

**PEMANFAATAN KULIT BUAH NAGA MERAH (*HYLOCEREUS  
POLYRHIZUS*) DALAM PEMBUATAN ARANG AKTIF SEBAGAI  
ADSORBEN ION Pb<sup>2+</sup>**

**Skripsi**

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan  
mencapai derajat sarjana S-1**



**Oleh:**

**Farazdaq Az-zahra**

**21106030001**

**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA**

**2026**

# HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

## PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-996/Un.02/DST/PP.00.9/05/2026

Tugas Akhir dengan judul : Pemanfaatan Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*) dalam Pembuatan Arang Aktif Sebagai Adsorben Ion Pb<sup>2+</sup>

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : FARAZDAQ AZ-ZAHRA  
Nomor Induk Mahasiswa : 21106030001  
Telah diujikan pada : Senin, 09 Maret 2026  
Nilai ujian Tugas Akhir : A/B

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

### TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Valid ID: 6a0f031122980

Ketua Sidang

Prof. Dr. Susy Yumita Prahawati, M.Si.  
SIGNED



Valid ID: 6a136c3b6e95

Penguji I

Dr. rer. medic. Esti Wahyu Widowati, M.Si.,  
M. Biotech  
SIGNED



Valid ID: 6a066c483ac5b

Penguji II

Khamidinal, S.Si., M.Si  
SIGNED



Valid ID: 6a130a4606a2

Yogyakarta, 09 Maret 2026

UIN Sunan Kalijaga  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Kharul Wardati, M.Si.  
SIGNED

## SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

### SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Peretujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp :

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

*Assalamu'alaikum wr. wb.*

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Farazdaq Az-zahra

NIM : 21106030001

Judul Skripsi : Pemanfaatan Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*) dalam Pembuatan Arang Aktif Sebagai Adsorben Ion  $Pb^{2+}$

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terma kasih.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

Yogyakarta, 27 Februari 2026

Pembimbing

Prof. Dr. Susy Yunita Prabawati, M.Si.

NIP: [19760621 199903 2 005](#)

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

### SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Farazdaq Az-zahra  
NIM : 21106030001  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Pemanfaatan Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*) dalam Pembuatan Arang Aktif Sebagai Adsorben Ion  $Pb^{2+}$ ” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 27 Februari 2026

  
Farazdaq Az-zahra  
NIM 21106030001

## **HALAMAN MOTTO**

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”  
(*Q.S Al-Insyirah:6*)

“Dan yakin aja, mimpi itu diraih dengan penuh perjuangan dan pengorbanan.  
Tidak akan didapat hanya dengan membayangkan”

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Alhamdulillahirobbil'alamin, atas Rahmat dan izin Allah SWT dengan penuh rasa syukur saya persembahkan skripsi ini untuk:

Ummi, Abi, Pakpuh, Bupuh, Bapak, Bunda dan kedua saudara saya yang telah memberikan doa dan dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Serta almamater Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim.*

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah serta karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemanfaatan Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*) dalam Pembuatan Arang Aktif Sebagai Adsorben Ion  $Pb^{2+}$ ” tak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada nabi agung Muhammad SAW yang syafaatnya senantiasa kita nantikan di Yaummul Akhir. Skripsi ini ditulis guna memenuhi salah satu persyaratan mencapai gelar Sarjana Kimia. Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dorongan, motivasi, kritik, saran ide-ide kreatif maupun do’a sehingga tahap demi tahap penulisan skripsi ini dapat diselesaikan oleh penulis. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Noorhaidi Hasan, S.Ag., M.A., M.Phil., Ph.D. selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Dr. Hj. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si. M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Ibu Prof. Dr. Susy Yunita Prabawati, S.Si, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah memberikan bimbingan, arahan dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Khamidinal, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik
6. Seluruh Dosen Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat.
7. Ibu Isni Gustanti, S.Si selaku Laboran Laboratorium Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
8. Seluruh Staf dan Karyawan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah membantu dalam proses penyusunan skripsi ini.
9. Ummi Hanif Rohmawati, Pakpuh, Bupuh, Abi Rusmanto, Bapak Supardi, dan Bunda Ika selaku orang tua yang tiada henti memberikan do’a, dukungan serta semangat kepada penulis.
10. Baim dan Syahrul selaku adik yang selalu memberikan dukungan serta semangat kepada penulis.
11. Yasra dan Yasri Asrama Masjid Agung Syuhada yang selalu memberikan motivasi dan semangat.
12. Teman Teman LPQ Masjid Syuhada, Mahasantri LAZ Amal Syuhada, Karyawan LAZ Amal Syuhada yang memberikan semangat.
13. Teman-teman “Scandium” Program Studi Kimia angkatan 2021 yang telah memberikan bantuan, motivasi dan do’a.
14. Rana, Rikma, dan Maratus yang telah memberikan motivasi dan dukungan sejak awal perkuliahan.

