan untuk sistem yang tidak sesuai dengan asumsi Langmuir (Lucaci et al., 2020).

8. Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR)



Gambar 2.3 Instrumen FTIR

(Sumber: Eurolab)

Instrumen FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectrophotometer*) digunakan untuk mengidentifikasi senyawa kimia melalui analisis komposisi campuran serta prediksi struktur molekulnya. Sampel yang digunakan dalam analisis dapat berupa dari fase padat, cair, maupun gas tergantung pada jenis uji yang dilakukan. Spektrum inframerah yang dihasilkan memberikan informasi

kualitatif, ditunjukkan oleh munculnya puncak-puncak khas yang mewakili gugus fungsi tertentu dalam struktur senyawa yang diuji (Ramadani et al., 2022).

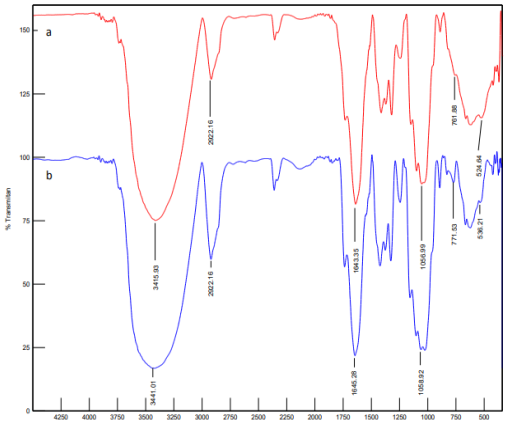
Spektroskopi FTIR dikenal sebagai salah satu metode analisis yang efisien dalam mendeteksi getaran gugus-gugus polar yang terdapat dalam struktur molekul suatu senyawa. Tingkat kepolaran gugus fungsi ditentukan oleh perbedaan elektronegativitas antar atom yang berikatan. Jenis sampel yang dapat dianalisis menggunakan FTIR mencakup berbagai fase, seperti gas, cair, maupun padatan (Setianingsih dan Prananto, 2020).

Prinsip kerja alat FTIR dimulai ketika cahaya dari sumber utama diarahkan menuju *beam splitter* (pemecah sinar), yang kemudian membagi sinar tersebut menjadi dua jalur tegak lurus. Kedua sinar tersebut direfleksikan oleh dua jenis cermin, yakni cermin tetap dan cermin yang dapat bergerak. Setelah mengalami pemantulan, kedua sinar kembali bertemu di *beam splitter* untuk kemudian diarahkan menuju sampel. Sebagian dari sinar akan melewati sampel, sedangkan sisanya diarahkan kembali ke sumber. Interaksi antara sinar dan sampel menghasilkan fluktuasi intensitas cahaya yang diterima oleh detektor. Detektor lalu merekam sinyal dalam bentuk interferogram, yang kemudian diproses dan dikonversi menjadi spektrum inframerah (Sihite., 2019).

Salah satu metode yang umum digunakan dalam analisis FTIR adalah teknik ATR (*Attenuated Total Reflectance*). FTIR-ATR memungkinkan analisis sampel padat, cair, maupun gel tanpa perlu proses preparasi yang kompleks. Pada metode ini, sinar inframerah diarahkan ke dalam kristal ATR dengan indeks bias tinggi (seperti kristal ZnSe atau Ge), di mana sinar mengalami pantulan total internal dan menciptakan gelombang evanescent yang menembus permukaan sampel sejauh 1–2 mikrometer. Gelombang ini akan diserap oleh gugus-gugus fungsi dalam sampel yang bersentuhan langsung dengan kristal, kemudian menghasilkan spektrum inframerah seperti FTIR pada umumnya (Sihite, 2019).

Metode FTIR-ATR sangat berguna dalam menganalisis permukaan sampel secara cepat tanpa perlakuan khusus seperti penggilingan, pengeringan, atau pelarutan. Keunggulannya meliputi kemudahan penggunaan, minimnya kerusakan sampel, serta kemampuannya untuk menghasilkan data yang konsisten pada analisis gugus fungsi, terutama dalam penelitian berbasis biomassa atau bahan padat seperti arang aktif. Metode FTIR-ATR ini paling efektif digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi permukaan, yang memang menjadi target utama dalam penelitian adsorpsi (Sihite, 2019).

Data hasil pengukuran menggunakan FTIR ditampilkan dalam bentuk spektrum, yaitu grafik yang menggambarkan hubungan antara bilangan gelombang dengan nilai transmitansi inframerah. Pada grafik tersebut, bilangan gelombang dinyatakan dalam satuan cm^{-1} dan ditampilkan pada sumbu horizontal (x), sedangkan persentase transmitansi (%T) digambarkan pada sumbu vertikal (y) (Rahmat, 2020). Spektra FTIR berdasarkan penelitian Tanasal et al (2015) yang terlihat pada Gambar 2.5 hasil analisis FTIR adsorben berbahan dasar kulit buah naga merah menunjukkan keberadaan gugus-gugus fungsi seperti hidroksil (-OH), karbonil (C=O), alkoksi (C-O), metilena (C-H), serta gugus karboksilat (-COOH). Pada spektrum FTIR, bilangan gelombang (cm^{-1}) digambarkan pada sumbu horizontal, sementara nilai transmitansi (%T) terletak pada sumbu vertikal (Rahmat, 2020).

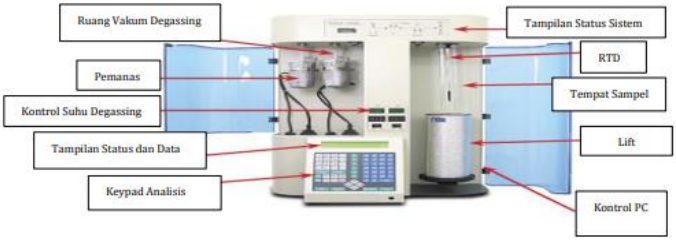


Gambar 2. 4 Hasil Spektrum FTIR Biosorben Kulit Buah Naga (a) Sebelum Kontak dengan Cd(II) dan (b) setelah kontak dengan Cd(II) (Tanasal et al., 2015)

9. *Surface Area Analyzer* (SAA)

Pada tahun 1938, tiga peneliti yaitu Stephen Brunauer, P.H. Emmett, dan Edward Teller merumuskan sebuah teori mengenai mekanisme adsorpsi gas secara berlapis (*multilayer*). Menurut teori ini, energi yang terlibat dalam proses adsorpsi muncul akibat terbentuknya induksi dipol pada molekul gas yang bersifat non-polar, yang selanjutnya memungkinkan terjadinya interaksi antar lapisan adsorbat secara bertingkat (Nurhaeni et al., 2017).

Penerapan teori BET dilakukan melalui pengujian menggunakan alat *Surface Area Analyzer* (SAA). Instrumen ini digunakan untuk menganalisis karakteristik pori material, termasuk ukuran diameter pori, volume total pori, serta luas permukaan spesifik. Prinsip kerjanya didasarkan pada proses adsorpsi dan desorpsi gas oleh permukaan material yang diuji. (Kusumaningtyas, 2017). Berikut ini adalah cara kerja dari instrumen SAA.



Gambar 2. 5 Cara Kerja Instrumen SAA
(Kusumaningtyas, 2017)

Mekanisme dalam proses adsorpsi gas melibatkan penyerapan gas seperti nitrogen, argon, atau helium pada permukaan padatan yang hendak dianalisis, dilakukan pada suhu konstan. Dengan mengukur volume gas yang teradsorpsi pada kondisi tekanan dan suhu tertentu, serta memperhitungkan luas teoritis yang ditempati oleh satu molekul gas, maka total luas permukaan dari padatan tersebut dapat dihitung. Luas permukaan total ini menunjukkan jumlah pori dalam satuan luas tertentu, sementara luas permukaan spesifik merujuk pada total luas pori yang dimiliki oleh material per satuan berat (gram) (Ramadani et al., 2022).

Pengujian luas permukaan menggunakan metode *Surface Area Analyzer* (SAA), gas nitrogen kerap dipilih sebagai gas adsorbat karena tersedia dalam tingkat kemurnian yang tinggi serta memiliki kemampuan berinteraksi secara efektif dengan berbagai jenis material padat. Mengingat interaksi antara fase gas dan padat umumnya bersifat lemah, maka proses adsorpsi dilakukan dalam kondisi suhu rendah, biasanya dengan pendinginan menggunakan nitrogen cair, untuk memungkinkan terjadinya adsorpsi yang cukup signifikan. Tahapan ini terjadi di bawah tekanan atmosfer normal atau dalam kondisi mendekati vakum. Setelah terbentuknya lapisan adsorpsi, gas nitrogen yang melekat pada permukaan

material kemudian dilepaskan melalui proses pemanasan (Kusumaningtyas, 2017).

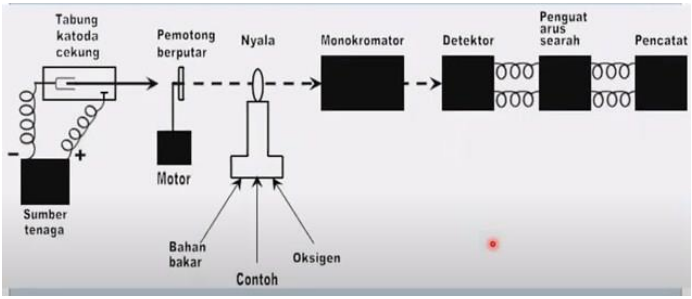
Surface Area Analyzer (SAA) juga dapat menganalisis ukuran pori dan klasifikasi tipe pori pada material adsorben. Berdasarkan ukuran porinya, material berpori dikategorikan menjadi tiga jenis yaitu, mikropori (kurang dari 2 nm), mesopori (2–50 nm), dan makropori (lebih dari 50 nm). Informasi ukuran dan volume pori ini sangat penting karena memengaruhi mekanisme dan tipe adsorpsi yang terjadi. Adsorpsi pada material mikropori umumnya melibatkan adsorpsi monolayer dan kapilaritas, sedangkan mesopori mendukung pembentukan multilayer. Dengan demikian, data distribusi pori yang dihasilkan oleh SAA dapat digunakan untuk menentukan karakteristik kapasitas penyerapan serta menyesuaikan model isoterm adsorpsi yang tepat, seperti model Langmuir untuk monolayer pada mikropori atau model BET untuk multilayer pada mesopori (Ramadhani et al., 2022).

10. *Atomic Absorbtion Spektofotometri* (AAS)

Spektrofotometri Serapan Atom (AAS) merupakan teknik analisis yang bekerja dengan mengukur intensitas cahaya yang diserap oleh atom-atom logam bebas dari unsur yang dianalisis. Panjang gelombang yang digunakan dalam metode ini umumnya berada dalam kisaran 200 hingga 300 nanometer. Salah satu keunggulan utama dari

AAS adalah tingkat selektivitasnya yang tinggi terhadap unsur logam tertentu, serta ketergantungannya yang rendah terhadap sumber emisi cahaya, sehingga menghasilkan hasil analisis yang lebih akurat dan spesifik (Kasih, 2019).

Prinsip kerja dasar dari *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) didasarkan pada interaksi antara sampel dengan radiasi elektromagnetik, di mana atom-atom dalam sampel menyerap energi ketika mengalami transisi elektron dari tingkat energi dasar menuju keadaan tereksitasi. Teknik ini sangat sesuai untuk analisis unsur logam dalam konsentrasi yang rendah. Prosedur AAS dimulai dengan penguapan larutan sampel, diikuti oleh pembentukan atom bebas dari logam-logam yang terkandung di dalamnya. Atom-atom tersebut selanjutnya menyerap energi radiasi yang dihasilkan oleh sumber cahaya berupa lampu katoda berongga (*Hollow Cathode Lamp*), yang telah disesuaikan dengan unsur target. Energi yang diserap kemudian dianalis pada panjang gelombang tertentu yang menjadi ciri khas tiap jenis logam (Siringo-ringo, 2019). Berikut ini adalah bagian-bagian dari instrumen AAS.



Gambar 2. 6 Bagian-bagian Instrumen AAS

(Siringo-ringo, 2019)

Keberhasilan dalam pembuatan adsorben ditandai dengan kemampuannya dalam menyerap ion logam dari larutan uji. Efektivitas adsorpsi ini dapat dievaluasi melalui hasil analisis menggunakan instrumen spektroskopi serapan atom (AAS). Adsorben yang dihasilkan diharapkan memiliki kemampuan yang optimal dalam mengikat ion logam, sehingga setelah proses interaksi terjadi konsentrasi ion logam dalam larutan mengalami penurunan dibandingkan dengan nilai awal sebelum perlakuan (Djunaidi, 2018).

Spektrofotometri digunakan sebagai metode analisis untuk menentukan kadar ion logam yang telah teradsorpsi. Penentuan konsentrasi ion logam tersebut dilakukan secara kuantitatif dengan membandingkan nilai konsentrasi ion logam sebelum dan sesudah proses adsorpsi berlangsung, di mana selisih antara keduanya mencerminkan jumlah ion

logam yang berhasil diserap oleh adsorben (Djunaidi, 2018).

B. Kajian Pustaka

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Tanasal et al (2015) membahas proses biosorpsi ion logam Cd(II) menggunakan kulit buah naga sebagai biosorben. Berdasarkan hasil studi tersebut, proses biosorpsi mengikuti model isoterm Langmuir dengan kapasitas maksimum biosorpsi (Qo) yang tercatat sebesar 36,50 mg/g. Proses penyerapan ion Cd(II) oleh kulit buah naga didukung oleh keberadaan gugus fungsi aktif, terutama gugus hidroksil (-OH), yang berperan penting dalam mekanisme interaksi antara logam dan permukaan biosorben.

Arlofa et al (2023) telah melakukan penelitian terkait potensi kulit buah naga merah sebagai adsorben logam berat timbal (Pb). Berdasarkan hasil yang diperoleh, proses adsorpsi Pb oleh kulit buah naga merah sesuai dengan model isoterm Langmuir, dengan kapasitas adsorpsi maksimum mencapai 0,2992 mg/g. Selain itu, model Freundlich juga diterapkan dalam analisis dengan konstanta K sebesar 1,7298 mg/g. Penelitian ini turut mengevaluasi pengaruh variasi pH terhadap efisiensi adsorpsi, di mana diperoleh efisiensi penyerapan tertinggi sebesar 70%.

Dewi et al (2015) melakukan studi terhadap pemanfaatan arang aktif yang berasal dari kulit pisang raja sebagai adsorben untuk menurunkan kadar ion Pb(II), dengan aktivasi menggunakan larutan H_2SO_4. Berdasarkan hasil

analisis, arang aktif teraktivasi menunjukkan luas permukaan sebesar 3,431 m^2/g dan rata-rata jari-jari pori sebesar 32,3493 Å. Sebaliknya, arang yang tidak mengalami proses aktivasi hanya memiliki luas permukaan sebesar 3,279 m^2/g dan ukuran rata-rata jari-jari pori sebesar 24,0124 Å. Hal ini menunjukkan bahwa aktivasi kimia meningkatkan kapasitas pori, sehingga membuatnya lebih efisien dalam menyerap ion Pb(II). Berdasarkan pendekatan isoterm Langmuir, kapasitas maksimum adsorpsi tercatat sebesar 16,3666 mg/g, dengan energi adsorpsi senilai 16,0103 kJ/mol untuk ion Pb(II) pada arang aktif yang telah diaktivasi.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilaporkan oleh Rahmi dan Sajidah (2017) diketahui bahwa beberapa jenis tanaman air seperti Azolla dan enceng gondok memiliki kemampuan signifikan dalam menurunkan kadar logam berat timbal (Pb) dalam air. Tanaman Azolla berhasil mereduksi konsentrasi Pb dari 0,037 ppm hingga tidak terdeteksi (0 ppm), sementara enceng gondok menurunkannya dari 0,068 ppm menjadi 0,005 ppm. Secara persentase, Azolla menunjukkan efektivitas penyerapan Pb sebesar 100%, diikuti oleh enceng gondok sebesar 94,11%, dan tanaman semanggi air yang juga menunjukkan kemampuan reduksi Pb mencapai 87,01%.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Fadhila dan Maricar (2014), proses adsorpsi ion timbal (Pb) menggunakan arang sekam padi menunjukkan bahwa waktu

kontak optimum tercapai pada menit ke-120, dengan konsentrasi ion Pb yang tersisa dalam larutan sebesar 4,0816 mg/L. Secara teoritis, semakin panjang durasi kontak antara adsorben dan adsorbat, maka proses penyerapan akan berlangsung lebih efektif karena memungkinkan terjadinya interaksi yang lebih maksimal. Pada menit ke-120, proses adsorpsi telah mencapai kondisi optimum dengan konsentrasi akhir sebesar 7,9184 mg/L. Mengingat konsentrasi awal ion Pb sebesar 9,2585 mg/L, maka dapat disimpulkan bahwa kemampuan penyerapan arang sekam padi terhadap ion timbal mendekati angka 100% (Fadilah dan Maricar., 2014).

C. Hipotesis

Merujuk pada rumusan tujuan dalam penelitian ini, maka hipotesis yang dapat diajukan adalah sebagai berikut:

1. Arang aktif yang dihasilkan dari kulit buah naga merah memiliki karakteristik fisik dan kimia yang mendukung kemampuannya sebagai biosorben, termasuk luas permukaan yang tinggi, porositas yang baik, dan adanya gugus fungsi yang dapat berinteraksi dengan ion logam Pb(II).
2. Kapasitas dan efektivitas adsorpsi ion logam Pb(II) oleh arang kulit buah naga merah teraktivasi asam sulfat diprediksikan akan meningkat.
3. Kinetika adsorpsi diprediksikan akan mengikuti model *pseudo* orde dua, sedangkan isotherm adsorpsi diprediksikan akan mengikuti model Langmuir, Hal

menunjukan bahwa tidak ada interaksi antara molekul Pb(II) yang teradsorpsi, sehingga konsentrasi ion logam dalam larutan berbanding lurus dengan jumlah ion logam yang teradsorpsi pada arang aktif hingga mencapai titik jenuh. Temuan dari penelitian ini diharapkan mampu menyumbangkan informasi yang relevan bagi upaya pengembangan biosorben yang efektif dan ramah lingkungan untuk mengatasi pencemaran logam berat dalam air.

BAB III
METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini berlangsung pada rentang waktu Januari hingga Mei 2025, dengan lokasi utama pelaksanaan di Laboratorium Kimia Kampus 2 dan 3 UIN Walisongo Semarang. Pengujian karakterisasi menggunakan instrumen FTIR dan AAS akan dilakukan di Laboratorium Sains dan Teknologi Kampus 3 UIN Walisongo, sedangkan analisis menggunakan instrumen *Surface Area Analyzer* (SAA) akan dilaksanakan di Laboratorium FMIPA Universitas Islam Indonesia (UII). Bahan baku utama yang digunakan berupa kulit buah naga, yang diperoleh dari pedagang jus buah yang berlokasi di wilayah Ngaliyan.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Peralatan yang dimanfaatkan dalam penelitian ini dikelompokan menjadi dua kategori, yaitu peralatan untuk tahap preparasi dan peralatan untuk keperluan analisis. Alat preparasi terdiri dari gelas *beaker*, gelas ukur, labu ukur 100 mL, erlenmeyer, spatula, cawan porselen, neraca analitik, desikator, mortar, pipet volume, pipet, corong, alumunium foil, *hotplate*, *magnetic stirrer* (Cimarec), ayakan 100 *mesh*, pH universal, dan kertas saring. Selain itu, digunakan *furnace* (Thermo Scientific Thermolyne),

dan oven (Memmert Un55). Adapun alat analisis terdiri dari *Fourier Transform Infra Red* (FTIR, Brunker Alpha2), *Atomic Absorbtion Spectrophotometry* (AAS, iCE 3000 series Thermo Scientific), dan *Surface Area Analyzer* (SAA, Quantacchore Autosorb-iQ).