15. Beasiswa YBM PLN, Beasiswa Lazismu UMY, Beasiswa LAZ Amal Syuhada yang memberikan dukungan materi selama masa perkuliahan.
16. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dalam penulisan skripsi ini.
17. Terimakasih pada diri saya sendiri, Farazdaq Az-zahra yang sudah kuat untuk bertahan dengan banyak pengorbanan dan terus belajar hingga saat ini. Semoga Allah senantiasa membersamai langkahmu untuk melanjutkan ke pembelajaran hidup berikutnya. Tetaplah menjadi orang baik dan tersenyum untuk siapapun. Dan jaga kesehatan selalu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik serta saran yang membangun dari seluruh pihak agar skripsi ini dapat lebih baik lagi. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya perkembangan di bidang ilmu kimia.

Yogyakarta, 25 Mei 2026

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
HALAMAN MOTTO .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
ABSTRAK .....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Batasan Masalah.....	4
C. Rumusan Masalah .....	4
D. Tujuan Penelitian .....	4
E. Manfaat Penelitian .....	5
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	6
A. Tinjauan Pustaka .....	6
B. Landasan Teori.....	8
1. Karbon Aktif .....	8
2. Adsorpsi .....	9
3. Isoterm Adsorpsi .....	11
4. Logam Timbal Pb <sup>2+</sup> .....	12
5. Kulit Buah Naga Merah .....	13
6. Selulosa .....	14

7. FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) .....	15
8. XRD (X-Ray Diffraction) .....	15
9. AAS (Atomic Absorption Spectroscopy).....	16
C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis Penelitian.....	17
BAB III .....	20
METODE PENELITIAN.....	20
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	20
B. Alat-alat Penelitian.....	20
C. Bahan Penelitian.....	20
D. Cara Kerja Penelitian .....	20
1. Preparasi Kulit buah naga merah .....	20
2. Pembuatan Karbon Aktif.....	21
3. Pembuatan Larutan Uji Timbal ( $Pb^{2+}$ ) .....	21
4. Adsorpsi logam $Pb^{2+}$ menggunakan karbon aktif albedo kulit buah naga merah berdasarkan 5 variasi pH.....	21
5. Adsorpsi logam $Pb^{2+}$ menggunakan karbon aktif albedo kulit buah naga merah berdasarkan 5 variasi waktu kontak.....	21
6. Adsorpsi logam $Pb^{2+}$ menggunakan karbon aktif albedo kulit buah naga merah berdasarkan variasi konsentrasi logam .....	22
BAB IV .....	23
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
A. Preparasi Sampel Kulit Buah Naga Merah .....	23
B. Pembuatan Karbon Kulit Buah Naga Merah Menjadi Karbon Aktif.....	24
C. Mekanisme Reaksi .....	25
D. Uji Karakterisasi FTIR Sebelum Dan Sesudah Aktivasi .....	26
E. Uji Pola Difraksi Sinar-X (XRD).....	28
F. Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi $Pb^{2+}$ .....	30
1. Pembuatan Larutan Uji $Pb^{2+}$ .....	30
2. Penentuan kurva kalibrasi larutan standar $Pb^{2+}$ .....	31
3. Penentuan pH optimum.....	31
4. Penentuan waktu kontak optimum.....	34

G. Pola Isoterm Adsorpsi Karbon Aktif Kulit buah naga merah terhadap Ion $Pb^{2+}$	35
BAB V.....	40
KESIMPULAN DAN SARAN.....	40
A. Kesimpulan .....	40
B. Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA .....	41

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Spesiasi Logam Timbal.....	13
Gambar 2. 2 Kulit Buah Naga Merah.....	13
Gambar 4. 1 Karbonisasi .....	25
Gambar 4. 2 Saponifikasi .....	25
Gambar 4. 3 Adsorpsi .....	26
Gambar 4. 4 Grafik Serapan Gugus Fungsi Kulit Buah Naga Merah .....	27
Gambar 4. 5 Grafik Difraktogram Kulit Buah Naga Merah.....	29
Gambar 4. 6 Grafik Konsentrasi Larutan Standar .....	31
Gambar 4. 7 Grafik Variasi pH vs Persen Adsorpsi.....	32
Gambar 4. 8 Grafik Waktu Kontak Adsorpsi vs Daya Serap .....	34
Gambar 4. 9 Grafik Isoterm Langmuir .....	36
Gambar 4. 10 Grafik Isoterm Freundlich.....	36

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Serapan Gugus Fungsi Penelitian Terdahulu .....	26
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian XRD .....	29
Tabel 4.3 Data Uji pH Optimum.....	33
Tabel 4.4 Data Kapasitas Adsorpsi .....	39

## ABSTRAK

### Pemanfaatan Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*) dalam Pembuatan Arang Aktif Sebagai Adsorben Ion $Pb^{2+}$

oleh

**Farazdaq Az-zahra**

**21106030001**

Pembimbing

**Prof. Dr. Susy Yunita Prabawati, S.Si, M.Si.**

Logam berat timbal (Pb) merupakan salah satu polutan berbahaya di perairan yang umumnya berasal dari aktivitas manusia seperti limbah industri, domestik, dan pertanian. Pb bersifat toksik, tidak mudah terurai, dan dapat terakumulasi dalam tubuh organisme melalui air maupun rantai makanan. Penelitian ini melakukan penanganan logam  $Pb^{2+}$  dengan metode adsorpsi yang menggunakan kulit buah naga merah sebagai biosorben. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui karakteristik gugus fungsi arang aktif kulit buah naga merah sebelum dan sesudah aktivasi melalui uji FTIR, tingkat kristalinitas melalui uji XRD, kondisi optimum dari variasi pH dan waktu kontak, serta pola isoterm adsorpsi yang digunakan dalam mengadsorpsi logam  $Pb^{2+}$ .

Pembuatan biosorben dilakukan melalui proses karbonisasi dan aktivasi menggunakan aktivator NaOH. Hasil karakterisasi XRD pada serbuk kulit buah naga merah menunjukkan adanya struktur campuran antara dominasi fase amorf yang ditandai dengan puncak melebar (broad peak) dan fase semi-kristalin yang ditunjukkan oleh beberapa puncak tajam, terutama pada sudut  $2\theta$  sekitar  $29,5^\circ$ . Karakterisasi FTIR menunjukkan adanya gugus aktif penting seperti O-H ( $\sim 3400\text{ cm}^{-1}$ ), C-H ( $\sim 2920\text{ cm}^{-1}$ ), C=C aromatik ( $\sim 1600\text{ cm}^{-1}$ ), dan C-O ( $\sim 1100\text{ cm}^{-1}$ ). Perbandingan spektrum sebelum dan sesudah aktivasi menunjukkan perubahan intensitas transmitansi yang mengindikasikan keberhasilan proses aktivasi permukaan karbon oleh NaOH.