2. Bahan

Bahan utama dalam penelitian ini berupa limbah kulit buah naga merah yang dikumpulkan dari pedagang jus buah yang berlokasi di Ngaliyan, akuades (Merck, p.a), larutan H_2SO_4 1 M (Merck, p.a), HNO_3 65% (Merck,p.a), serta larutan $Pb(NO_3)_2$ (Merck, p.a).

C. Prosedur Penelitian

1. Preparasi Sampel Kulit Buah Naga Merah

Proses awal yang dilakukan terhadap kulit buah naga merah meliputi pencucian menggunakan air mengalir guna membersihkan permukaan dari kotoran yang menempel. Setelah itu, kulit dicuci kembali menggunakan akuades untuk memastikan kemurniannya, kemudian dikeringkan hingga tidak ada sisa air. Selanjutnya, kulit tersebut dipotong menjadi bagian-bagian kecil agar memperoleh sampel yang siap untuk tahap pengolahan berikutnya (Arlofa et al., 2023).

2. Pembuatan Arang Aktif Kulit Buah Naga Merah

Proses produksi arang aktif pada penelitian ini terdiri atas 5 langkah utama yang akan dilakukan secara bertahap:

a. Dehidrasi

Kulit buah naga merah yang telah melalui tahap pembersihan kemudian dikeringkan dengan cara dijemur di bawah paparan sinar matahari selama kurang lebih 7 hari, hingga kadar air dalam sampel berkurang secara signifikan namun belum mencapai kondisi benar-benar kering (Arlofa et al., 2023).

b. Karbonisasi

Kulit buah naga merah yang telah dikeringkan akan mengalami proses pirolisis dengan dimasukkan ke dalam *furnace* pada suhu 400°C selama 30 menit hingga terbentuk arang. Arang yang dihasilkan selanjutnya dihancurkan menggunakan mortar sampai menjadi serbuk halus. Proses pengayakan dilakukan dengan menggunakan ayakan berukuran 100 mesh untuk memperoleh partikel berukuran seragam. Setelah itu, serbuk arang disimpan di dalam desikator guna mencegah penyerapan uap air dari udara (Ihwan et al., 2019).

c. Aktivasi

Sebanyak 100 gram sampel dicampurkan dengan larutan H_2SO_4 1 M sebanyak 100 mL dan diaduk selama dua jam menggunakan alat pengaduk magnetik (*magnetic stirrer*). Selama proses berlangsung, gelas beaker ditutup menggunakan aluminium *foil* untuk

mencegah terjadinya kontaminasi dari lingkungan sekitar. Setelah pengadukan selesai, larutan campuran tersebut dibiarkan selama 24 jam pada temperatur ruang. Setelah itu, sampel dicuci menggunakan akuades, disaring, dan dibilas berulang hingga mencapai pH dengan kondisi netral. Sampel yang telah dinetralkan pH nya selanjutnya mengalami tahap pengeringan pada suhu 100°C selama 2 jam dalam oven, lalu didinginkan secara perlahan dalam desikator untuk mencegah perubahan fisik akibat suhu. Tahapan ini menghasilkan arang aktif dari kulit buah naga merah yang telah melalui proses aktivasi kimia (Chrisnandari et al., 2022).

d. Pengujian Kualitas Arang Aktif Kulit Buah Naga Merah

1) Pengujian Kadar Air

Sebanyak 1 gram arang aktif sebagai biosorben diambil dan selanjutnya dilakukan proses pengeringan dalam oven pada suhu 100°C selama dua jam. Setelah proses pengeringan selesai, sampel dibiarkan mendingin di dalam desikator dan ditimbang hingga mencapai massa yang konstan. Tahap selanjutnya adalah menghitung kadar air dengan menggunakan rumus yang telah ditetapkan untuk analisis kadar air (Masyithah et al., 2018).

$$\text{Kadar Air} = \frac{W1 - W2}{W1 - W0} \times 100\% \qquad (3.1)$$

Keterangan :

W_0= Berat cawan dalam kondisi kosong (g)

W_1= Berat gabungan cawan kosong dan sampel sebelum proses pemanasan (g)

W_2= Berat total cawan dan sampel setelah dilakukan pengeringan di dalam oven (g).

2) Pengujian Kadar Abu

Proses diawali dengan mengeringkan cawan porselen dalam oven bersuhu 100°C selama 15 menit, dilanjutkan dengan pendinginan di desikator dan penimbangan massa awal. Langkah berikutnya, penimbangan karbon aktif sebanyak 1 gram dilakukan, lalu ditempatkan ke dalam cawan poselen kemudian dilakukan pembakaran menggunakan *furnace* pada suhu 400°C selama dua jam hingga diperoleh residu berupa abu berwarna putih pucat. Setelah proses pemijaran selesai, cawan didinginkan dalam desikator dan ditimbang kembali hingga mencapai berat konstan (Masyithah et al., 2018).

$$\text{Kadar Abu} = \frac{W3 - W4}{W2 - W1} \times 100\% \qquad (3.2)$$

Keterangan :

W_1= Berat cawan dalam kondisi kosong (g)

W_2= Berat cawan kosong setelah proses pengeringan di oven (g)

W_3= Berat gabungan antara cawan dan sampel sebelum proses pembakaran di *furnace* (g)

W_4= Berat gabungan antara cawan dan sampel setelah proses pembakaran di *furnace* (g).

3) Pengujian Zat Mudah Menguap

Sebanyak 1 gram karbon aktifyang telah diuji kadar air dan kadar abunya dimasukkan ke dalam wadah porselen (*kruz*). Selanjutnya, karbon aktif dipanaskan dalam *furnace* dengan menaikkan suhu secara bertahap hingga mencapai suhu 410°C selama 15 menit. Kemudian dibiarkan mendingin di dalam *furnace* tanpa terpapar udara luar. Setelah suhu turun, sampel dipindahkan ke dalam desikator untuk didinginkan sepenuhnya, lalu dilakukan penimbangan (Putra dan Putra, 2023).

Kadar Uap= $\frac{W2-W3}{W2-W1}$ × 100% - %Kadar air (3.1)

Keterangan :

W_1 = Berat cawan dalam keadaan kosong (g)

W_2 = Berat cawan beserta sampel sebelum proses pemansan (g)

W_3 = Berat gabungan cawan dan sampel setelah dilakukan pemanasan (g).

4) Pengujian Kadar Karbon Terikat

Karbon terikat diperoleh berdasarkan selisih massa yang tersisa setelah proses pemanasan untuk analisis kadar zat teruap dan abu, yaitu dengan mengurangi jumlah kehilangna massa dari total sempel (Putra et al., 2023).

Karbon terikat = 100% - (Kadar Abu + Kadar Zat Mudah Menguap) (3.4)

e. Karakterisasi Gugus Fungsi dan Luas Permukaan Biosorben

Analisis karakteristik arang aktif dari kulit buah naga merah dilakukan sebelum dan sesudah proses aktivasi, menggunakan alat bantu analisis tertentu yaitu berupa instrumen *Fourier Transform Infra Red* - ATR (FTIR, Brunker Alpha2) serta *Surface Area Analyzer* (SAA, Quantacchore Autosorb-iQ). Data yang dihasilkan dari proses karakterisasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan gugus fungsi kimia serta mengukur luas permukaan spesifik dari arang aktif tersebut.

3. Preparasi Larutan $Pb(NO_3)_2$

a. Pembuatan Larutan Induk Pb^{2+} 1000 ppm

Pembuatan larutan stok Pb(II) dilakukan dengan melarutkan serbuk $Pb(NO_3)_2$ ke dalam 1000 mL akuades, sesuai dengan massa yang diperlukan. Jumlah

serbuk $Pb(NO_3)_2$ yang digunakan dihitung menggunakan Persamaan 3.5.

$$\text{Massa} = \frac{ppm \times V \times Mr\ Pb(NO3)2}{Ar\ Pb(II)} \quad (3.5)$$

Keterangan:

ppm = Konsentrasi larutan yang diinginkan (ppm)

V = Volume total larutan (L)

Mr = Massa molekul relatif dari senyawa

Ar = Massa atom relatif dari unsur

Sejumlah 1,599 gram serbuk $Pb(NO_3)_2$ ditimbang dan dimasukkan ke dalam labu ukur berkapasitas 1000 mL, kemudian ditambahkan HNO_3 65% sebanyak 5 mL dan akuades sampai volume mencapai garis batas. Setelah itu, larutan dikocok hingga tercampur secara merata.

b. Pembuatan Larutan Pb^{2+} 100 ppm dari Larutan Induk Pb^{2+} 1000 ppm sebanyak 100 mL

Pembuatan larutan $Pb(NO_3)_2$ dengan konsentrasi 100 ppm dilakukan dengan mengambil sebanyak 10 mL larutan induk $Pb(NO_3)_2$ berkonsentrasi 1000 ppm, kemudian diencerkan menggunakan akuades hingga volume mencapai tanda batas pada labu ukur 100 mL. Selanjutnya, larutan dikocok hingga homogen untuk memastikan pencampuran sempurna (Arlofa et al., 2023).

c. Pembuatan Larutan Pb^{2+} 10, 15, 20, 25 dan 30 ppm dari Larutan Pb^{2+} 100 ppm sebanyak 100 mL

Larutan Pb(II) dengan konsentrasi 10, 15, 20, 25, dan 30 ppm disiapkan dengan mengambil masing-masing sebanyak 10, 15, 20, 25, dan 30 mL dari larutan Pb(II) 100 ppm. Setiap volume tersebut kemudian diencerkan dengan akuades hingga mencapai tanda batas pada labu ukur berkapasitas 100 mL. Setelah itu, seluruh larutan dikocok sampai tercampur secara merata (Arlofa et al., 2023).

4. Optimasi Adsorpsi ion Pb^{2+} Menggunakan Biosorben Kulit Buah Naga Merah

a. Pengaruh Variasi pH terhadap Adsorpsi Ion Logam Pb^{2+}

Sebanyak 0,1 gram arang aktif dari kulit buah naga merah dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer, kemudian ditambahkan 25 mL larutan $Pb(NO_3)_2$ dengan konsentrasi 10 ppm yang sebelumnya telah diatur pada pH 2 melalui penambahan bertahap larutan HNO_3 0,1 M. Proses pengadukan dilakukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada kondisi suhu ruang, untuk memastikan seluruh komponen tercampur secara merata. Setelah proses pengadukan selesai, campuran disaring menggunakan kertas saring Whatman nomor 42 (Arlofa et al., 2023).). Filtrat hasil penyaringan kemudian dianalisis menggunakan

spektrofotometer serapan atom (AAS) untuk mengukur nilai absorbansi. Langkah yang sama diterapkan untuk pengujian larutan pada variasi pH 3, 4, 5, dan 6 (Artika et al., 2019).

b. Pengaruh Variasi Waktu Kontak terhadap Adsorpsi Ion Logam Pb^{2+}

Larutan $Pb(NO_3)_2$ 10 ppm sebanyak 25 mL dengan pH 6 dicampurkan dengan 0,1 gram arang aktif dari kulit buah naga merah. Pengadukan dilakukan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu kamar selama 10 menit hingga terbentuk larutan yang merata secara menyeluruh. Selanjutnya, campuran tersebut dipisahkan melalui proses penyaringan menggunakan kertas saring, dan larutan hasil penyaringannya (filtrat) dianalisis kadar konsentrasinya menggunakan instrumen AAS. Tahapan ini diulangi dengan variasi waktu kontak, yaitu selama 15, 30, 45, dan 60 menit (Artika et al., 2019).

c. Pengaruh Variasi Konsentrasi terhadap Adsorpsi Ion Logam Pb^{2+}

Larutan $Pb(NO_3)_2$ 10 ppm sebanyak 25 mL dengan pH 6 dikontakkan dengan 0,1 gram arang aktif berbahan dasar kulit buah naga merah teraktivasi. Proses pencampuran dilakukan menggunakan magnetic stirrer hingga larutan homogen selama 45 menit. Setelah itu, campuran disaring untuk memisahkan fase cair

(filtrat) dari padatan. Konsentrasi Pb(II) dalam filtrat dianalisis menggunakan spektrofotometer serapan atom (AAS). Tahapan ini diulangi untuk konsentrasi lain, yaitu 15, 20, 25, dan 30 ppm (Artika et al., 2019).

D. Analisis Data

1. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi

Hasil pengukuran menggunakan AAS memberikan data konsenrasi akhir larutan $Pb(NO_3)_2$. Jumlah ion Pb(II) yang berhasil diadsorpsi ditentukan dengan menggunakan rumus yang tercantum pada Persamaan 3.6.

$$q_e = \frac{(Co - Ce)}{W} \times V \qquad (3.6)$$

Keterangan:

q_e = Kapasitas adsorpsi ion Pb(II) oleh adsorben (mg/g)

Co = Konsentrasi mula-mula larutan $Pb(NO_3)_2$ (ppm)

Ce = Konsentrasi larutan $Pb(NO_3)_2$ setelah perlakuan adsorpsi (ppm)

W = Massa adsorben berbahan dasar kulit buah naga (gram)

V = Volume larutan logam berat yang digunakan dalam proses adsorpsi (L) (Kurniawan et al., 2014).

2. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

a. *Pseudo* Orde Satu

Persamaan 3.7 menggambarkan bentuk matematis dari model kinetika *pseudo* orde satu yang digunakan dalam kajian ini sebagai berikut:

$$\frac{qd_t}{d_t} = k_1(q_e - q_t) \quad (3.7)$$

Keterangan:

q_t = Kapasitas adsorpsi ion Pb(II) oleh arang aktif dari kulit buah naga pada waktu t (menit), dinyatakan dalam mg/g

q_e = Kapasitas maksimum ion Pb(II) yang berhasil teradsorpsi oleh arang aktif buah naga saat kondisi setimbang tercapai (mg/g)

k_1 = Konstanta laju reaksi dari model kinetika *pseudo* orde satu, dengan satuan (menit-1)

Persamaan 3.3 diselesaikan melalui metode integrasi dalam rentang dalam t=0, hingga t=t dengan kondisi awal q_t=0 hingga q_t=q_t, dan hasilnya dituangkan dalam Persamaan 3.8.

$$\text{In } (q_e - q_t) = \text{In } q_e - k_1 \,.\, t \quad (3.8)$$

Ketika grafik ln (q_e – q_t) vs t, maka nilai dari k_1 dan q_e dapat dihitung, yang selanjutnya menghasilkan turunan persamaan yang disebut sebagai Persamaan 3.9

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2{,}303} . t \quad (3.9)$$

dengan plot log (q_e – q_t) terhadap t, nilai k_1 dan q_e dapat dihitung dari *slope* dan *intercept* garis lurus pada grafik (Nitsae et al., 2021).

b. *Pseudo* Orde Dua

Hubungan kinetika adsorpsi berdasrkan model *pseudo* orde dua dinyatakan secra sistematis dalam Persamaan 3.10.

$$\frac{qd_t}{d_t} = k_2\ (q_e - \ q_t)^2 \qquad (3.10)$$

Melalui integrasi terhadap persamaan 3.7 dalam batasan t =0 dan q_t=0 hingga t=t dan q_t=q_t, diperoleh hasil akhir yang tertuang dalam Persamaan 3.11

$$\frac{dq}{dt} = k_2(q_0 - q_t)^2$$

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 {q_e}^2} + \frac{1}{q_e}t \qquad (3.11)$$

dimana k_2 merupakan konstanta laju *pseudo* orde dua (g.menit^{-1}mg^{-1}). Nilai k_2 dan q_e dapat diperoleh dari nilai *intercept* dan *slope* pada grafik lurus dengan plot (t/q_t) vs t (Nitsae et al., 2021).

3. Perhitungan Isoterm Adsorpsi

Model isoterm Langmuir mengacu pada konsep adsorpsi *monolayer*, yaitu penyerapan yang terbatas pada satu lapisan, dan secara matematis digambarkan dalam Persamaan 3.12

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_m K_L} + \frac{C_e}{Q_m} \qquad (3.12)$$

Keterangan:
Qm = Kapasitas maksimum adsorben dalam mengikat ion Pb(II) (mg/g)
K_L = Konstanta Langmuir (L/mg)

Qe = Kapasitas adsorpsi ion Pb(II) pada sistem mencapai keadaan setimbang (mg/g)

Ce = Konsentrasi adsorbat pada kondisi kesetimbangan (ppm).

Model isoterm Freundlich digunakan untuk menggambarkan proses adsorpsi pada permukaan yang bersifat heterogen dan tidak ideal. Hubungan matematis dari model ini dinyatakan melalui Persamaan 3.13

$$In\ Q_e = In\ K_F + \frac{1}{n}.In\ C_e \qquad (3.13)$$

Keterangan:

n = Afinitas adsorpsi

K_f = Konstanta Freundlich

(Kurniawan *et al*., 2014).

4. Perhitungan Efektifitas Adsorpsi

Efektivitas adsorpsi logam berat dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.14

$$\text{Ef (\%)} = \frac{Yi-Yf}{Yi} \times 100\% \qquad (3.14)$$

Keterangan:

Y_i = Konsentrasi awal logam berat dalam larutan (ppm)

Y_f = Konsentrasi logam berat setelah proses perlakuan (ppm) (Ibnu Hajar et al., 2018).

BAB IV

PEMBAHASAN

A. Preparasi Kulit Buah Naga Merah

Kulit buah naga merah yang diperoleh dari penjual jus buah di Ngaliyan dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan biosorben. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Saneto (2005) diketahui bahwa kulit buah naga merah mengandung serat sebesar 46,7%. Tingginya kandungan serat tersebut mengindikasikan bahwa material ini berpotensi digunakan sebagai biosorben dalam proses penyerapan logam berat.

Tahap awal dalam proses pembuatan biosorben dari kulit buah naga merah dilakukan dengan memotong bahan menjadi ukuran kecil guna mempercepat proses pengeringan serta mempermudah tahapan karbonisasi. Setelah itu, kulit buah dicuci di bawah aliran air bersih untuk menghilangkan kotoran atau sisa-sisa yang masih menempel pada permukaanya. Kulit buah naga dibilas dengan untuk membersihkan sampel dari kotoran dan senyawa pengotor yang mungkin ada pada sampel. Akuades dipilih karena kemurnianya yang tinggi, sehingga tidak mengandung ion atau zat lain yang dapat menurunkan kualitas karbon aktif yang dihasilkan (Anggara *et al*., 2013). Selanjutnya, kulit buah naga dikeringkan dengan cara dijemur dibawah paparan sinar matahari hingga kadar airnya berkurang secara optimal.

B. Metode Pembuatan Arang Aktif

Tahapan dalam pembuatan arang aktif terdiri atas dua proses penting, yaitu karbonisasi dan aktivasi. Tahap karbonisasi bertujuan untuk menghilangkan komponen *volatile* dan menguraikan senyawa organik yang masih terkandung di dalam bagian kulit buah naga merah (Mastiani et al., 2018). Pada proses ini, kulit buah naga yang telah dikeringkan dipanaskan menggunakan *furnace* pada suhu 400°C selama 30 menit hingga terbentuk material karbon. Karbon yang diperoleh didingikan terlebih dahulu kemudian dihaluskan dengan mortar. Setelah itu sampel di ayak dengan ayakan ukuran 100 *mesh* dengan tujuan agar ukuran serbuk sama rata. Penyamaan ukuran serbuk ini dilakukan karena ukuran partikel sangat mempengaruhi kapasitas adsorpsi. Serbuk yang halus dan keseragaman ukuran yang sama rata menunjukan efisiensi adsorpsi yang memberikan performa lebih baik karena mempunyai luas permukaan yang lebih besar, sehingga proses adsorpsi ion logam Pb^{2+} akan lebih optimal (Riansyah et al., 2013).