Pengujian adsorpsi dilakukan menggunakan volume 100 mL dan massa 0,2 g dengan konsentrasi awal Co rata-rata 267,54 ppm. Kondisi optimum diperoleh pada pH 5 dengan konsentrasi sisa Pb (Ce) sebesar 0,4453 ppm (efisiensi 99,83%) dan kapasitas adsorpsi ( $Q_e$ ) 133,54 mg/g. Waktu kontak optimum tercapai pada menit ke-90 dengan konsentrasi sisa sebesar 7,6133 ppm (efisiensi 97,15%). Penurunan efisiensi setelah menit ke-90 mengindikasikan terjadinya fenomena desorpsi. Pola isoterm adsorpsi mengikuti model Isoterm Langmuir dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,988 dan kapasitas adsorpsi maksimum ( $Q_{max}$ ) mencapai 185,1852 mg/g. Nilai energi adsorpsi ( $E_{Ads}$ ) sebesar 28,413 kJ/mol mengonfirmasi bahwa mekanisme penjerapan terjadi secara adsorpsi kimia (chemisorption). Penelitian ini membuktikan bahwa arang aktif kulit buah naga merah memiliki potensi tinggi sebagai adsorben logam  $Pb^{2+}$ .

Kata kunci : Kulit Buah Naga Merah, Logam  $Pb^{2+}$ , Adsorpsi

## ABSTRACT

### Utilization of Red Dragon Fruit Peel (*Hylocereus polyrhizus*) in the Production of Activated Charcoal as an Adsorbent for Pb<sup>2+</sup> Ions

Created by

**Farazdaq Az-zahra**

**21106030001**

Advisor

**Prof. Dr. Susy Yunita Prabawati, S.Si, M.Si.**

The heavy metal lead (Pb) is a dangerous water pollutant that generally originates from human activities such as industrial, domestic, and agricultural waste. Pb is toxic, not easily decomposed, and can accumulate in organisms through water and the food chain.. This study treats Pb<sup>2+</sup> metal using an adsorption method that uses red dragon fruit peel as a biosorbent. The objectives of this study were to determine the characteristics of the functional groups of activated charcoal from red dragon fruit peel before and after activation through FTIR testing, the degree of crystallinity through XRD testing, the optimum conditions for pH and contact time variations, and the adsorption isotherm patterns used in adsorbing Pb<sup>2+</sup> metal.

The production of biosorbents was carried out through carbonization and activation processes using NaOH activator. XRD characterization results on red dragon fruit peel powder showed a mixed structure between a dominant amorphous phase characterized by broad peaks and a semi-crystalline phase indicated by several sharp peaks, especially at an angle of  $2\theta$  around  $29.5^\circ$ . FTIR characterization showed the presence of important active groups such as O-H ( $\sim 3400\text{ cm}^{-1}$ ), C-H ( $\sim 2920\text{ cm}^{-1}$ ), aromatic C=C ( $\sim 1600\text{ cm}^{-1}$ ), and C-O ( $\sim 1100\text{ cm}^{-1}$ ). Comparison of the spectra before and after activation shows changes in transmittance intensity, indicating the success of the carbon surface activation process by NaOH.

Adsorption testing was conducted using a volume of 100 mL and a mass of 0.2 g with an average initial concentration of C<sub>0</sub> of 267.54 ppm. Optimal conditions were obtained at pH 5 with a residual Pb (C<sub>e</sub>) concentration of 0.4453 ppm (99.83% efficiency) and adsorption capacity (Q<sub>e</sub>) of 133.54 mg/g. The optimum contact time was achieved at 90 minutes with a residual concentration of 7.6133 ppm (97.15% efficiency). The decrease in efficiency after 90 minutes indicated the occurrence of desorption. The adsorption isotherm pattern followed the Langmuir Isotherm model with a coefficient of determination (R<sup>2</sup>) of 0.988 and a maximum adsorption capacity (Q<sub>max</sub>) of 185.1852 mg/g. The adsorption energy value (E<sub>Ads</sub>) of 28.413 kJ/mol confirms that the adsorption mechanism occurs through chemical adsorption (chemisorption). This study proves that red dragon fruit peel activated charcoal has high potential as a Pb<sup>2+</sup> metal adsorbent.

Keywords: Red Dragon Fruit Peel,  $Pb^{2+}$  Metal, Adsorption

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang Masalah

Logam berat timbal (Pb) merupakan salah satu polutan berbahaya di perairan yang umumnya berasal dari aktivitas manusia seperti limbah industri, domestik, dan pertanian di sepanjang daerah aliran sungai. Pb bersifat toksik, tidak mudah terurai, dan dapat terakumulasi dalam tubuh organisme melalui air maupun rantai makanan, sehingga berpotensi menyebabkan kerusakan organ serta gangguan kesehatan dalam jangka panjang. Selain itu, keberadaan Pb dalam perairan juga dapat mengganggu keseimbangan ekosistem karena mampu terakumulasi pada organisme akuatik sehingga meningkatkan risiko bagi manusia yang mengkonsumsinya. Oleh karena itu, pencemaran logam Pb di perairan perlu mendapat perhatian serius karena dampaknya yang luas terhadap lingkungan dan kesehatan (Syafriiliansah & Purnomo, 2022).

Di Indonesia, pencemaran Pb sering berasal dari limbah industri baterai, cat, pewarna tekstil, pertambangan, dan pembuangan limbah rumah tangga. Sungai-sungai di wilayah industri seperti Belawan dan beberapa daerah pesisir sering menunjukkan kadar Pb yang melebihi ambang batas akibat aktivitas antropogenik. Hal ini memperburuk kualitas air permukaan dan air tanah, yang menjadi sumber air bersih bagi masyarakat (Suksmerri, 2008). Paparan kronis Pb dapat menyebabkan kerusakan sistem saraf, ginjal, anemia, serta gangguan perkembangan pada anak. Menurut standar Permenkes RI No. 2 Tahun 2023, kadar Pb dalam air minum tidak boleh melebihi 0,01 mg/L. (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2023).

Berbagai metode pengolahan telah dikembangkan, termasuk metode konvensional seperti koagulasi-flokulasi, adsorpsi, dan membran filtrasi, serta metode alternatif yang lebih ramah lingkungan seperti fitoremediasi menggunakan tumbuhan air. Pemilihan metode pengolahan yang tepat tergantung pada karakteristik limbah, biaya, efisiensi, dan keberlanjutan lingkungan (Rachmawati et al., 2024).

Salah satu cara yang umum dilakukan untuk mengolah air limbah yang mengandung logam berat adalah dengan metode adsorpsi. Proses suatu bahan diserap ke permukaan lain dikenal sebagai adsorpsi. Dengan menggunakan bahan-bahan yang umumnya tersedia, prosedur pengolahan adsorpsi menjadi lebih sederhana dan hemat biaya. Proses adsorpsi dapat mengurangi konsentrasi logam berat dalam air limbah dengan menggunakan berbagai adsorben yang berbeda (Putri & Purnomo, 2024). Proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti konsentrasi logam berat dalam larutan, massa adsorben, pH, dan waktu kontak. Semakin besar massa adsorben dan konsentrasi logam berat, maka jumlah logam yang teradsorpsi juga semakin banyak (Yustinah et al., 2019)

. Adsorben yang efektif biasanya memiliki luas permukaan yang besar dan banyak pori-pori, sehingga mampu menyediakan banyak tempat bagi ion logam untuk menempel. Salah satu bahan limbah yang potensial adalah kulit buah naga merah, yang memiliki gugus aktif seperti hidroksil dan karboksil yang dapat berperan dalam proses adsorpsi ion logam berat. Penggunaan adsorben alami berbiaya rendah dari limbah pertanian mendukung kelestarian lingkungan sekaligus memberikan solusi untuk pengelolaan limbah cair yang efektif dan ramah lingkungan (Syukur & W. Muda., 2015).