Serbuk kulit buah naga merah yang dihasilkan dilanjutkan tahap aktivasi menggunakan H_2SO_4 1 M. Proses aktivasi dilakukan dengan mengaduk sampel selama 2 jam dengan *magnetic stirrer* dan kemudian di rendam dalam waktu 24 jam. Tahapan aktivasi berfungsi untuk menghilangkan kontaminan atau senyawa yang tidak diinginkan yang masih

melekat pada arang hasil karbonisasi kulit buah naga merah, sekaligus melarutkan kandungan mineral di dalamnya untuk membentuk gugus hidroksil (O-H) yang mampu berinteraksi dengan ion logam berat Pb^{2+} (Tanasal et al., 2015). Aktivasi dengan menggunakan H_2SO_4 karena H_2SO_4 merupakan agen pengoksidasi yang kuat, dapat menghasilkan pori-pori yang lebih halus dan teratur sehingga dapat meningkatkan reaktivitas permukaan arang aktif. Selain itu, asam sulfat dapat menciptakan gugus fungsi hidroksil dan karboksil pada permukaan arang aktif (Suhendra dan Gunawan, 2010).

Sampel yang telah diaktivasi kemudian disaring dan dibilas dengan akuades hingga pH netral. Penetralan ini bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa larutan H_2SO_4 pada sampel. Arang aktif yang memiliki pH netral lebih stabil dan tidak reaktif. Selain itu, dengan menetralkan pH arang aktif dapat memiliki kapasitas adsorpsi yang optimal (Riansyah et al., 2013). Setelah proses penetralan selesai, arang aktif dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 2 jam. Arang aktif yang sudah kering kemudian disimpan kedalam desikator.

C. Pengujian Kualitas Arang Aktif

Pengujian mutu arang aktif yang dihasilkan dari kulit buah naga merah dilakukan untuk mengetahui tingkat kesesuaianya dengan standar yang ditetapkan dalam SNI 06-3730-1995. Hasil dari pengujian tersebut disajikan secara rinci pada Tabel 4.1

untuk memberikan gambaran mengenai karakteristik mutu arang aktif yang dihasilkan.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kualitas Arang Aktif Kulit Buah Naga Merah

Pengujian	Hasil Penelitian	SNI 06-370-1995	Keterangan
Kadar air	7%	Maks 15%	Sesuai
Kadar abu	5,1%	Maks 10%	Sesuai
Kadar zat menguap	17%	Maks 25%	Sesuai
Kadar karbon terikat	77,9%	Min 65%	Sesuai

1. Pengujian terhadap Kadar Air

Pengujian terhadap kadar air pada arang aktif kulit buah naga merah bertujuan untuk memastikan bahwa kadar air sesuai dengan standar mutu arang aktif SNI 06-3730-1995 yaitu maksimal 15%. Selain itu, pengujian kadar air berfungsi untuk mengetahui kualitas arang aktif karena kadar air yang rendah menandakan adsorpsi yang baik. Apabila kadar air yang terkandung pada arang aktif besar, maka adsorben tersebut akan memiliki sifat adsorpsi yang kurang baik karena pori-pori pada adsorben tertutupi oleh air sehingga dapat mempengaruhi daya serap pada adsorben (Yustinah et al., 2022).

Kadar air yang di peroleh pada penelitian ini sebesar 7% menujukan bahwa arang aktif kulit buah naga merah memiliki tingkat kadar air yang rendah dan telah memenuhi

syarat dalam SNI 06-3730-1995, yaitu tidak lebih dari 15% untuk arang aktif. Menurut penelitian Putra dan Putra, (2023) memiliki nilai kadar air yang rendah pada arang aktif sangat penting untuk menjaga porositas dan kapasitas adsorpsi, karena kandungan air yang tinggi dapat menghambat penetrasi zat yang diadsorpsi dan menurunkan efesiensi arang aktif.

2. Pengujian terhadap Kadar Abu

Pengujian terhadap kadar abu dalam arang aktif bertujuan untuk mengidentifikasi adanya residu mineral yang mungkin masih tersisa dalam sampel yang berpotensi menyumbat pori-pori, karena tidak tereliminasi selama proses karbonisasi dan aktivasi. Besarnya kadar abu sangat dipengaruhi oleh efektivitas zat pengaktif dalam melarutkan kandungan mineral organik yang terdapat di dalam arang aktif (Yustinah et al., 2022).

Nilai kadar abu pada penelitian ini sebesar 5,1% yang mana menunjukan bahwa arang aktif kulit buah naga merah memiliki tingkat kemurnian yang baik dan memenuhi kualitas standar yang ditetapkan. Menurut SNI 06-3730-1995, kadar abu arang aktif maksimal adalah 10% sehingga hasil ini mengindikasikan bahwa mineral pengotor dalam arang aktif telah berhasil diminimalkan dalam proses pembuatannya. Kadar abu yang rendah pada arang aktif mempengaruhi pada kapasitas adsorpsi karena rendahnya

kandungan mineral memungkinkan permukaan arang aktif memiliki efektivitas yang lebih tinggi dalam menyerap logam berat Pb(II) (Hendrawan et al., 2017).

3. Pengujian terhadap Kadar Zat Mudah Menguap

Pengujian terhadap kadar zat volatil dalam arang aktif berbahan dasar kulit buah naga merah dilakukan guna mengetahui seberapa besar kandungan senyawa mudah menguap yang masih tersisa pada adsorben tersebut. Selain itu, pengujian kadar uap dilakukan untuk menilai kemampuan arang aktif dalam menyerap senyawa volatil yang dapat mempengaruhi efektivitasnya sebagai adsorben (Kusdarini et al., 2017).

Pada penelitian yang telah diselesaikan, hasil uji kadar uap arang aktif kulit buah naga merah menunjukan nilai sebesar 17%. Nilai yang diperoleh sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh SNI 06-3730-1995 yaitu dengan maksimal 25%. Kadar uap sebesar 17% mengindikasikan bahwa arang aktif yang dihasilkan mempunyai tingkat kelembaban dan senyawa yang masih dalam batas aman, sehingga tidak akan mengganggu proses adsorpsi maupun daya simpan arang aktif tersebut. Kadar uap yang sesuai standar ini juga menunjukan bahwa proses pembuatan arang aktif telah dilakukan dengan baik, terutama dalam tahap pengeringan dan karbonisasi, sehingga menghasilkan

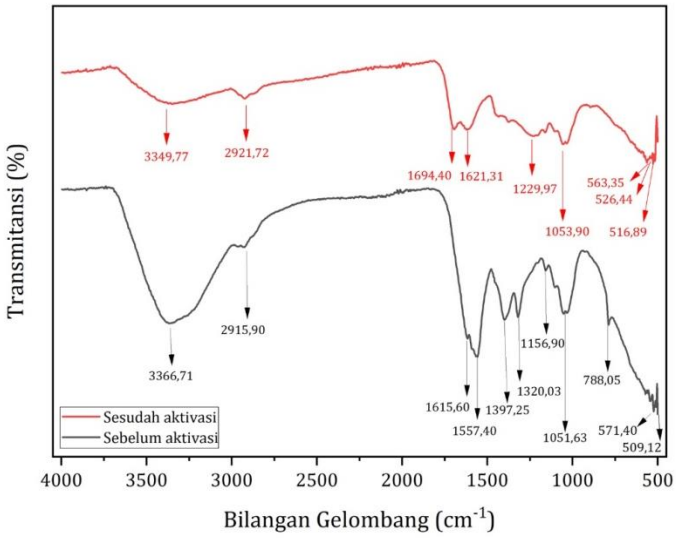
produk yang stabil dan efektif sebagai adsorben (Satria et al., 2018).

4. Pengujian terhadap Kadar Karbon Terikat

Pengujian kadar karbon terikat bertujuan untuk mengetahui kadar karbon murni yang terkandung dalam adsorben kulit buah naga merah (Kusdarini et al., 2017). Karbon terikat pada arang aktif kulit buah naga merah dapat dihitung berdasarkan selisih massa yang tidak hilang selam proses pemanasan dalam pengujian kadar abu dan kadar zat mudah menguap. Pada penelitian ini kadar karbon terikat sebesar 77,9% pada arang aktif kulit buah naga merah menunjukan bahwa memiliki tingkat kemurnian karbon yang tinggi dan memenuhi standar SNI 06-3037-1995 dengan syarat kadar karbon terikat minimal 65%. Nilai ini menunjukan bahwa proses karbonisasi dan aktivasi berjalan efektif. Menurut penelitian Fasya dan Fadila, (2017) kadar karbon terikat yang tinggi dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi yang optimal, terutama untuk aplikasi pengadsorpsi logam berat.

D. Identifikasi Gugus Fungsi melalui Spektroskopi FTIR

Analisis karakteristik adsorben dilakukan dengan bantuan instrumen *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) guna mengidentifikasi keberadaan serta perubahan gugus-gugus fungsi pada adsorben berbahan kulit buah naga merah, baik sebelum maupun sesudah proses aktivasi.



Gambar 4. 1 Spektra FTIR Arang Kulit Buah Naga Merah Sebelum Aktivasi dan Sesudah Aktivasi

Gambar 4.1 merupakan hasil karakterisasi FTIR untuk arang kulit buah naga merah sebelum aktivasi dan setelah aktivasi. Analisis menggunakan FTIR dilakukan pada sampel adsorben sebelum aktivasi dan sesudah aktivasi dengan tujuan untuk mengidentifikasi pergeseran spektrum serapan yang terjadi pada nilai bilangan gelombang tertentu (Rahmat, 2020). Berikut ini adalah interpretasi data FTIR yang dapat dilihat pada Tabel 4. 2

Tabel 4. 2 Hasil spektra FTIR arang kulit buah naga merah

Gugus fungsi	Bilangan gelombang (cm^{-1})	
	Arang Sebelum aktivasi	Arang Setelah aktivasi
O-H	3368,71	3349,77
C=C	1615,60	1621,31
C=O	-	1694,40
C-O	1051,63	1053,90

Tabel 4.2 menunjukan hasil perbandingan gugus fungsi arang kulit buah naga merah sebelum dan setelah aktivasi dengan H_2SO_4. Hasil FTIR adsorben sebelum melalui proses aktivasi mengindikasikan adanya gugus fungsi hidroksil (O-H) yang teramati pada kisaran panjang gelombang 3368,71 cm^{-1} dengan karakter puncak lebih tajam dibandingkan arang setelah aktivasi. Gugus hidroksil (O-H) yang terdapat pada adsorben setelah aktivasi dengan panjang gelombang 3349,77 cm^{-1} memilki puncak lebih lebar, hal ini dikarenakan terjadinya peningkatan ikatan hidrogen baik antar gugus O-H itu sendiri maupun dengan molekul lain seperti logam berat. Semakin banyak gugus O-H, semakin banyak pula titik aktif di permukaan adsorben yang dapat berinteraksi dengan zat yang akan diadsorpsi (Mentari et al., 2018).

Selain itu, hasil FTIR adsorben setelah aktivasi terbentuknya gugus fungsi karbonil (C=O) sebagai gugus fungsi baru yang teramati pada panjangan gelombang 1694,40

cm^{-1} yang tidak ada pada hasil FTIR adsorben sebelum aktivasi. Hal ini menandakan adanya senyawa dengan gugus karbonil yaitu asam karboksilat dengan mekanisme reaksi, sebagai berikut:

$$R\text{–}CH_2\text{–}OH \xrightarrow[-H_2O]{H_2SO_4} R\text{–}CH=O$$

Gugus fungsi karbonil (C=O) memiliki peran penting pada saat proses adsorpsi, terutama ketika digunakan pada material adsorben seperti arang aktif. Gugus karbonil bersifat polar dengan atom oksigen yang elektronegatif, sehingga memiliki kemampuan untuk berinteraksi secara elektrostatik atau melalui ikatan koordinasi dengan ion logam Pb^{2+} (Siregar, 2019). Analisis FTIR menunjukkan bahwa gugus fungsi alkena (C=C) masih teridentifikasi sebelum dan sesudah aktivasi, masing-masing pada panjang gelombang 1615,60 cm^{-1} dan 1621,31 cm^{-1}. Gugus fungsi C–O juga turut terdeteksi pada kedua tahap tersebut, dengan bilangan gelombang sebesar 1051,63 cm^{-1} sebelum aktivasi dan 1053,90 cm^{-1} setelah aktivasi.

E. Analisis Luas Permukaan Menggunakan SAA

Analisis dengan menggunakan instrumen *Surface Area Analyzer* (SAA) dilakukan untuk mengukur luas permukaan spesifik, volume total pori, serta diameter rata-rata pori dari adsorben yang berasal dari kulit buah naga merah, baik

sebelum maupun setelah proses aktivasi. Rangkaian data hasil karakterisasi tersebut tersaji pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil SAA arang Kulit Buah Naga Merah Sebelum dan Setelah Aktivasi

Hasil	Arang Sebelum Aktivasi	Arang Setelah Aktivasi
Luas Permukaan (m^2/g)	5,368	5,672
Rata-Rata Pori (Å)	24,85	12,16
Total Volume Pori (cc/g)	$6{,}372.10^{-3}$	$2{,}096.10^{-3}$

Bedasarkan Tabel 4.3 terlihat bahwa adsorben kulit buah naga merah telah mengalami perubahan dari sebelum di aktivasi dan setelah diaktivasi dengan H_2SO_4 mengalami perubahan yang signifikan, parameter yang diamati meliputi luas permukaan, ukuran pori rata-rata, serta total volume porinya. Terjadi peningkatan luas permukaan sebesar 5,66%, sementara rata-rata pori dan total volume pori menurun yang masing-masing sebesar 51,06% dan 67,10%.

Hasil analisis menunjukan bahwa adsorben berbahan kulit buah naga merah yang telah melalui proses aktivasi dengan H_2SO_4 hasilnya lebih baik dibandingkan dengan adsorben kulit buah naga merah tanpa aktivasi. Hal ini karena H_2SO_4 berperan sebagai agen yang dapat menguraikan komponen lignoselulosa pada kulit buah naga merah, terutama lignin dan hemiselulosa sehingga membuka struktur matriks bahan

tersebut. Asam sulfat memberikan ion H^+ yang menyerang ikatan kimia kompleks dalam lignin dan hemiselulosa, memecah ikatan tersebut dan menyebabkan penghilangan lignin yang berfungsi sebagai perekat antar serat selulosa (Winda et al., 2014). Hilangnya lignin dan hemiselulosa dapat menyebabkan struktur selulosa lebih terbuka dan renggang, sehingga menghasilkan peningkatan jumlah dan ukuran pori-pori pada material arang aktif. Penurunan volume dan rata-rata pori juga disebabkan karena aktivasi dengan H_2SO_4. Aktivasi kimia dengan asam kuat dapat merusak struktur dinding pori besar, sehingga runtuh atau terpecah menjadi pori-pori lebih kecil. Akibatnya ukuran rata-rata pori menurun, tetapi jumlah pori bisa meningkat.(Dewi et al., 2015).

F. Penentuan Kapasitas dan Efektivitas

1. Variasi pH

Variasi pH dalam larutan merupakan salah satu parameter penting yang berperan signifikan dalam menentukan efesiensi proses adsorpsi suatu material adsorben. Derajat keasaman larutan turut mempengaruhi kondisi muatan pada gugus fungsi atau situs aktif dari adsorben, yang pada akhirnya dapat menyebabkan terjadinya kompetisi antara ion H^+ dan kation logam dalam memperebutkan tempat pada permukaan aktif adsorben. Selain itu, nilai pH juga berperan dalam

menentukan spesiasi atau jenis logam berat yang terkandung di dalam larutan (Nurafriyanti et al., 2017).

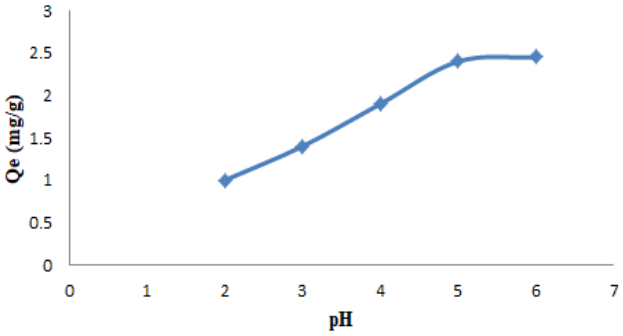
Uji pengaruh pH terhadap daya adsorpsi ion logam berat Timbal (Pb) dilakukan pada pH 2, 3, 4, 5, dan 6 dengan cara mengadsorpsi 25 mL larutan $Pb(NO_3)_2$ 10 ppm dengan menggunakan 0,1 gram adsorben kulit buah naga merah. Kemudian dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Setelah itu, campuran disaring dan filtrat yang dihasilkan diukur absorbansinya menggunakan AAS. Rentang pH dalam penelitian ini mengacu pada diagram spesiasi ion logam Pb(II) sehingga dapat dipastikan bahwa pemilihan pH yang dilakukan dalam kisaran yang sesuai dengan kondisis larutan yang mengandung ion logam Pb(II). Informasi terkait hasil variasi pH dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil data variasi pH

pH	Qe (mg/g)	Ef
2	1,0270	41,08%
3	1,4800	59,2%
4	1,9560	78,24%
5	2,4404	97,61%
6	2,4493	97,97%

Berdasarkan Tabel 4.4 bahwa variasi pH adsorben dengan kapasitas adsorpsi Pb^{2+} terbesar ada pada pH sebesar 2,4493 mg/g dan besar efektivitasnya 97,97%. Berdasarkan hasil pengamatan, peningkatan nilai pH menunjukkan korelasi positif terhadap kapasitas adsorpsi,

di mana nilai adsorpsi cenderung meningkat seiring naiknya pH larutan. Visualisasi hubungan antara variasi pH dan kapasitas adsorpsi yang diperoleh dari data pada Tabel 4.4 disajikan secara grafis pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 2 Pengaruh variasi pH terhadap efisiensi adsorpsi

Berdasarkan Gambar 4.2 memperlihatkan bahwa proses adsorpsi meningkat seiring dengan kenaikan nilai pH. Dalam kondisi pH rendah, konsentrasi ion hidrogen (H^+) berada dalam jumlah yang lebih dominan dibandingkan ion logam Pb^{2+}. Keadaan ini menyebabkan ion H^+ memiliki kecenderungan lebih tinggi untuk menempati situs aktif pada permukaan adsorben terlebih dahulu sebelum ion Pb^{2+} dapat teradsorpsi. Hal ini menyebabkan ion H^+ berinteraksi lebih kuat dengan adsorben dan menggantikan posisi ion Pb^{2+} selama proses adsorpsi berlangsung. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ketika pH 6 kapasitas adsorpsi meningkat hingga

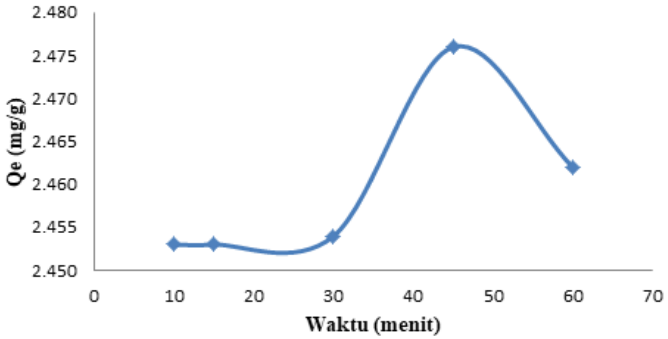
mencapai titik optimal, di mana jumlah ion H^+ menurun sehingga ion Pb^{2+} dapat teradsorpsi lebih banyak. Pada kondisi ini, seluruh situs aktif yang berada di permukaan adsorben telah berinteraksi dan terisi oleh ion Pb^{2+} (Sarah et al., 2016).