Menurut Jamilah et. al. (2011) 30% – 35% dari buah naga terdiri dari kulit buah. Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa kulit buah naga merah mengandung senyawa pektin (16,5 %), kanji (11,1 %), selulosa (25,7 %), dan lignin (46,7 %) (Ide, 2009). Selulosa dalam kulit buah naga mengandung banyak gugus hidroksil (-OH) yang bersifat reaktif. Gugus fungsi ini memungkinkan terjadinya interaksi dengan ion logam berat seperti  $Pb^{2+}$  melalui mekanisme pertukaran ion, kompleksasi, dan adsorpsi permukaan. Ion  $Pb^{2+}$  yang bermuatan positif mudah berikatan dengan atom oksigen pada gugus hidroksil yang memiliki muatan parsial negatif, sehingga membentuk ikatan koordinasi yang stabil. Selain itu, selulosa bekerja secara sinergis dengan pektin (kaya gugus karboksil -COOH) dan lignin yang juga terdapat dalam kulit buah naga, sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi secara keseluruhan. (Chen et al., 2025).

Penelitian ini menggunakan bagian perikarp atau kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) sebagai bahan baku utama dalam penelitian pembuatan arang aktif sebagai adsorben ion  $Pb^{2+}$  karena merupakan limbah pertanian yang melimpah dan memiliki komposisi kimia yang sangat mendukung proses adsorpsi. Perikarp merupakan lapisan luar buah yang tebal dan keras, yang biasanya dibuang setelah konsumsi daging buahnya. Kulit ini menyumbang sekitar 30–35% dari total berat buah naga, sehingga volume limbahnya sangat besar dan berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dimanfaatkan. (Taharuddin et al., 2023).

Komposisi perikarp buah naga merah kaya akan komponen lignoselulosa, yaitu selulosa (9,25%), pektin (10,79%), pati, dan lignin (37,18%). Kandungan serat kasar yang tinggi (hingga 24% pada bubuk kering) serta keberadaan gugus fungsi hidroksil (-OH) dari selulosa dan gugus karboksil (-COOH) dari pektin memungkinkan terjadinya interaksi kuat dengan ion logam berat melalui mekanisme pertukaran ion, kompleksasi, dan adsorpsi permukaan. Komposisi ini membuat perikarp lebih unggul dibandingkan bagian daging buah yang memiliki kadar serat dan gugus fungsi lebih rendah. (Jamilah et al., 2011)

Dalam meningkatkan kemampuan dalam proses menyerap logam, dilakukan proses aktivasi sebelum digunakan sebagai adsorben. Aktivasi dapat dilakukan secara fisika maupun kimia. Penelitian ini akan menggunakan aktivasi secara kimia

dengan cara mereaksikan larutan aktivator dengan adsorben agar pori-pori yang terbentuk menjadi lebih besar dan dapat meningkatkan situs aktifnya. Pada penelitian ini, aktivator yang digunakan adalah NaOH (Natrium Hidroksida). Natrium hidroksida dipilih sebagai aktivator untuk adsorben logam Pb karena aktivasi dengan NaOH membuka pori-pori adsorben sehingga luas permukaan dan situs aktif meningkat. Aktivator NaOH efektif menurunkan kristalinitas sehingga meningkatkan kemampuan adsorpsi Pb (Puspitarini et al, 2018).

Selain itu Natrium hidroksida (NaOH) merupakan salah satu agen kimia yang paling umum digunakan dalam proses aktivasi karena sifatnya yang kuat sebagai basa dan kemampuannya untuk memodifikasi struktur lignoselulosa dari biomassa. Aktivasi dengan NaOH dapat melarutkan bagian hemiselulosa dan lignin dari bahan biomassa, sehingga menghasilkan struktur berpori yang lebih terbuka (Song et al., 2024). Hal ini meningkatkan luas permukaan aktif adsorben secara signifikan, sehingga memperbesar kapasitas adsorpsinya. Pada proses adsorpsi dengan menggunakan kulit buah naga merah, tahap pengarangan atau pengarangan terlebih dahulu sangat penting karena pengarangan bertujuan untuk mengeringkan kulit buah naga merah sehingga menghasilkan bahan adsorben yang kering, stabil, dan memiliki permukaan yang lebih luas. Kulit yang kering memungkinkan gugus aktif seperti hidroksil (-OH) dan karboksil (-COOH) yang terkandung dalam komponen organik kulit seperti pektin, lignin, hemiselulosa, dan selulosa menjadi lebih efektif dalam mengikat ion logam berat seperti  $Pb^{2+}$ . NaOH juga dapat memunculkan atau menambah jumlah gugus fungsional seperti hidroksil (-OH) dan karboksilat (-COO<sup>-</sup>) pada permukaan adsorben. Gugus-gugus ini penting dalam proses adsorpsi karena berinteraksi langsung dengan molekul atau ion polutan, baik melalui mekanisme ikatan ionik, pertukaran ion, maupun interaksi elektrostatik (Anwar et al, 2025).