2. Variasi Waktu Kontak Adsorpsi

Penelitian ini menetapkan waktu optimum melalui pengujian pada beberapa rentang waktu yang divariasikan dalam 10, 15, 30, 45, dan 60 menit. Tujuan dari penetapan waktu optimum ini adalah untuk mengindentifikasikan serta menetapkan durasi yang paling efektif pada adsorben kulit buah naga merah sebanyak 0,1 gram dengan pH 6 dalam mengadsorpsi 25 mL ion logam Pb^{2+} dengan konsentrasi 10 ppm. Waktu kontak optimum adsorben kulit buah naga merah dapat diketahui melalui pembuatan grafik antara banyaknya ion logam Pb^{2+} yang teradsorpsi terhadap waktu interaksi optimum (Baryatik et al., 2019). Keseimbangan antara fasa permukaan dan fasa larutan menunjukkan tercapainya waktu kontak yang paling efektif, di mana proses adsorpsi berlangsung stabil tanpa terjadi peningkatan signifikan terhadap jumlah adsorbat yang terikat (Wulandari et al., 2014). Data mengenai waktu adsorpsi optimum disajikan pada Tabel 4.5, sementara visualisasi hubungan antara waktu kontak dan kapasitas adsorpsi ditampilkan pada Gambar 4.3.

Tabel 4. 5 Hasil data waktu adsorpsi optimum

Waktu (menit)	Qe (mg/g)	Ef (%)
10	2,4535	98,14%
15	2,4538	98,15%
30	2,4547	98,18%
45	2,4765	99,06%
60	2,4623	98,49%



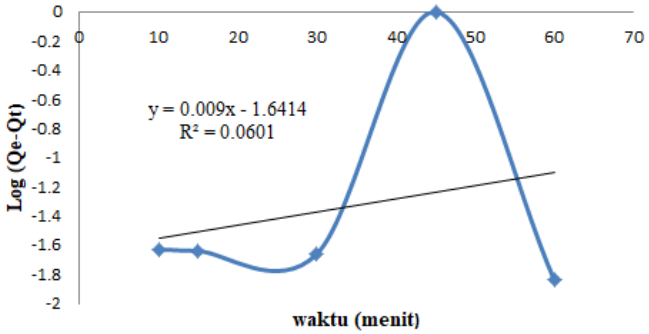
Gambar 4. 3 Pengaruh waktu adsorpsi optimum terhadap kapasitas adsorpsi

Berdasarkan Tabel 4.5 dan Gambar 4.3 memperlihatkan bahwa adsorben kulit buah naga merah waktu optimum terjadi di menit ke-45 dengan nilai kapasitas adsorpsi sebesar 2,4765 mg/g serta nilai efektivitas adsorpsi sebesar 99,06% hal ini menandakan bahwa hampir seluruh zat yang menjadi target adsorpsi berhasil diikat oleh adsorben kulit buah naga merah. Pada menit ke-60 mengalami penurunan kapasitas dan efektivitas adsorpsi karena adsorben telah mencapai titik

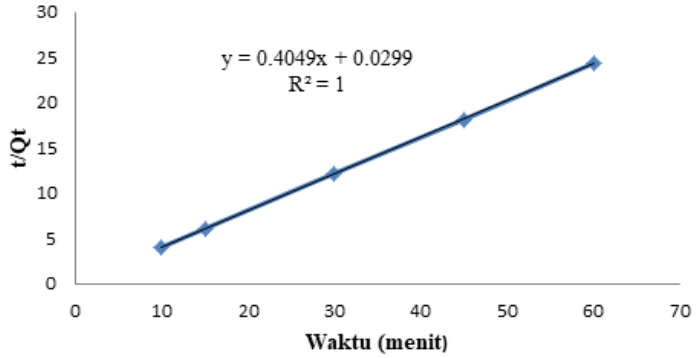
kesetimbangan dan permukaan adsorben sudah berada pada titik jenuh. Kejenuhan ini menyebabkan proses adsorpsi menjadi kurang efektif dan dapat terjadi desorpsi, yaitu pelepasan kembali adsorbat yang sebelumnya terikat pada permukaan adsorben kedalam larutan. Desorpsi ini mengurangi jumlah zat yang teradsorpsi sehingga kapasitas dan efektivitasnya menurun (Pranoto et al., 2018). Pada waktu kontak yang lama, sebagian ikatan antara permukaan adsorben dan molekul yang menempel menjadi tidak stabil. Akibatnya, molekul tersebut dapat lepas kembali ke larutan sehingga daya serap adsorben berkurang (Kurniawan et al., 2014).

Variasi waktu kontak yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi dapat dijadikan dasar dalam penentuan model kinetika adsorpsi. Waktu kontak dalam proses adsorpsi merupakan salah satu parameter penting yang mencerminkan mekanisme kinetika antara adsorben dan adsorbat (Haryanto et al., 2019). Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan untuk mengetahui model kinetika yang paling sesuai digunakan dalam penelitian, dilakukan analisis terhadap beberapa model berdasarkan kesesuaian nilai regresi (R^2). Model kinetika yang dinilai paling tepat adalah model yang memiliki nilai R^2 tertinggi atau mendekati satu. Dalam studi ini, dua pendekatan yang digunakan untuk menganalisis data kinetika adalah model

pseudo orde satu dan *pseudo* orde dua. Model kinetika *pseudo* orde satu berlandaskan asumsi bahwa jumlah konsentrasi adsorbat yang tersedia secara signifikan lebih tinggi dibandingkan jumlah situs aktif yang terdapat pada permukaan adsorben. Sebaliknya, pendekatan *pseudo* orde dua lebih menitik beratkan pada proses interaksi antara fasa padat dengan kemampuan adsorpsinya terhadap ion logam yang dianalisis (Pranoto et al, 2018). Penerapan kedua model kinetika tersebut ditampilkan secara grafik pada Gambar 4.4 untuk model *pseudo* orde satu dan Gambar 4.5 untuk model *pseudo* orde dua dalam penelitian ini.



Gambar 4. 4 Model kinetika *pseudo* orde satu



Gambar 4. 5 Model kinetika *pseudo* orde dua

Analisis terhadap model kinetika adsorpsi yang ditampilkan pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 menghasilkan sejumlah parameter kinetika, yang rincianya disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Parameter kinetika adsorpsi

Pseudo orde satu			*Pseudo* orde dua		
Q_e (mg/g)	K_1 (min^{-1})	R^2	Q_e (mg/g)	K_2 (min^{-1})	R^2
0,0228	0,0207	0,0601	2,4697	5,4854	1

Berdasarkan hasil dari Tabel 4.6 dapat disimpulkan bahwa proses adsorpsi ion Pb(II) cenderung mengikuti model kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua. Hal ini ditandai dengan nilai R^2 *pseudo* orde satu mendapakan nilai sebesar 0,0601 sedangkan nilai R^2 *pseudo* orde dua sebesar 1. Nilai konstanta laju (K) pada *pseudo* orde satu lebih rendah dibandingkan dengan *pseudo* orde dua, di mana apabila

semakin besar nilai konstanta laju (K) maka akan semakin cepat laju adsorpsinya (Holle et al., 2013). Selain itu, parameter penentuan kinetika reaksi dapat dilihat dari besarnya nilai Qe yang didapatkan pada model *pseudo* orde dua sebesar 2,4697 mg/g. Semakin besar nilai Qe maka semakin besar pula jumlah adsorbat yang terserap pada waktu kesetimbangan. Hal ini sesuai penelitian Kurniawan *et al* (2014) yang memanfaatkan biji *Annona muricata* sebagai adsorben untuk ion Pb(II) menunjukkan bahwa proses adsorpsinya sesuai dengan model kinetika *pseudo* orde dua.

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diinterpretasikan bahwa proses penyerapan ion Pb(II) oleh arang aktif berbahan dasar kulit buah naga merah mengikuti model kinetika *pseudo* orde dua. Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisme adsorpsi yang terjadi melibatkan proses kimisorpsi, yakni interaksi yang melibatkan ikatan valensi melalui pertukaran maupun pembagian elektron antara permukaan adsorben dengan molekul adsorbat (El-Wakil et al., 2014).

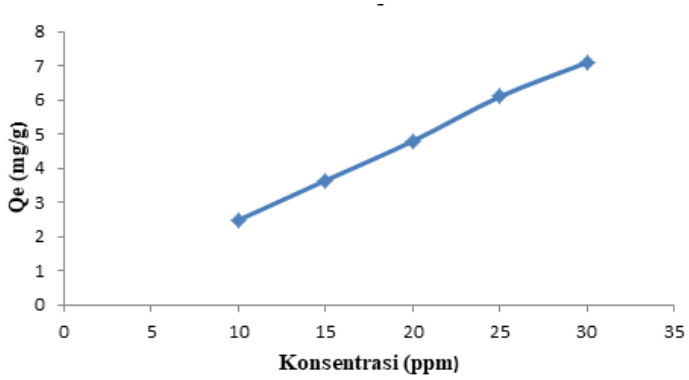
3. Variasi Konsentrasi Adsorpsi

Penentuan konsentrasi optimal untuk proses adsorpsi ion logam Pb^{2+} bertujuan untuk mengidentifikasi kapasitas maksimum adsorpsi yang dapat dicapai oleh adsorben berbahan dasar kulit buah naga merah yang telah diaktivasi

menggunakan H_2SO_4. Pada tahap ini, digunakan variasi konsentrasi ion Pb^{2+} sebesar 10, 15, 20, 25, dan 30 ppm, dengan kondisi pH larutan dijaga pada nilai 6 serta waktu kontak selama 45 menit. Informasi mengenai hasil konsentrasi optimum dapat ditemukan pada Tabel 4.7, sedangkan representasi grafik hubungan antara variasi konsentrasi dan kapasitas adsorpsi ditampilkan pada Gambar 4.6.

Tabel 4. 7 Hasil data konsentrasi

Konsentrasi (ppm)	Qe (mg/g)	Ef
10	2,4964	99,85%
15	3,6507	97,35%
20	4,8006	96,01%
25	6,1026	97,64%
30	7,1060	94,74%



Gambar 4. 6 Pengaruh konsentrasi adsorpsi terhadap kapasitas adsorpsi

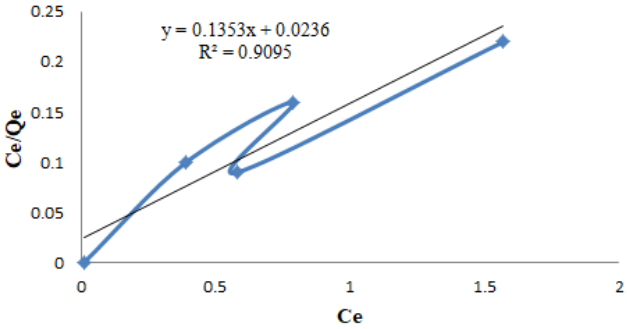
Data pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.6 Menunjukan bahwa kapasitas adsorpsi ion logam Pb^{2+} akan semakin

meningkat dengan bertambahnya konsentrasi ion logam Pb^{2+}. Kondisi ini disebabkan oleh bertambahnya kandungan ion Pb^{2+} dalam sistem, sehingga memperbesar kemungkinan terjadinya kontak antara ion logam dengan permukaan adsorben. Interaksi elektrostatik antara sisi aktif adsorben dengan ion logam Pb^{2+} akan semakin besar seiring dengan banyaknya konsentrasi ion logam Pb^{2+} yang terkandung dalam larutan tersebut (Anggriani et al., 2021). Konsentrasi optimum pada arang aktif kulit buah naga merah pada penelitian ini belum diketahui karena pada konsentrasi 30 ppm belum dapat dikatakan sebagai konsentrasi adsorpsi optimum, karena kemampuan adsorpsi yang lebih besar masih dimungkinkan diperoleh oleh konsentrasi yang lebih tinggi.

Informasi mengenai kapasitas adsorpsi yang diperoleh dari hasil penelitian dimanfaatkan untuk mengidentifikasi jenis isoterm adsorpsi yang terjadi. Tujuan analisis isoterm adsorpsi adalah untuk mempelajari bagaimana jumlah adsorbat yang menempel pada permukaan adsorben dipengaruhi oleh konsentrasi larutannya, serta untuk menyingkap mekanisme dasar dari proses adsorpsi tersebut. (Arlofa et al., 2023). Analisa isoterm adsorpsi pada penelitian ini mengacu pada model isoterm Langmuir dan isoterm Freundich. Model isoterm

adsorpsi terbaik dapat dilihat melalui nilai determinasi (R^2) yang lebih mendekati nilai 1.

Model Langmuir menjelaskan bahwa proses adsorpsi ion logam Pb^{2+} pada permukaan adsorben terjadi dalam bentuk satu lapisan tunggal (*monolayer*), yang mengindikasikan bahwa setiap situs aktif pada permukaan adsorben memiliki kontribusi yang setara dalam mekanisme penyerapan tersebut (Siregar, 2019). Penentuan isoterm adsorpsi Langmuir dapat dilakukan penyusunan kurva isoterm adsorpsi. Visualisasi hubungan antara konsentrasi dan kapasitas adsorpsi berdasarkan model ini disajikan pada Gambar 4.7.

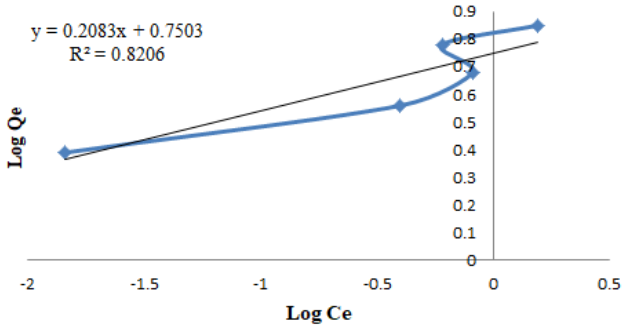


Gambar 4. 7 Kurva isoterm Langmuir

Hasil analisis menggunakan model isoterm Langmuir menunjukan nilai determinasi (R^2) sebesar 0,9095 yang menunjukan bahwa hubungan antara variabel mendekati linear karena nilai R^2 mendekati 1. Melalui analisis persamaan garis regresi y = 0,1353x + 0,0236

diperoleh hasil kapasitas maksimum penyerapan ion Pb(II) oleh material adsorben dengan nilai Q_{maxs} sebesar 7,3909 mg/g. Hasil dari nilai konstanta kesetimbangan isoterm Langmuir sebesar 5,7339.

Isoterm Freundlich merepresentasikan mekanisme adsorpsi yang berlangsung secara fisik. Adsorpsi fisik terjadi ketika gaya antar molekul yang bersifat lemah, seperti gaya *Van der Waals*, lebih berperan dibandingkan dengan gaya tarik kimia antar molekul (Anggriani et al., 2021). Pada mekanisme ini, ion logam berat terserap ke dalam pori-pori permukaan adsorben tanpa membentuk ikatan kimia yang kuat, melainkan melalui interaksi lemah. Sifat interaksi ini memungkinkan molekul adsorbat untuk berpindah dari satu titik permukaan ke titik lainnya pada struktur adsorben (Pranoto et al., 2018). Gambar 4.8 menyajikan kurva yang mempresentasikan model isoterm Freundlich.



Gambar 4. 8 Kurva isoterm Freundlich

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.8, model isoterm Freundlich memiliki nilai R^2 sebesar 0,8206, yang menunjukkan bahwa kesesuaiannya terhadap data eksperimen belum maksimal. Nilai konstanta kesetimbangan yang dihitung dari model ini sebesar 5,6272, sedangkan nilai n diperoleh sebesar 4,8007. Perbandingan kedua model isoterm, yaitu Langmuir dan Freundlich, disajikan dalam Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Parameter isoterm adsorpsi

Isoterm Langmuir			Isoterm Freundlich		
Q_{max} (mg/g)	K_1 (min^{-1})	R^2	K_2 (min^{-1})	n	R^2
7,3909	5,7339	0,9095	5,6272	4,8007	0,8206

Berdasarkan data yang ditampilkan pada Tabel 4.8 Nilai konstanta isoterm Langmuir sebesar 5,7339 min^{-1} dan Freundlich sebesar 5,6272 min^{-1} hampir sama, maka dapat disimpulkan bahwa kedua model dapat menggambarkan proses adsorpsi dengan baik. Namun, pemilihan model yang lebih tepat sebaiknya ditentukan dari nilai R^2. Jika R^2 Langmuir lebih tinggi, berarti adsorpsi cenderung monolayer pada permukaan homogen(Sitasi). Sebaliknya, jika R^2 Freundlich lebih baik, maka permukaan adsorben cenderung heterogen dan memungkinkan multilayer.

Model isoterm Langmuir menunjukkan tingkat kecocokan yang lebih tinggi dibandingkan dengan model isoterm Freundlich. Hal ini terlihat dari nilai koefisien determinasi (R^2) Langmuir yang mencapai 0,9095, lebih mendekati angka satu dibandingkan dengan nilai R^2 pada model Freundlich yang hanya sebesar 0,8206. Nilai n sebesar 4,8007 pada isoterm Freundlich menunjukkan bahwa adsorben sangat efektif menarik ion atau molekul dari larutan. Nilai tersebut menandakan afinitas adsorben terhadap adsorbat cukup tinggi, sehingga adsorpsi berlangsung efektif, terutama pada konsentrasi rendah.

Pemodelan menggunakan isoterm Langmuir mengindikasikan bahwa proses adsorpsi berlangsung pada permukaan adsorben yang bersifat homogen, di mana setiap situs adsorpsi memiliki energi adsorpsi yang seragam. Dalam model ini, ion logam berinteraksi dengan permukaan adsorben secara terbatas pada satu lapisan tunggal (*monolayer*) (Anggriani et al., 2021). Nilai kapasitas maksimum adsorpsi yang diperoleh dari model Langmuir adalah sebesar 7,3909 mg/g, yang menunjukkan kemiripan dengan kapasitas adsorpsi eksperimental sebesar 7,1060 mg/g. Temuan ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Arlofa *et al* (2023) yang juga memanfaatkan kulit buah naga merah sebagai bahan

adsorben logam berat Pb(II) dan menunjukkan kesesuaian dengan model isoterm Langmuir**.**

BAB V
PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik arang aktif yang dibuat dari kulit buah naga merah menunjukan kualitas yang baik berdasarkan hasil pengujian, dengan nilai kadar air sebesar 7%, kadar abu 5,1%, kadar uap 17%, dan kadar karbon terikat 77,9% semuanya telah memenuhi standar mutu arang aktif berdasarkan SNI 06-3730-1995, yang menjadi acuan kualitas biosorben. Karakteristik adsorben kulit buah naga merah yang dianalisis menggunakan instrumen FTIR menunjukan bahwa terdapat penurunan panjang gelombang pada gugus fungsi O-H dari 3368,71 cm^{-1} menjadi 3349,77 cm^{-1}. Selain itu, terdapat gugus baru yaitu C=O pada panjang gelombang 1694,40 cm^{-1} setelah aktivasi. Hasil pengujian instrumen SAA mengalami peningkatan luas permukaan sebelum dan setelah aktivasi dengan H_2SO_4 sebesar 5,66%.
2. Kapasitas adsorpsi arang aktif kulit buah naga merah nilai terbesar pada pH 6 sebesar 2,4493 mg/g dan nilai efektivitas adsorpsinya sebesar 97,97%. Sementara itu, kapasitas adsorpsi pada waktu kontak optimum yaitu 45 menit memiliki nilai sebesar 2,4765 mg/g dengan nilai

efektivitasnya sebesar 99,06%. Sedangkan, nilai kapasitas dan efektivitas adsorpsi terbesar untuk variasi konsentarasi pada larutan ion logam Pb^{2+} sebesar 2,4964 mg/g dan 99,85% pada konsentrasi 10 ppm dalam waktu 45 menit.

3. Model kinetika adsorpsi yang paling sesuai untuk adsorben kulit buah naga merah teraktivasi H_2SO_4 adalah kinetika *pseudo* orde dua, dengan nilai Qe sebesar 2,4697 mg/g serta nilai koefisien determinasi (R^2) mencapai nilai 1. Selain itu, model isoterm yang paling tepat mengikuti model isoterm Langmuir dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9095.

B. Saran

Merujuk pada temuan dalam penelitian ini, sejumlah saran dapat disampaikan sebagai berikut:

1. Penelitian lanjutan dapat dikembangkan terkait dengan kondisi optimum pH, pengaruh perubahan suhu, kecepatan pengadukan, dan variasi waktu kontak dapat dilakukan yang lebih dari 60 menit. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi optimum yang lebih baik.
2. Dapat dilakukan pengujian ulang terhadap variasi pH dan konsentrasi awal larutan.
3. Dapat menggunakan larutan asam atau basa alternatif sebagai pembanding untuk memodifikasi permukaan dengan tujuan meningkatkan kapasitas adsorpsi adsorben kulit buah naga merah dalam mengadsorpsi ion Pb(II).

DAFTAR PUSTAKA

Anggara, Wahyuni, S., & Prasetya, A. (2013). Optimalisasi Zeolit Alam Wonosari dengan Proses Aktivasi Secara Fisis dan Kimia. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 2(1), 130-138.

Anggriani, U. M., Hasan, A., & Purnamasari, I. (2021). Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb). *Jurnal Kinetika*, 12(02), 29–37.

Arlofa, N., Suwandi, I., & Haitami, R. (2023). Penentuan Daya Adsorpsi Kulit Buah Naga Merah (hylocereus polyhizus) Sebagai Adsorben Logam Berat Pb. *Jurnal Nasional Penelitian LPPM*, 3(8), 1–7.

Artika, N., Subagyono, D. J, & Hiyahara, I. A. (2019). Adsorpsi Ion Logam Berat Pb (II) dengan Biochar Residu Pirolisis Kayu Macaranga gigantea. *Jurnal Kimia FMIPA UNMUL*, 5(2), 109–113.

Atkins, P. W. (1997). *Kimia Fisika Jilid 2 (4th ed.)*. Erlangga.

Baloch, S., Kazi, G., Baig, A., Afridi, H. I., & Arain, M. B. (2020). Occupational Exposure of Lead and Cadmium on Adolescent and Adult Workers of Battery Recycling and Welding Workshops: Adverse Impact on Health. *Journal Science of the Total Environment*, 7(2), 1–8.

Bank, W. (2024). A Toxic Threat to Indonesia Human Capital: Prevalence and Impact of Lead Paint in Indonesian Homes. Retrieved from https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099354310282440799 , Diakses tanggal 4 Desember 2024.

Baryatik, P., Moelyaningrum, D., Asihta, N., & Riskianto, H. (2019). Pemanfaatan Arang Aktif Ampas Kopi Sebagai Adsorben Kadmium Pada Air Sumur. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 2(1), 11–19.

Bhatnagar, A., Kumar, E., & Sillanpa, M. (2017). Sustainable biosorbents for metal ions removal: A review. *Chemical Engineering Journal*, 3(8), 1–18. https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.09.086.

Chrisnandari, D., Witasari, W., & Mustikarini, W. (2022). Pemanfaatan Karbon Aktif dari Batang Daun Buah Naga Teraktivasi Asam Kuat Sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb). *Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, *7*(2), 141–158. https://doi.org/10.33366/reka

Dewi, M. S., Susatyo, E. B., & Susilaningsih, E. (2015). Pemanfaatan arang aktif kulit pisang raja untuk menurunkan kadar ion Pb(II). *Indonesian Journal of Chemical Science*, *4*(3), 228–233.

Djunaidi, C. (2018). Studi Interferensi Pada Aas (Atomic Absorption Spectroscopy). *Food Toxicants Analysis*, 5(6), 637–665.

E. Kusdarini, A. Budianto, & Dio, G., (2017). Produksi Karbon Aktif dari Batubara Bituminus Dengan Aktivasi Tunggal H_3PO_4, Kombinasi H_3PO_4-NH_4HCO_3 dan Termal. *Reaktor*, 17(2), 74–80. https://doi.org/doi: 10.14710/reaktor

El-Wakil, A. M., El-Maaty, M., & Awad, F. S. (2014). Removal of Lead from Aqueous Solution on Activated Carbon and Modified Activated Carbon Prepared from Dried Water Hyacinth Plant. *Journal of Analytical & Bioanalytical Techniques*, 5(2), 1–14.

Fasya, Z., & Fadila, N. (2017). Pemanfaatan Arang Sekam Padi sebagai Adsorben Guna Mengurangi Limbah Cr. *Jurnal Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember*,5(2), 112-117.

Govint, A, M. (2017). Efektivitas Sekam Padi dan Kulit Pisang Kepok sebagai Karbon Aktif dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) Pada Air Sumur Gali di

Desa Paya Lombana Kecamatan Tebing Tinggi Kabupaten Serdang Bedagai. J*urnal Kimia Universitas Sumatera Utara*, 4(3), 76-85.

Halim, A., Rahman, A., & Sari, D. (2021). Karbon Aktif dari Limbah Pertanian sebagai Bisorben untuk Penghilangan Logam Berat. *Jurnal Kimia Dan Lingkungan*, *12(1)*, 45–52.

Haryanto, B., Sinaga, K., & Saragih, F. T. (2019). Kajian Model Interaksi pada Adsorpsi Logam Berat Kadmium (Cd^{2+}) dengan Menggunakan Adsorben dari Pasir Hitam. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 8(2), 79–84.

Haura, U., Razi, F., & Meilina, H. (2017). Karakterisasi Adsorben dari Kulit Manggis dan Kinerjanya Pada Adsorpsi Logam Pb (II) dan Cr (VI). *Biopropal Industri*, 8(1), 47–54.

Hendrawan, Y., Sutan, S. M., & Kreative, R. (2017). Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi dan Konsentrasi Aktivator terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Ampas Tebu (Bagasse) Menggunakan Activating Agent NaCl. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 5(3), 200–207.

Holle, B., Wuntu, A. D., & Sangi, M. S. (2013). Kinetika Adsorpsi Gas Benzena Pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa. *Jurnal MIPA UNSTRAT*, 2(2), 100–104. https://doi.org/doi: 10.35799/jm.2.2.2013.2997

Ibnu, E. W., Sitorus, R. S., Mulianingtias, N., & Welan, F. J. (2018). Efektivitas Adsorpsi Logam Pb^{2+} dan Cd^{2+} Menggunakan Media Adsorben Cangkang Telur Ayam. *Jurnal Kimia dan Pendidikan*,*5*(1).114-120. https://doi.org/10.20527/k.v5i1.4771

Ihwan, I., Fadlia, F. & Anam, S. (2019). Mutu minyak jelantah dengan adsorben biji salak (Salacca zalacca (Gaertn.)Voss) menggunakan parameter bilangan peroksida dan asam lemak bebas. *Jurnal Farmasi*

Galenika (Galenika Journal of Pharmacy) (e-Journal)., 5(2), 124–131.

Jamilatun, S. & Setyawan, M. (2014). Pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa dan aplikasinya untuk penjernihan asap cair. *Spektrum Industri*, 12(1), 73-79.

Kasih, O. (2019). Studi Karbon Aktif Magnetik Dari Limbah Kulit Singkong (*Manihot Utilissima*) Sebagai Adsorben Untuk Menentukan Senyawa Antibiotik Tetrasiklin Di Perairan, *Jurnal Kimia Sains dan Pendidikan,* 5(10*)*.120-132.

Kim, M. S., Min, H. G., Koo, N., Park, J., Lee, S. H., Bak, G., & I., & Kim, J. G. (2014). The Effectiveness of Spent Coffee Grounds and its Biochar on The Amelioration of Heavy Metals-Contaminated Water and Soil Using Chemical and Biological Assessments. *Journal of Environmental Management*, 4(6), 124–130.

Kumar, P., & Rani, S. (2018). Recent advances in the preparation and application of activated carbon: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*(12), 11545–11562. https://doi.org/doi: 10.1007/s11356-018-1550-0.

Kurniawan, M. I., Abdullah, Z., Rahmadani, A., Zein, R., & M., & E. (2014). Isotherm and Kinetic Modeling of Pb (II) and Cu (II) Uptake by Annona muricata L. Seeds. *Asian Journal of Chemistry*, 26(12*)*, 3588–3594.

Kusumaningtyas, M. P. (2017). Analisis Struktur Nano Batu Apung Lombok Menggunakan Metode BET (Brunauer_Emmet-Teller). *Jurnal Institut Teknologi Sepuluh November*, 6(7), 201-209.

Kusumasari, S., Syabana, M. A., Pamela, V. Y., & Meindrawan, B. (2024). Potential use of food waste in food processing to add nutritional value., *Journal of Chemical Engineering and Environment*,4(83),1123-1130. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448302006

Lucaci, A. R., Bulgariu, D., Popescu, M. C., & Bulgariu, L. (2020). Adsorption of Cu(II) ions on adsorbent materials obtained from marine red algae Callithamnion corymbosum sp. Water (Switzerland), *Alchemy Jurnal*, 12(2).112-118.

Mastiani, N., Amalia, V., & Rosahdi, T. D. (2018). Potensi Penggunaan Tempurung Kelapa sebagai Adsorben Ion Logam Fe(III). *Al-Kimiya*, 5(1), 42–47. https://doi.org/10.15575/ak.v5i1.3731

Masyithah, C., Aritonang, B. & Gultom, E. (2018). Pembuatan arang aktif dari limbah kulit durian sebagai adsorben pada minyak goreng bekas untuk menurunkan kadar asam lemak bebas dan bilangan peroksida. *Jurnal Kimia Saintek Dan Pendidikan.*, 2(2), 66–75.

Mentari, A. V., Handika, G., & Maulina, S. (2018). Perbandingan Gugus Fungsi Dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif Dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator Asam Fosfat (H_3PO_4) Dan Asam Nitrat (HNO_3). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 7(1), 16–20.

Ningsih, D. A., Said, I., & Ningsih, P. (2016). Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dari Larutannya dengan Menggunakan Adsorben dari Tongkol Jagung. *Jurnal Akademika Kimia, 5(2)*, 55–60.

Nitsae, M., Solle, H. R. L., Martinus, S. M., & Emola, I. J. (2021). Studi adsorpsi metilen biru menggunakan arang aktif tempurung lontar (*Borassus flabellifer L.*) asal Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Kimia Riset*, *6*(1), 46–57.

Nurafriyanti., Prihatini, N, S., Syauqiah, I. (2017). Pengaruh Variasi pH dan Berat Adsorben dalam Pengurangan Konsentrasi Cr Total pada Limbah Artifisal menggunakan Adsorben Ampas Daun Teh. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(1),130-139.

Nurhaeni, N., Musafira, M., & Rahmatullah, A. (2017).

Adsorpsi Ion Pb^{2+} Menggunakan Arang Aktif Kulit Durian dengan Metode Kolom Adsorpsi. *Kovalen,3*(1), 115-124.
.https://doi.org/10.22487/j24775398.2017.v3.i1.8227

Nuri, N. S., Santoso, A., & Widowati, I. (2023). Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Kerang Bulu (Anadara antiquata) di Perairan Bandengan Kendal serta Analisis Batas Aman Konsumsi. *Journal of Marine Research*, 12(3), 403–412.

Nurul F., Maricar, M., & Murtanto. (2014). Pemanfaatan Arng Sekam Padi Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Ion Logam Berat Dalam Air Limbah Timbal (Pb). *Jurnal Kimia dan Pendidikan Universitas Hasanuddin.*5(4), 126-132.

Nzediegwu, C., Naeth, M. A., & Chang, S. (2021). Lead (II) Adsorption on Microwave-Pyrolyzed Biochars and Hydrochars Depends on Feedstock Type and Production Temperature. *Journal of Hazardous Materials*, 4(12), 1–12.

Pranoto, P., Martini, T., & Rachmawati, D. A. (2018). Karakterisasi dan Uji Efektivitas Allophane-Like untuk Adsorpsi Ion Logam Tembaga (Cu). *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 14(2), 202–218.

Pratiwi, D., Setiawan, A., & Yulianto, B. (2022). Penggunaan Karbon Aktif dari Limbah Pertanian untuk Adsorpsi Senyawa Organik. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 8(2), 123–130.

Pratomo, S. W., Mahatmanti, F. W., & Sulistyaningsih, T. (2017). Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi H_3PO_4 Sebagai Adsorben Ion Logam Cd(II) Dalam Larutan. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(2), 161–167.

Prihandini, F. A. (2021). *Preparasi Arang Aktif Kulit Buah Sukun Untuk Menurunkan Bilangan Peroksida Dan*

Asam Lemak Bebas Pada Minyak Jelantah. Skripsi: Semarang, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Semarang.

Putra, M., Widada, S., & Atmodjo, W. (2022). Studi Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Sedimen Dasar di Perairan Banjir Kanal Timur Semarang. *Journal of Oceanography*, 5(4), 13–21.

Putra, N. A., & Putra, A. (2023). Pengujian Aproksimat Karbon Limbah Sabut Kelapa (*Cocos nucifera*). *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP*, 12(1), 27-35. https://doi.org/10.24036/p.v12i1.116901

Rahayu, S., Pramono, S. B., & Widyastuti, S. (2018). Morphological and Nutritional Characteristics of Red Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizu*s). *Journal of Tropical Agriculture*, *56(1)*, 45–52.

Rahmat, S., (2020). Analisa Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier dan Gas Terlarut Terhadap Perubahan Gugus Fungsi Komposisi Minyak Ester. *Jurnal Infotekmesin*, 11(1), 14–23.

Rahmi, R., & Sajidah. (2017). *Pemanfaatan Adsorben Alami (Biosorben) Untuk Mengurangi Kadar Timbal(Pb) dalam Limbah Cair.* Prosiding Seminar Nasional Biotik, Magelang: 15-18 Maret 2017.

Ramadani, H. R., Putra, M., & Wulan, N. (2022). Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II*), Jurnal Teknik Kimia*, 2(3), 24-32.

Rengga, W. D., (2020). Karbon Aktif: Perpanjangan Masa Pakai 66 Minyak Goreng. *Deepublish*, 3(6), 65-72.

Riansyah, A., Supriyadi, A., & Nopianti, R. (2013). Pengaruh Perbedaan Suhu dan Waktu Pengeringan Terhadap Karakteristik Ikan Asin Sepat (Trichogaster pectoralis) dengan Menggunakan Oven. *Jurnal Kimia*, 2(01), 53–68.

Saneto, A. (2005). Pemanfaatan kulit buah naga merah sebagai bahan tambahan makanan. *Jom Faperta, 2(1)*, 1–10.

Sarah, F., Ibnu, K., & Muhammad, N. (2016). Uji Daya Serap Serbuk Gergaji Kayu Merbau (Intsia sp) Terhadap Logam Timbal (II). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Kimia (JIMK)*, 1(4), 105–114.

Sari, D., Halim, A., & Pratiwi, D. (2020). Karbon Aktif dari Biomassa: Potensi dan Aplikasi. *Jurnal Sumber Daya Alam*, *9(2)*, 78–85.

Sarode, S., Upadhyay, P., Khosa, M. A., Song, S., & Ullah, A. (2018). Overview of Wastewater Treatment Methods with Special Focus on Biopolymer ChitinChitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 3(6), 1–58.

Satria, I., Putra, R., Alharissa, E. Z., & Rachma, H. A. (2018). *Penurunan Kadar Pb (II) dan Mn (II) pada Sungai Code dengan Adsorben Limbah Kulit Pisang.* Seminar Nasional Teknik Kimia Ecosmart, Surakarta: 21-22 Mei 2018.

Setianingsih, T. dan Prananto, Y. P. (2020). *Spektroskopi Inframerah untuk Karakterisasi Material Anorganik*.UB Press, Malang: 5-7 Maret 2020.

Setiyoningsih, L. A. (2018). *Pembuatan dan karakterisasi arang aktif kulit singkong menggunakan aktivator ZnCl2*. Skripsi:Semarang, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang..

Sihite, E. B., & B. (2019). Analisis Pengaruh Penuaan Dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan Dan Strukturmikro Paduan Cuhfco. *Jurnal Kajian Ilmiah*, 19(3), 231–238.

Silalahi, N. S. L., Amri, Y., & Wahyuningsih, P. (n.d.). Analisis kuantitatif logam berat dalam tiram (*Crassostrea Sp*.) *Jurnal Jeumpa*. *2023*, *9(2)*, 784–794.

Siregar, K. N. A. (2019). Penyisihan Logam Berat Pb (II) dan Cd (II) dengan Adsorben yang Dibuat dari Serbuk Kayu yang Diaktivasi dengan H_3PO_4. *Journal of Chemical Engineering and Environment*.4(5), 55-61.

Siringo-ringo, E. P. (2019). *Pengaruh Waktu Kontak , pH dan Dosis Adsorben dalam Penurunan Kadar Pb dan Cd Menggunakan Adsorben dari Kulit Pisang.* Skripsi: Sematera Utara, Progam Kimia Universitas Sumatera Utara.

Sriatun, S., Herawati, S. & Aisyah, I. (2020). Effect of activator type on activated carbon characters from teak wood and bleaching test for waste cooking oil. *Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan (Journal of Chemical Engineering and Environment)*, 15(2), 79–89.

Suhendra, D., & Gunawan, R. (2010). Aktivator Asam Sulfat dan Penggunaannya Pada Penjerapan Ion Tembaga (II). *Jurnal Makara Sains*, *14*(1), 22–26.

Suryani, D., & Apriani, D. (2022). Faktor–Faktor Penentu dalam Pemilihan Kosmetik Non Merkuri. *Jurnal of Public Health*, *7(2)*, 20-22.

Tanasal, A. M., Nafie, N. La, & Taba, P. (2015). Biosorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Kulit Buah Naga (*Hylocereus polyrhizus*), *Jurnal Kimia dan Pendidikan*, *8*(1), 18–30.

Tegalkab, (2023), Beberapa Desa kabupaten Tegal Terkontaminasi Pencemaran Logam Pb. Retrieved fromhttps://tegalkab.go.id/news/view/berita/beberapa_desa_di_kabupaten_tegal_terkontaminasi_timbal_20230726085316 .Diakses tanggal 25 April 2025.

UNICEF. (2020). The Toxic Truth: Children's exposure to lead pollution undermines a generation of potential. Retrieved from https://www.unicef.org/indonesia/id/siaran-

pers/penelitian-terbaru-sepertiga-anak-anak-di-dunia-mengalami-keracunan-timbal. Diakses tanggal 4 Desember 2024.

Winda, D. T., Hastuti, R., & Haris, A. (2014). Pengaruh Penambahan PVA-Sulfonasi pada Tongkol Jagung. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 17(1), 31–36.

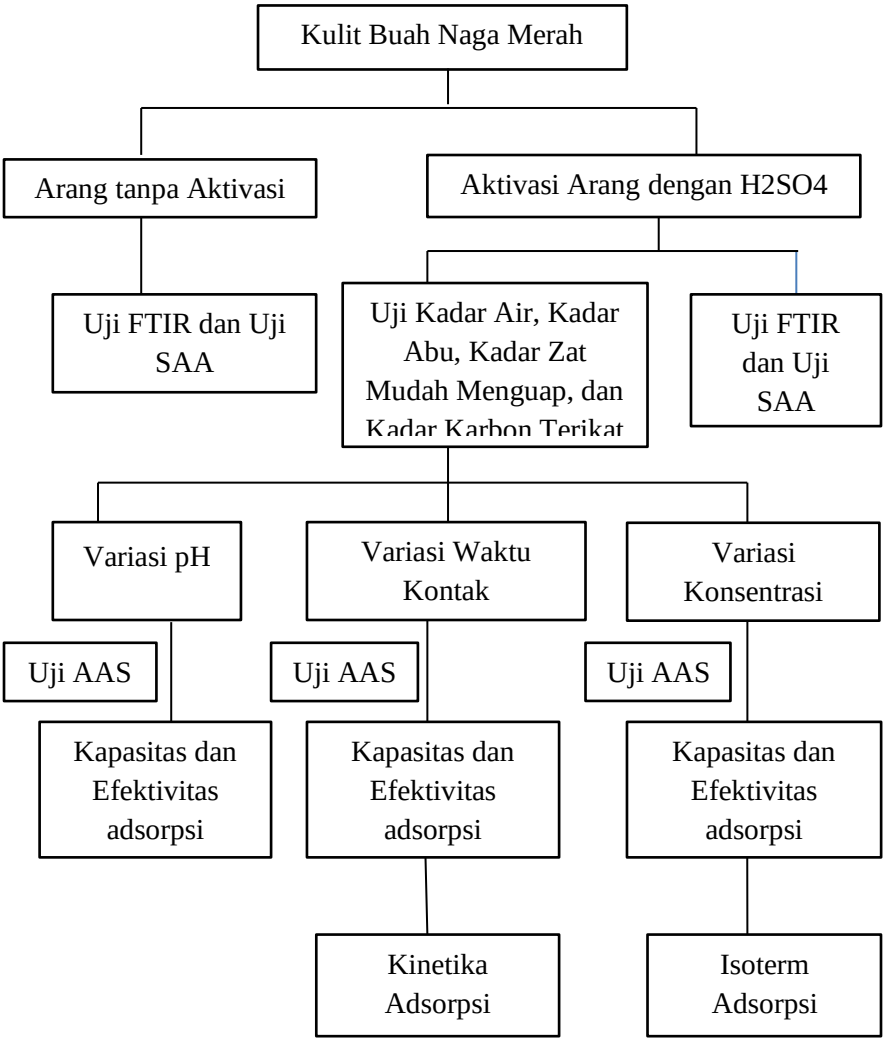
World Health Organization (WHO). (2019). Lead poisoning and health. Retrieved from https://donate.who.foundation. Diakses tanggal 25 November 2024.

Wulandari, Y., *Kurniasari, L., & Riwayati, I. (2014). Adsorpsi Logam Timbal dalam Larutan Menggunakan Kulit Ketela Rambat (Ipomoea batatas L).* Prosiding SNST, Semarang, 14-15 Juli 2014.

Yustinah, AB, S., Ika, K., Rahmawati, M., & Nisavira, P. (2022). *Pengaruh Massa Adsorben Arang Aktif dari Ampas Kopi untuk Menyerap Zat Warna Rhodamin B.* Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ, Jakarta 25-26 Januari 2022.

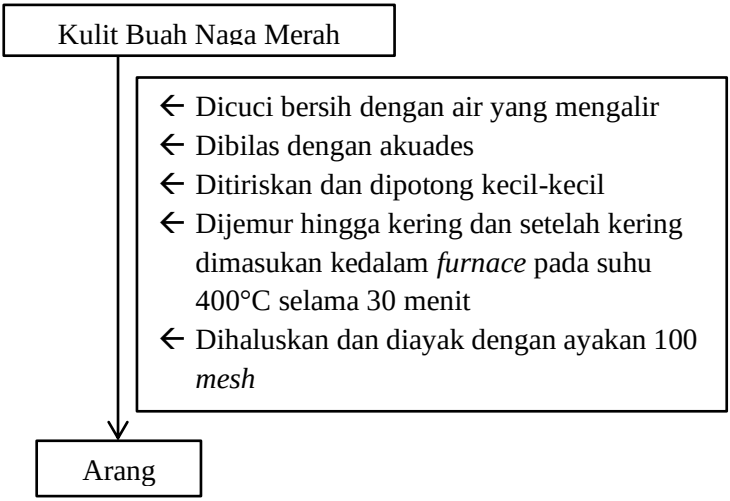
LAMPIRAN

Lampiran 1 Skema Prosedur Kerja

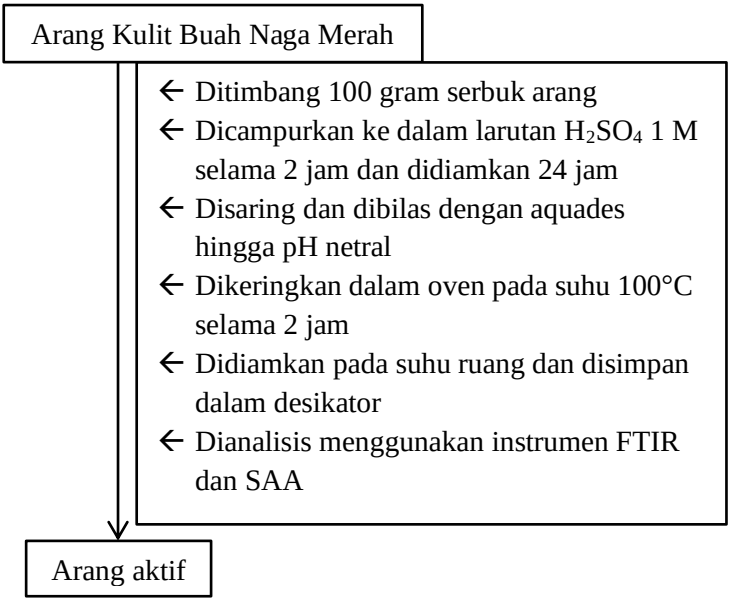


Lampiran 2 Diagram Alir Penelitian

1. **Preparasi dan Pembuatan Arang Kulit Buah Naga Merah**

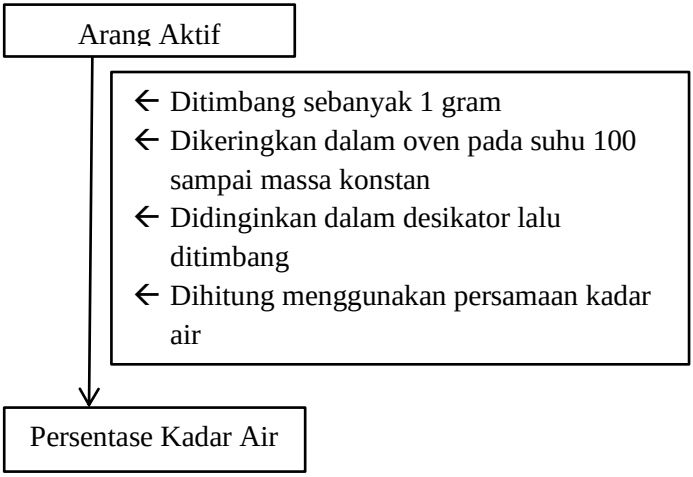


2. **Proses Aktivasi Arang Kulit Buah Naga Merah**

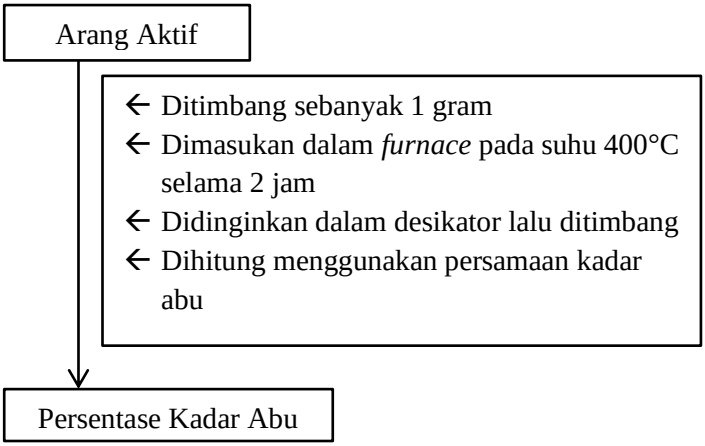


3. Pengujian Kualitas Arang Aktif Kulit Buah Naga Merah

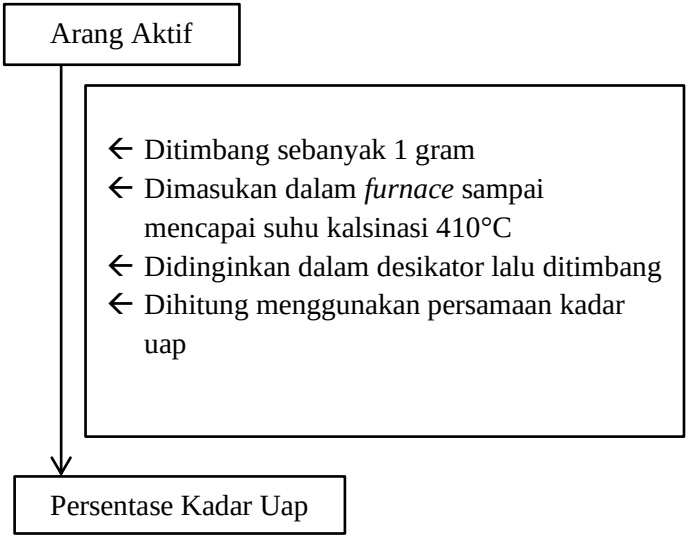
a. Uji Kadar Air



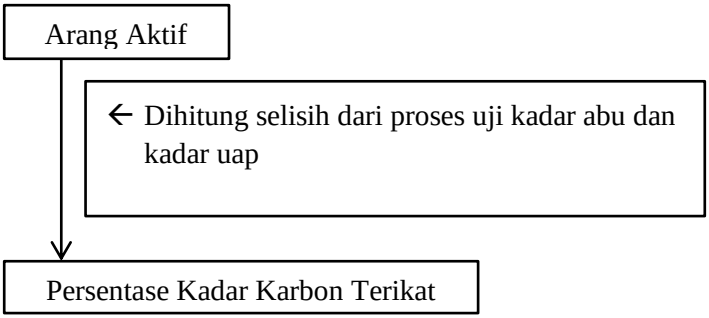
b. Uji Kadar Abu



c. Uji Kadar Uap

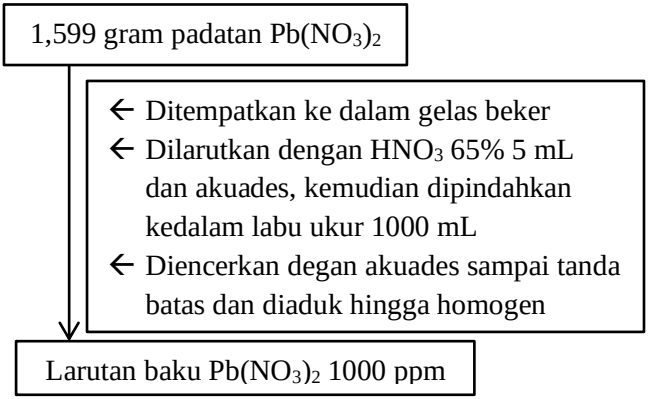


d. Uji Karbon Terikat

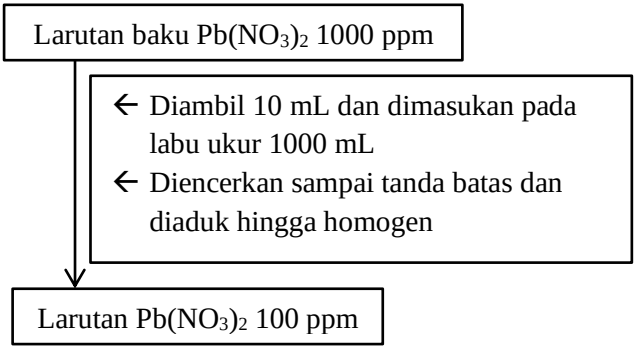


4. Pembuatan Larutan $Pb(NO_3)_2$

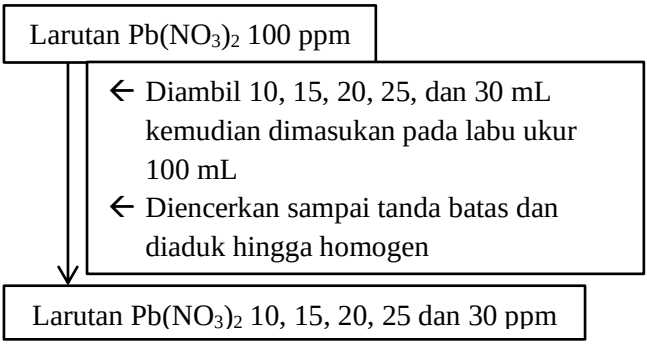
a. Pembuatan Larutan $Pb(NO_3)_2$ 1000 ppm



b. Pembutan Larutan $Pb(NO_3)_2$ 100 ppm

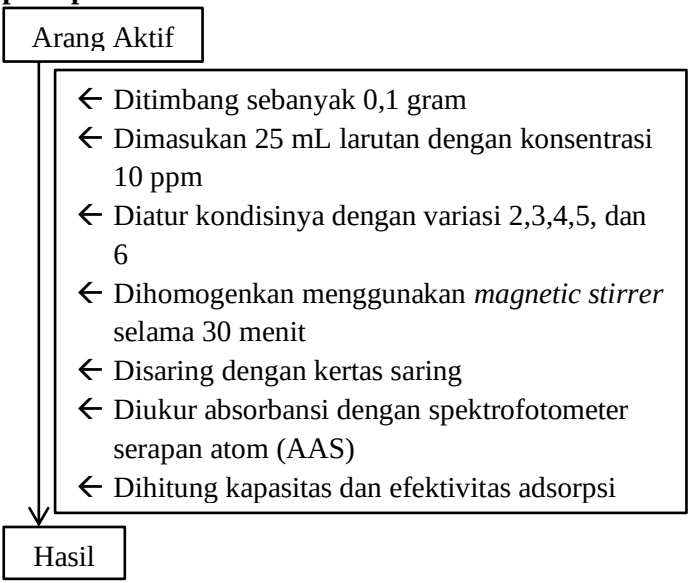


c. Pembuatan Larutan $Pb(NO_3)_2$ 10,15, 20, 25, 30 ppm

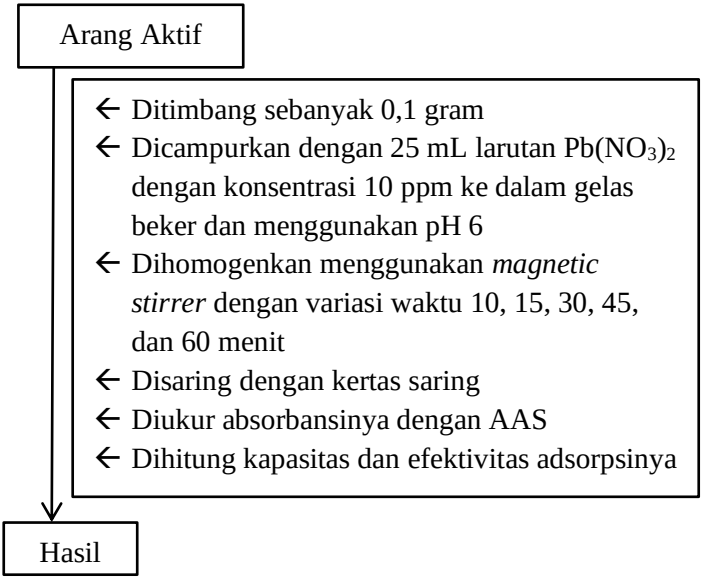


5. Penentuan Kondisi Optimum

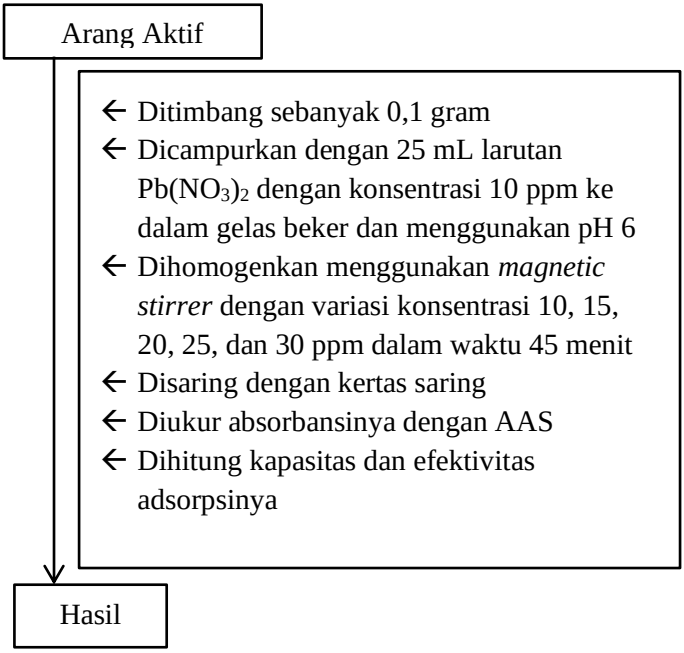
a. pH Optimum



b. Waktu Adsorpsi Optimum



c. Konsentrasi Adsorpsi Optimum



Lampiran 3 Data Hasil Percobaan

1. Data Pengujian Adsorben Kulit Buah Naga Merah

Tabel L. 1 Data Pengujian

Pengujian	Arang Aktif Kulit Buah Naga Merah
Kadar Air	7%
Kadar Abu	5,1%
Kadar Uap	17%
Kadar Karbon Terikat	77,9%

2. Data Optimasi pH

Tabel L. 2 Data optimasi variasi pH

Adsorben	pH	Massa adsorben (g)	Volume larutan (mL)	C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)
Arang Aktif	2	0,1	25	10	5,8920	1,0270
	3	0,1	25	10	4,0800	1,4800
	4	0,1	25	10	2,1760	1,9560
	5	0,1	25	10	0,2384	2,4404
	6	0,1	25	10	0,2026	2,4493

3. Data Optimasi Waktu Kontak

Tabel L. 3 Data optimasi waktu kontak

Adsorben	Waktu (menit)	Massa adsorben (g)	Volume larutan (mL)	C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)
Arang Aktif	10	0,1	25	10	0,1858	2,4535
	15	0,1	25	10	0,1845	2,4538
	30	0,1	25	10	0,1811	2,4547
	45	0,1	25	10	0,0937	2,4765
	60	0,1	25	10	0,1507	2,4623

4. Data Optimasi Konsentrasi

Tabel L. 4 Data optimasi konsentrasi

Adsorben	Konsentrasi (ppm)	Massa adsorben (g)	Volume larutan (mL)	C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)
Arang Aktif	10	0,1	25	10	0,0144	2,4964
	15	0,1	25	15	0,3969	3,6507
	20	0,1	25	20	0,7973	4,8006
	25	0,1	25	25	0,5895	6,1026
	30	0,1	25	30	1,5760	7,1060

5. Efektivitas Adsorpsi Variasi pH

Tabel L. 5 Data efektivitas adsorpsi pH

Adsorben	pH	Y_i (ppm)	Y_f (ppm)	% Ef
Arang Aktif	2	10	5,8920	41,08%
	3	10	4,0800	59,2%
	4	10	2,1760	78,24%
	5	10	0,2384	97,61%
	6	10	0,2026	97,97%

6. Efektivitas Adsorpsi Variasi Waktu Kontak

Tabel L. 6 Data efektivitas adsorpsi waktu kontak

Adsorben	Waktu (menit)	Y_i (ppm)	Y_f (ppm)	% Ef
Arang Aktif	10	10	0,1858	98,14%
	15	10	0,1845	98,15%
	30	10	0,1811	98,18%
	45	10	0,0937	99,06%
	60	10	0,1507	98,49%

7. Efektivitas Adsorpsi Variasi Konsentrasi

Tabel L. 7 Data efektivitas adsorpsi konsentrasi

Adsorben	Konsentrasi (ppm)	Y_i (ppm)	Y_f (ppm)	% Ef
Arang Aktif	10	10	0,0144	99,85%
	15	15	0,3969	97,35%
	20	20	0,7973	96,01%
	25	25	0,5895	97,64%
	30	30	1,5760	94,74%

Lampiran 4 Perhitungan Analisa Data

A. Perhitungan Pembuatan Larutan Ion Logam Pb(II)

1. Pembuatan Larutan Induk 1000 ppm dalam 1L

$$\text{Massa } Pb(NO_3)_2 = \frac{M \times V \times Mr\ Pb(NO3)2}{Ar\ Pb}$$

$$= \frac{1000\ \frac{mg}{L} \times 1\ L \times 331 \frac{g}{mol}}{207 \frac{g}{mol}}$$

$$= 1.599 \text{ mg}$$

$$= 1{,}599 \text{ gram}$$

2. Pengenceran Larutan

$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

Keterangan:

M_1 = Konsentrasi larutan induk (1000 ppm)

M_2 = Konsentrasi yang diinginkan (ppm)

V_1 = Volume larutan yang akan diambil (mL)

V_2 = Volume setelah pengenceran (mL)

a. Larutan Pb(II) 100 ppm dari Larutan Induk

$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 100 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$

$V_1 = 10 \text{ mL}$

b. Larutan Pb(II) 30 ppm dari 100 ppm

$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

$100 \text{ ppm} \times V_1 = 30 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$

$V_1 = 30 \text{ mL}$

c. Larutan Pb(II) 25 ppm dari 100 ppm

$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

$100 \text{ ppm} \times V_1 = 25 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$

$V_1 = 25 \text{ mL}$

d. Larutan Pb(II) 20 ppm dari 100 ppm

$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

$100 \text{ ppm} \times V_1 = 20 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$

$V_1 = 20 \text{ mL}$

e. Larutan Pb(II) 15 ppm dari 100 ppm

$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

$100 \text{ ppm} \times V_1 = 15 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$

$V_1 = 15 \text{ mL}$

f. Larutan Pb(II) 10 ppm dari 100 ppm

$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 100 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$

$V_1 = 10 \text{ mL}$

B. Pengujian Adsorben Kulit Buah Naga Merah

1. Uji Kadar Air

Kadar air = $\frac{W1 - W2}{W1 - W0} \times 100\%$

Dimana W_0 = Cawan kosong (g)

W_1 = Cawan+sampel sebelum dipanaskan (g)

W_2 = Cawan+sampel setelah dipanaskan (g)

Kadar air = $\frac{32{,}57 - 32{,}50}{32{,}57 - 31{,}57} \times 100\%$

= 7%

2. Uji Kadar Abu

Kadar Abu = $\frac{W3 - W4}{W2 - W1} \times 100\%$

Dimana W_1= Cawan kosong (g)

W_2= Cawan kosong setelah dioven (g)

W_3= Cawan kosong+sampel sebelum di*furnace* (g)

W_4= Cawan kosong+sampel setelah di*furnace* (g)

Kadar Abu = $\frac{33,92-33,87}{34,87-33,89} \times 100\%$

= 5,1%

3. Uji Kadar Uap

Kadar Uap = $\frac{W2 - W3}{W2 - W1} \times 100\%$ - %Kadar air

Dimana W_1= Cawan kosong (g)

W_2= Cawan+sampel sebelum dipanaskan (g)

W_3= Cawan+sampel setelah dipanaskan (g)

Kadar Uap = $\frac{72,87 - 72,63}{72,87 - 71,87} \times 100\%$ - %Kadar air

= 24% - 7%

= 17%

4. Uji Kadar Karbon Terikat

Karbon Terikat = 100% - (Kadar abu+Kadar uap)

Karbon Terikat = 100% - (5,1% + 17%)

Karbon Terikat = 100% - 22,1%

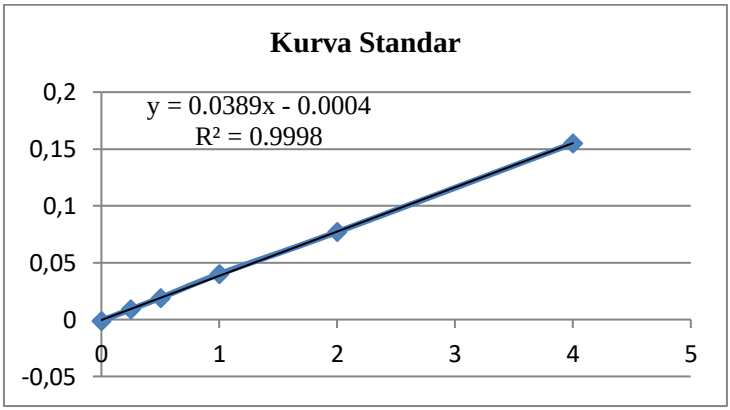
Karbon Terikat = 77,9%

C. Kurva Standar Ion Logam Pb(II)

Tabel L. 8 Kurva standar ion logam Pb(II)

Konsentrasi larutan standar ion logam Pb(II) (mg/L)	Nilai absorbansi
0	-0,001
0,25	0,009
0,5	0,019
1	0,040
2	0,077
4	0,155

Tabel L.8 Dapat dibuat grafik kurva standar ion logam Pb(II) yang dapat dilihat pada Gambar L. 1



Gambar L. 1 Grafik kurva standar Pb(II)

D. Perhitungan Penentuan Kondisi Optimum

Kapasitas adsorpsi (Qe) = $\frac{Co - Ct}{W} \times V$

Keterangan

C_o = Konsentrasi awal larutan uji (ppm)

C_t = Konsentrasi akhir larutan uji (ppm)

W = Massa adsorben (gram)

V = Volume larutan (Liter)

1. Variasi pH

a. pH 2

$$Qe = \frac{10 \text{ ppm} - 5{,}8920 \text{ ppm}}{0{,}1 \text{ g}} \times 0{,}025 \text{ L}$$

Qe = 1,0270 mg/g

b. pH 3

$$Qe = \frac{10 \text{ ppm} - 4{,}0800 \text{ ppm}}{0{,}1 \text{ g}} \times 0{,}025 \text{ L}$$

Qe = 1,4800 mg/g

c. pH 4

$$Qe = \frac{10 \text{ ppm} - 2{,}1760 \text{ ppm}}{0{,}1 \text{ g}} \times 0{,}025 \text{ L}$$

Qe = 1,9560 mg/g

d. pH 5

$$Qe = \frac{10 \text{ ppm} - 0{,}2384 \text{ ppm}}{0{,}1 \text{ g}} \times 0{,}025 \text{ L}$$

Qe = 2,4404 mg/g

e. pH 6

$$Qe = \frac{10 \text{ ppm} - 0{,}2026 \text{ ppm}}{0{,}1 \text{ g}} \times 0{,}025 \text{ L}$$

Qe = 2,4493 mg/g

2. Variasi Waktu Kontak

a. 10 menit

$$Qe = \frac{10\ ppm - 0{,}1858\ ppm}{0{,}1\ g} \times 0{,}025\ L$$

Qe = 2,4535 mg/g

b. 15 menit

$$Qe = \frac{10\ ppm - 0{,}1845\ ppm}{0{,}1\ g} \times 0{,}025\ L$$

Qe = 2,4538 mg/g

c. 30 menit

$$Qe = \frac{10\ ppm - 0{,}1811 ppm}{0{,}1\ g} \times 0{,}025\ L$$

Qe = 2,4547 mg/g

d. 45 menit

$$Qe = \frac{10\ ppm - 0{,}0937\ ppm}{0{,}1\ g} \times 0{,}025\ L$$

Qe = 2,4765 mg/g

e. 60 menit

$$Qe = \frac{10\ ppm - 0{,}1507\ ppm}{0{,}1\ g} \times 0{,}025\ L$$

Qe = 2,4623 mg/g

3. **Variasi Konsentrasi**

a. 10 ppm

$$Qe = \frac{10\ ppm - 0{,}0144\ ppm}{0{,}1\ g} \times 0{,}025\ L$$

Qe = 2,4964 mg/g

b. 15 ppm

$$Qe = \frac{15\ ppm - 0{,}3969\ ppm}{0{,}1\ g} \times 0{,}025\ L$$

Qe = 3,6507 mg/g

c. 20 ppm

$$Qe = \frac{20\ ppm - 0{,}7973\ ppm}{0{,}1\ g} \times 0{,}025\ L$$

Qe = 4,800 mg/g

d. 25 ppm

$$Qe = \frac{25\ ppm - 0{,}5895\ ppm}{0{,}1\ g} \times 0{,}025\ L$$

Qe = 6,1026 mg/g

e. 30 ppm

$$Qe = \frac{30\ ppm - 1{,}5760\ ppm}{0{,}1\ g} \times 0{,}025\ L$$

Qe = 7,1060 mg/g

E. Perhitungan Efektivitas Adsorpsi

$$Ef\ (\%) = \frac{Yi - Yf}{Yi} \times 100\%$$

Keterangan

Y_i = Kandungan logam berat awal (ppm)

Y_f = Kandungan logam berat akhir (ppm)

1. Variasi pH

a. **pH 2**

$$Ef\ (\%) = \frac{10\ ppm - 5{,}8920\ ppm}{10\ ppm} \times 100\%$$

Ef (%) = 41,08%

b. pH 3

$$Ef\ (\%) = \frac{10\ ppm - 4{,}0800\ ppm}{10\ ppm} \times 100\%$$

Ef (%) = 59,2%

c. pH 4

Ef (%) = $\frac{10\ ppm - 2{,}1760\ ppm}{10\ ppm} \times 100\%$

Ef (%) = 78,24%

d. pH 5

Ef (%) = $\frac{10\ ppm - 0{,}2384\ ppm}{10\ ppm} \times 100\%$

Ef (%) = 97,61%

e. pH 6

Ef (%) = $\frac{10\ ppm - 0{,}2026\ ppm}{10\ ppm} \times 100\%$

Ef (%) = 97,97%

2. Variasi Waktu Kontak

a. 10 menit

Ef (%) = $\frac{10\ ppm - 0{,}1858\ ppm}{10\ ppm} \times 100\%$

Ef (%) = 98,14%

b. 15 menit

Ef (%) = $\frac{10\ ppm - 0{,}1845 ppm}{10\ ppm} \times 100\%$

Ef (%) = 97,15%

c. 30 menit

Ef (%) = $\frac{10\ ppm - 0{,}1811 ppm}{10\ ppm} \times 100\%$

Ef (%) = 98,18%

d. 45 menit

Ef (%) = $\frac{10\ ppm - 0{,}0937\ \ ppm}{10\ ppm} \times 100\%$

Ef (%) = 99,06%

e. 60 menit

Ef (%) = $\frac{10\ ppm - 0{,}1507 ppm}{10\ ppm} \times 100\%$

Ef (%) = 98,49%

3. Variasi Konsentrasi

a. 10 ppm

Ef (%) = $\frac{10\ ppm - 0{,}0144\ ppm}{8{,}8785\ ppm} \times 100\%$

Ef (%) = 99,85%

b. 1 5 ppm

Ef (%) = $\frac{15\ ppm - 0{,}3969\ ppm}{14{,}2686\ ppm} \times 100\%$

Ef (%) = 97,35%

c. 20 ppm

Ef (%) = $\frac{20\ ppm - 0{,}7973\ ppm}{18{,}7876\ ppm} \times 100\%$

Ef (%) = 96,01%

d. 25 ppm

Ef (%) = $\frac{25\ ppm - 0{,}5895\ ppm}{23{,}5658\ ppm} \times 100\%$

Ef (%) = 97,64%

e. 30 ppm

Ef (%) = $\frac{30\ ppm - 1{,}5760\ ppm}{28{,}7620\ ppm} \times 100\%$

Ef (%) = 94,74%

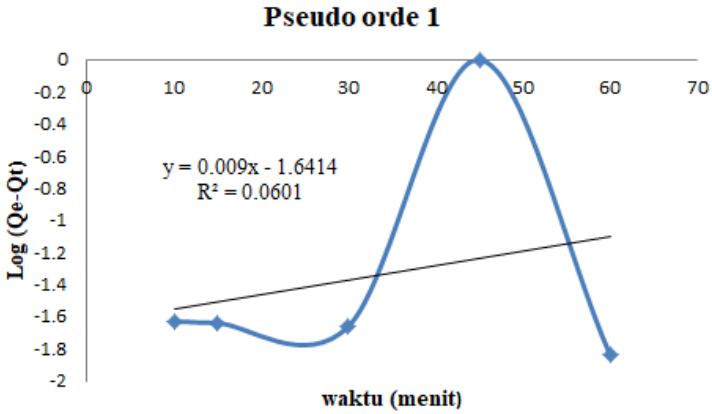
F. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

1. *Pseudo* Orde Satu

Tabel L. 9 Data penentuan *pseudo* orde satu arang aktif kulit buah naga merah

Waktu (menit)	Qt (mg/g)	Qe (mg/g)	Qe-Qt	Log (Qe-Qt)
10	2,4535	2,4765	0,0230	-1,6382
15	2,4538	2,4765	0,0227	-1,6439
30	2,4547	2,4765	0,0218	-1,6615
45	2,4765	2,4765	0	0
60	2,4623	2,4765	0,0142	-1,8477

Data pada Tabel L. 9 dapat dibuat grafik kurva persamaan linear antara waktu vs Log (Qe-Qt) yang dapat dilihat pada Gambar L. 2



Gambar L.2 Grafik pseudo orde satu

$y = ax + b$

$y = 0{,}009x + (-1{,}6414)$

$\frac{K1}{2,303}$ = a

$\frac{K1}{2,303}$ = 0,009

K1 = 0,0207

Log Qe = b

Log Qe = 10^{b}

Log Qe = $10^{-1,6414}$

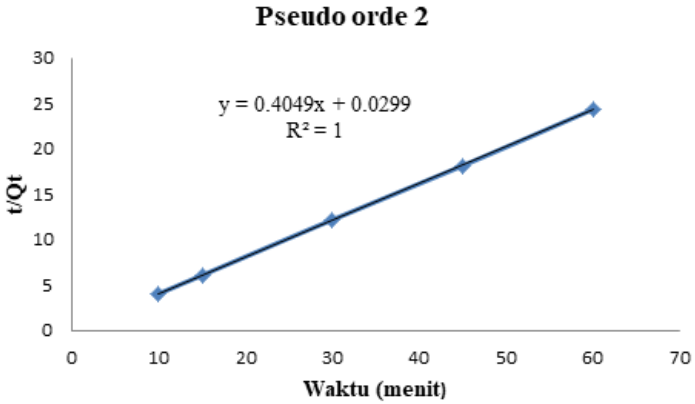
Qe = 0,0228

2. *Pseudo* Orde Dua

Tabel L. 10 Data penentuan pseudo orde dua arang aktif kulit buah naga merah

Waktu (menit)	Qt(mg/g)	t/Qt
10	2,4535	4,0758
15	2,4538	6,1129
30	2,4547	12,2214
45	2,4765	18,1708
60	2,4623	24,3674

Data pada Tabel L. 10 dapat dibuat grafik kurva persamaan linear antara waktu vs t/Qt yang dapat dilihat pada Gambar L.3.



Gambar L. 3 Grafik kurva pseudo orde dua

$y = ax + b$

$y = 0{,}4049x + 0{,}0299$

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

$\frac{1}{Qe} = 0{,}4049$

$Qe = \frac{1}{0{,}4049}$

$Qe = 2{,}4697$

$\frac{1}{K2.Qe^2} = b$

$\frac{1}{K2.2{,}4697^2} = 0{,}0299$

$K_2 = \frac{1}{0{,}0299\ .2{,}4697^2}$

$K_2 = 5{,}4854$

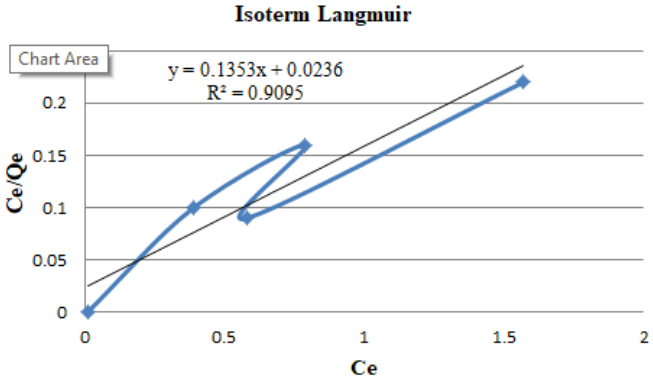
G. Perhitungan Isoterm Adsorpsi

1. Isoterm Langmuir

Tabel L. 11 Data penentuan isoterm Langmuir arang aktif kulit buah naga merah

Konsentrasi (ppm)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Ce/Qe
10	0,0144	2,4964	0,005768
15	0,3969	3,6507	0,108718
20	0,7973	4,8006	0,166083
25	0,5895	6,1026	0,096598
30	1,5760	7,1060	0,2217844

Data pada Tabel L. 11 dapat dibuat kurva persamaan linear antara Ce vs Ce/Qe. Kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar L. 4.



Gambar L. 4 Grafik kurva isoterm Langmuir

y= ax + b

= 0,1353x + 0,0236

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

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

$\frac{1}{0,1353}$ = Q_{max}

Q_{max} = 7,3909

$\frac{1}{K1.Qmax}$ = b

$\frac{1}{K1.7,3909}$ = 0,0236

$K_1 = \frac{1}{7,3909\ (0,0236)}$

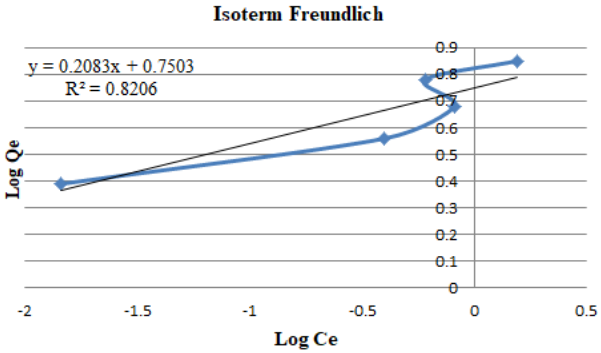
K_1 = 5,7339

2. Isoterm Freundlich

Tabel L. 12 Data penentuan isoterm Freundlich arang aktif kulit buah naga merah

Konsentrasi (ppm)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Log Ce	Log Qe
10	0,0144	2,4964	-1,8416	0,3973
15	0,3969	3,6507	-0,4013	0,5623
20	0,7973	4,8006	-0,0983	0,6812
25	0,5895	6,1026	-0,2295	0,7855
30	1,5760	7,1060	0,1975	0,8516

Data pada Tabel L. 12 dapat dibuat kurva persamaan linear antara Log Ce vs Log Qe. Kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar L. 5.



Gambar L. 5 Garfik kurva isoterm Freundlich

y= ax + b

= 0,2083x + 0,7503

Log K_2 = b

Log K_2 = 0,7503

$K_2 = 10^{0,7503}$

K^2 = 5,6272

1/n = a

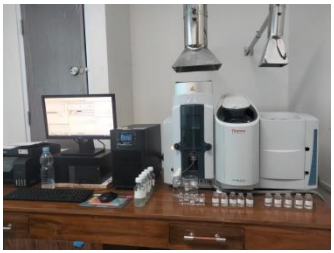
1/n = 0,2083

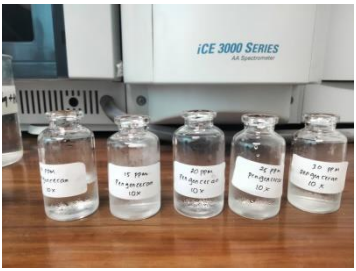
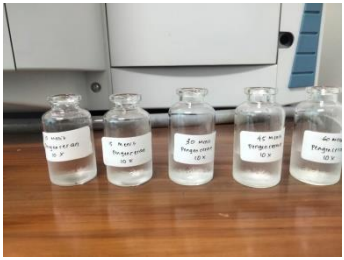
n = 1/0,2083

n = 4,8007

Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian

 Proses Dehidrasi	 Kulit Buah Naga Kering
 Arang Kulit Buah Naga	 Arang kulit buah naga dihaluskan
 Arang diayak dengan ayakan 100 mesh	 Arang diaktivasi dengan H_2SO_4 selama 24 jam

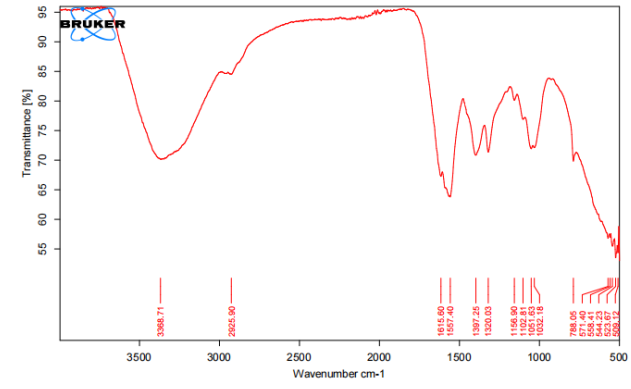
 Penyaringan arang setelah diaktivasi	 Proses penetralan arang dengan menggunakan akuades
 Adsorben setelah dikeringkan	 Penimbangan padatan $Pb(NO_3)_2$
 Pengaplikasisan adsorben	 Pengujian adsorben dengan AAS

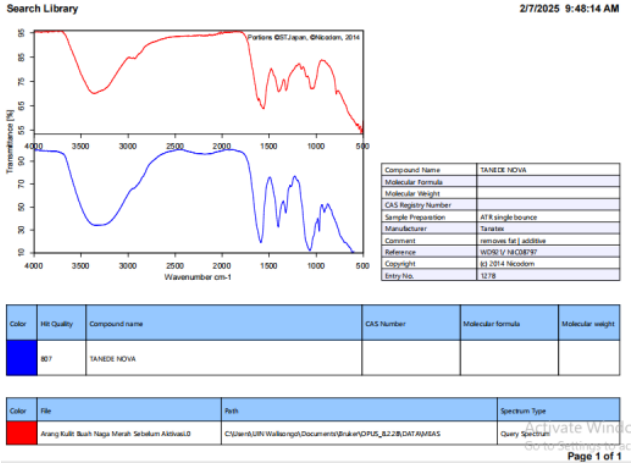
 Uji konsentrasi larutan	 Uji adsorpsi variasi pH
 Uji adsorpsi variasi konsentrasi	 Uji adsorpsi variasi waktu kontak

Lampiran 6 Hasil Karakterisasi Penelitian

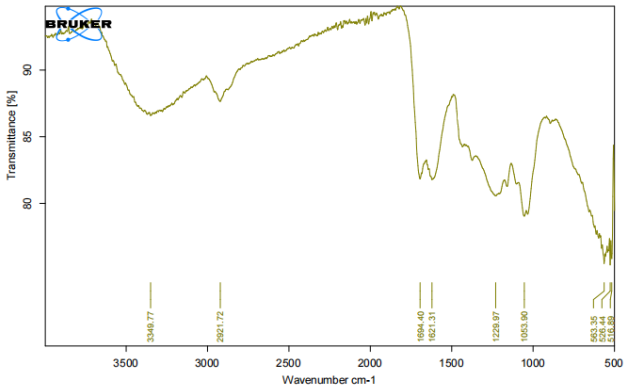
1. Hasil Karakterisasi FTIR

a. Arang Kulit Buah Naga Merah Sebelum Aktivasi

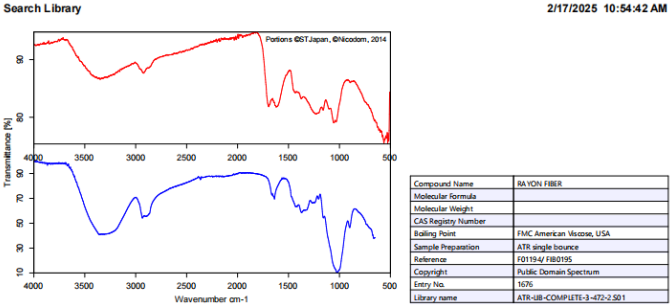




b. Arang Kulit Buah Naga Merah Setelah Aktivasi

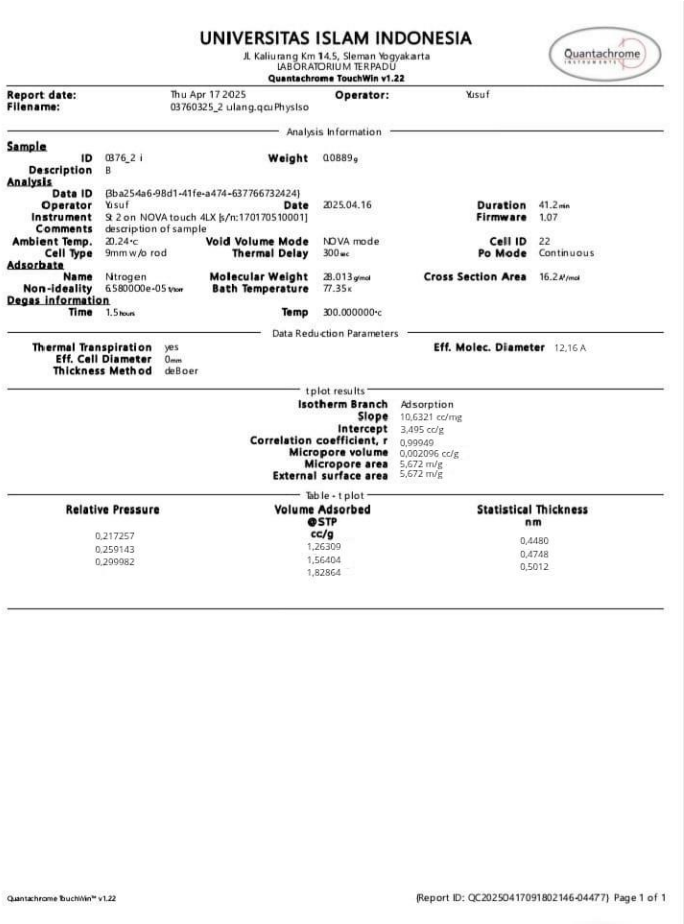


Activate W



Activate Wir

2. Hasil Karakterisasi SAA



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta
LABORATORIUM TERPADU
Quantachrome TouchWin v1.22

Quantachrome INSTRUMENTS

Report date:	Thu Apr 17 2025	**Operator:**	Yusuf
Filename:	03760325_2 ulang.qcuPhysIso		

Analysis Information

Sample

ID	0376_2 i	**Weight**	0.0889 g		
Description	B				

Analysis

Data ID	{Bba254a6-98d1-41fe-a474-637766732424}				
Operator	Yusuf	**Date**	2025.04.16	**Duration**	41.2 min
Instrument	St 2 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]			**Firmware**	1.07
Comments	description of sample				
Ambient Temp.	20.24 °c	**Void Volume Mode**	NOVA mode	**Cell ID**	22
Cell Type	9mm w/o rod	**Thermal Delay**	300 sec	**Po Mode**	Continuous

Adsorbate

Name	Nitrogen	**Molecular Weight**	28.013 g/mol	**Cross Section Area**	16.2 Å²/mol
Non-ideality	6.580000e-05 t/torr	**Bath Temperature**	77.35 k		

Degas information

Time	1.5 hours	**Temp**	300.000000 °c

Data Reduction Parameters

Thermal Transpiration	yes	**Eff. Molec. Diameter**	12.16 A
Eff. Cell Diameter	0 mm		
Thickness Method	deBoer		

t plot results

Isotherm Branch	Adsorption
Slope	10.6321 cc/mg
Intercept	3.495 cc/g
Correlation coefficient, r	0.99949
Micropore volume	0.002096 cc/g
Micropore area	5.672 m/g
External surface area	5.672 m/g

Table - t plot

Relative Pressure	Volume Adsorbed @STP cc/g	Statistical Thickness nm
0.217257	1.26309	0.4480
0.259143	1.56404	0.4748
0.299982	1.82864	0.5012

Quantachrome TouchWin™ v1.22 (Report ID: QC20250417091802146-04477) Page 1 of 1

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

J. Kaliurang Km 14,5, Sleman Yogyakarta
LABORATORIUM TERPADU
Quantachrome TouchWin v1.22

Quantachrome

Report date: Thu Apr 17 2025 **Operator:** Yusuf
Filename: 03760325_1 ulang.qcuPhysiso

Analysis nformation

Sample
ID 0376_1 i **Weight** 0.0890g
Description A
Analysis
Data ID 'db017d35-39d5-42ae-9a82-1d4cef7030e1)
Operator Yusuf **Date** 2025.04.16 **Duration** 41.8min
Instrument St 1 ar NOVA touch 4LX [s/n:1701705100011 **Firmware** 1.07
Comments description of sample
Ambient Temp. 20.13°c **Void Volume Mode** NOVA mode **Cell ID** 21
Cell Type 9mm w/c rod **Thermal Delay** 300sec **Po Mode** Continuous
Adsorbate
Name Nitrogen **Molecular Weight** 28.013g/mol **Cross Section Area** 16.2A²/mol
Non-ideality 5.580000e-05 t/w **Bath Temperature** 77.35K
Degas information
Time 1.5hours **Temp** 150.000000°c

Data reduction Parameters

Thermal Transpiration yes **Eff. Molec. Diameter** 24.85 A
Eff. Cell Diameter 0mm
Thickness Method deBoer

t plot results

Isotherm Branch Adsorption
Slope 35.5797 cc/mg
Intercept 7.3464 cc/g
Correlation coefficient, r 0.99973 cc/g
Micropore volume 0.006372 cc
Micropore area 5.368 m²/g
External surface area 5.368 m²

Table - t plot

Relative Pressure	Volume Adsorbed @STP cc/g	Statistical Thickness nm
0.219723	8.61965	0.4495
0.261238	9.60310	0.4762
0.300665	10.4664	0.5017

3. Hasil Karakterisasi AAS

Thermo SCIENTIFIC

Operator Name: MUCHIS
Results File: C:\Users\AAS SAINTEK UIN\Downloads\248-Pb Chintya 08052025.SLR
Report Date: 20/03/2025 16:27:02

General Parameters

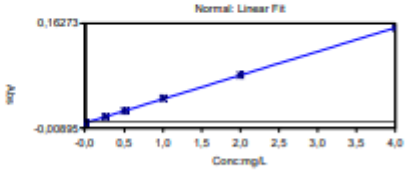
Method : Uji Pb 08052025
Operator : MUCHIS
Instrument Mode: Flame
Autosampler : None
Dilution: None
Use SFI: No

Analysis Details

Analysis Name: Analysis 1 20/03/2025
Spectrometer: ICE 3000 AA05194702 v1.30
Operator Name: MUCHIS

Solution Results - Pb

Y = 0,03894x - 0,0005
Fit: 0,9999
Characteristic Conc: 0,1130



Sample ID		Signal Abs	Rsd %	Conc mg/L	Corrected Conc mg/L	
Pb Blank		**-0,001**	**47,8**	**0,0000**		
	1	-0,001		Background: 0,000		20/03/2025 16:13:53
	2	-0,001		Background: 0,000		20/03/2025 16:13:57
	3	-0,002		Background: 0,001		20/03/2025 16:14:01
Pb Standard 1		**0,009**	**4,8**	**0,2500**		
	1	0,009		Background: -0,001		20/03/2025 16:14:38
	2	0,009		Background: -0,000		20/03/2025 16:14:42
	3	0,009		Background: -0,000		20/03/2025 16:14:47
Pb Standard 2		**0,019**	**2,9**	**0,5000**		
	1	0,019		Background: -0,000		20/03/2025 16:15:18
	2	0,019		Background: 0,000		20/03/2025 16:15:22
	3	0,019		Background: 0,000		20/03/2025 16:15:27
Pb Standard 3		**0,040**	**1,0**	**1,0000**		
	1	0,040		Background: -0,000		20/03/2025 16:16:03
	2	0,040		Background: 0,000		20/03/2025 16:16:07
	3	0,039		Background: 0,000		20/03/2025 16:16:11
Pb Standard 4		**0,077**	**1,1**	**2,0000**		
	1	0,078		Background: -0,000		20/03/2025 16:16:41
	2	0,077		Background: 0,000		20/03/2025 16:16:45
	3	0,076		Background: 0,001		20/03/2025 16:16:49
Pb Standard 5		**0,155**	**0,2**	**4,0000**		
	1	0,155		Background: 0,000		20/03/2025 16:17:18
	2	0,155		Background: 0,000		20/03/2025 16:17:22
	3	0,155		Background: 0,001		20/03/2025 16:17:26
Pb pH 2 10x		**0,217**	**0,3**	**5,5926 C**	**5,5926 C**	
	1	0,217		Background: 0,001		20/03/2025 16:18:18
	2	0,218		Background: 0,001		20/03/2025 16:18:22
	3	0,217		Background: 0,001		20/03/2025 16:18:26
Pb pH 3 10x		**0,015**	**1,5**	**0,4000**	**0,4000**	
	1	0,016		Background: 0,000		20/03/2025 16:19:11
	2	0,015		Background: 0,000		20/03/2025 16:19:15
	3	0,015		Background: 0,000		20/03/2025 16:19:19

SOLAAR AA Report

Operator Name: MUCHIS
Report Date: 20/03/2025 16:27:02
Results File: C:\Users\AAS SAINTEK UIN\Downloads\248-Pb Chinlya 08052025.SLR

Solution Results - Pb

Sample ID		Signal Abs	Rsd %	Conc mg/L	Corrected Conc mg/L
Pb pH 4 10x		**0,008**	**2,5**	**0,2176**	**0,2176**
	1	0,008	Background: 0,000		20/03/2025 16:19:47
	2	0,008	Background: 0,000		20/03/2025 16:19:51
	3	0,008	Background: 0,000		20/03/2025 16:19:55
Pb pH 5 10x		**-0,001**	**23,5**	**-0,0158 C**	**-0,0158 C**
	1	-0,001	Background: 0,000		20/03/2025 16:20:21
	2	-0,001	Background: 0,000		20/03/2025 16:20:25
	3	-0,001	Background: 0,000		20/03/2025 16:20:29
Pb pH 6		**0,007**	**6,0**	**0,2026**	**0,2026**
	1	0,008	Background: -0,000		20/03/2025 16:25:55
	2	0,007	Background: 0,000		20/03/2025 16:25:59
	3	0,007	Background: 0,000		20/03/2025 16:26:04
Pb pH 2 10x		**0,022**	**1,7**	**0,5892**	**0,5892**
	1	0,023	Background: -0,000		20/03/2025 16:22:25
	2	0,022	Background: -0,000		20/03/2025 16:22:29
	3	0,022	Background: 0,000		20/03/2025 16:22:33
Pb pH 5		**0,009**	**2,9**	**0,2387**	**0,2387**
	1	0,009	Background: 0,000		20/03/2025 16:23:16
	2	0,009	Background: 0,000		20/03/2025 16:23:21
	3	0,009	Background: 0,000		20/03/2025 16:23:25

SOLAAR AA Report

Operator Name: MUCHIS *Report Date:* 20/03/2025 17:44:45

Results File: C:\Users\AAS SAINTEK UIN\Downloads\249-Pb Chintya 15052025.SLR

Solution Results - Pb

Sample ID		Signal Abs	Rsd %	Conc mg/L	Corrected Conc mg/L	
Pb 20 ppm		**0,028**	**0,9**	**0,7973**	**0,7973**	
	1	0,028	Background: -0,009			20/03/2025 17:35:55
	2	0,028	Background: -0,009			20/03/2025 17:35:59
	3	0,028	Background: -0,009			20/03/2025 17:36:04
Pb 25 ppm		**0,020**	**0,6**	**0,5895**	**0,5895**	
	1	0,020	Background: -0,009			20/03/2025 17:36:41
	2	0,020	Background: -0,009			20/03/2025 17:36:45
	3	0,021	Background: -0,009			20/03/2025 17:36:49
Pb 30 ppm		**0,056**	**0,6**	**1,5760**	**1,5760**	
	1	0,056	Background: -0,009			20/03/2025 17:37:19
	2	0,056	Background: -0,009			20/03/2025 17:37:24
	3	0,057	Background: -0,009			20/03/2025 17:37:28
Pb 10 ppm stl 10x		**-0,003**	**8,4**	**-0,0416 C**	**-0,0416 C**	
	1	-0,002	Background: -0,009			20/03/2025 17:38:03
	2	-0,003	Background: -0,009			20/03/2025 17:38:07
	3	-0,003	Background: -0,009			20/03/2025 17:38:11
Pb 15 ppm stl 10x		**-0,002**	**10,4**	**-0,0372 C**	**-0,0372 C**	
	1	-0,002	Background: -0,009			20/03/2025 17:39:05
	2	-0,003	Background: -0,009			20/03/2025 17:39:09
	3	-0,003	Background: -0,009			20/03/2025 17:39:14
Pb 20 ppm stl 10x		**-0,002**	**4,3**	**-0,0264 C**	**-0,0264 C**	
	1	-0,002	Background: -0,009			20/03/2025 17:39:46
	2	-0,002	Background: -0,009			20/03/2025 17:39:51
	3	-0,002	Background: -0,009			20/03/2025 17:39:55
Pb 25 ppm stl 10x		**-0,003**	**13,4**	**-0,0453 C**	**-0,0453 C**	
	1	-0,002	Background: -0,009			20/03/2025 17:40:33
	2	-0,003	Background: -0,009			20/03/2025 17:40:37
	3	-0,003	Background: -0,009			20/03/2025 17:40:42
Pb 30 ppm stl 10x		**-0,001**	**25,7**	**0,0115**	**0,0115**	
	1	-0,000	Background: -0,009			20/03/2025 17:41:07
	2	-0,001	Background: -0,009			20/03/2025 17:41:11
	3	-0,001	Background: -0,009			20/03/2025 17:41:16
Pb 10-10mnt		**0,006**	**6,1**	**0,1858**	**0,1858**	
	1	0,006	Background: -0,010			20/03/2025 17:41:44
	2	0,006	Background: -0,010			20/03/2025 17:41:48
	3	0,005	Background: -0,009			20/03/2025 17:41:52
Pb 10-15mnt		**0,002**	**9,6**	**0,1845**	**0,0937**	
	1	0,003	Background: -0,009			20/03/2025 17:42:19
	2	0,002	Background: -0,010			20/03/2025 17:42:23
	3	0,002	Background: -0,010			20/03/2025 17:42:27
Pb 10-30mnt		**0,004**	**3,3**	**0,1811**	**0,1507**	
	1	0,005	Background: -0,010			20/03/2025 17:42:54
	2	0,004	Background: -0,010			20/03/2025 17:42:59
	3	0,004	Background: -0,010			20/03/2025 17:43:03
Pb 10-45mnt		**0,006**	**5,0**	**0,0937**	**0,1845**	
	1	0,006	Background: -0,009			20/03/2025 17:43:27
	2	0,006	Background: -0,009			20/03/2025 17:43:32
	3	0,005	Background: -0,009			20/03/2025 17:43:36
Pb 10-60mnt		**0,006**	**4,1**	**0,1507**	**0,1811**	
	1	0,006	Background: -0,009			20/03/2025 17:44:04
	2	0,005	Background: -0,009			20/03/2025 17:44:08
	3	0,005	Background: -0,009			20/03/2025 17:44:13

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Chintya Larasati
2. Tempa, Tgl. Lahir : Tegal, 2 Oktober 2002
3. Alamat Rumah : Perumahan Graha Palma Blok H No 6, Kec. Margasari, Kab. Tegal
4. No. Hp : 081575476673
5. Email : chintyalarasatinew@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal :
   a. SD Negeri 06 Margasari 2008-2014
   b. SMP Negeri 1 Margasari 2014-2017
   c. SMA Negeri 1 Balapulang 2017-2020
   d. UIN Walisongo Semarang 2021-2025

C. Prestasi Akademik

1. Olimpiade Agama Sains dan Riset (OASE) PTKI II Se-Indonesia Tahun 2023
   a. Juara 3 Expo Cabang Nanoteknologi dan Kesehatan
   b. Juara 5 presentasi Cabang Nanoteknologi dan Kesehatan
2. Sebagai Finalis dari 10 Besar pada Lomba Karya Tulis Ilmiah Mahasiswa (LKTIM) Tingkat Nasional yang diselenggarkan oleh Himamia FMIPA Universitas Semarang Tahun 2023

3. Sebagai Pembicara di Kegiatan Opening Stronsium XXXII yang diselenggarkan Himamia FMIPA Universitas Semarang
4. Lomba Karya Tulis Ilmiah Walisongo Science Competition (WSC) 2024 Tingkat Nasional diselenggarkan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang
    a. Juara 1 Bidang Karya Tulis Ilmiah WSC 2024
5. Lomba Karya Tulis Ilmiah Tingkat Internasional 2024 diselenggarkan UIN Walisongo Semarang
    a. Gold Medals Scientific Papers' Enviromental Engineering