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan diatas, telah dilakukan beberapa penelitian dalam pembuatan karbon aktif yang dapat digunakan untuk mengurangi kandungan logam berat dalam perairan. Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan karbon aktif dari kulit buah naga merah yang teraktivasi NaOH untuk mengadsorpsi logam berat timbal (Pb). Pemilihan NaOH sebagai aktivator sebab larutan tersebut merupakan senyawa basa kuat yang dapat melarutkan pengotor sehingga pori-pori adsorben menjadi lebih terbuka dan luas permukaannya meningkat, sehingga daya serap logam Pb menjadi optimal. Aktivator basa ini juga efektif membuka pori-pori adsorben dan meningkatkan situs aktifnya (Puspitarini et al, 2018). Uji karakteristik gugus fungsi karbon kulit buah naga merah dilakukan sebelum dan setelah teraktivasi NaOH melalui uji FT-IR, lalu dilakukan uji kadar logam timbal (Pb) sebelum dan sesudah dilakukan adsorpsi menggunakan AAS. Selain itu dalam penelitian ini akan mengkaji tentang kinetika

dan isoterm adsorpsi dari logam timbal (Pb) dengan arang hasil dari adsorpsi menggunakan kulit buah naga merah teraktivasi NaOH.

## **B. Batasan Masalah**

Berikut ini merupakan batasan masalah dari banyaknya lingkup yang terdapat dalam penelitian

1. Kulit buah naga merah dengan jenis (*Hylocereus polyrhizus*)
2. Uji karakterisasi karbon aktif meliputi pengujian gugus fungsi sebelum dan sesudah teraktivasi NaOH melalui analisis FT-IR, analisis karakteristik fisik karbon aktif sesudah diaktivasi menggunakan XRD dan analisis kuantitatif larutan ion logam menggunakan AAS
3. Ion logam yang digunakan berasal dari melarutkan  $Pb(NO_3)_2$
4. Variasi pH larutan  $Pb^{2+}$  yang digunakan yaitu 2, 3, 4, 5,
5. Variasi waktu kontak adsorpsi antara karbon aktif dengan larutan ion logam adalah 30, 60, 90, 120, 150 menit
6. Variasi konsentrasi larutan  $Pb^{2+}$  yang akan diuji yaitu 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, 250 ppm, 300 ppm
7. Massa karbon aktif yang digunakan untuk adsorpsi setiap variasi sebesar 0,2 gram

## **C. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik permukaan dan gugus fungsi arang kulit buah naga merah sebelum dan sesudah digunakan sebagai adsorben ion  $Pb^{2+}$  ?
2. Bagaimana pengaruh pH, waktu kontak, dan dosis adsorben berbasis arang kulit buah naga merah secara simultan terhadap efektivitas adsorpsi ion  $Pb^{2+}$  ?
3. Bagaimana analisis isoterm adsorpsi biosorben arang kulit buah naga merah terhadap ion logam  $Pb^{2+}$  ?

## **D. Tujuan Penelitian**

Tujuan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi dan menganalisis karakteristik permukaan dan gugus fungsi arang kulit buah naga merah sebelum dan sesudah proses adsorpsi  $Pb^{2+}$ .
2. Menganalisis pengaruh simultan pH, waktu kontak, dan dosis adsorben berbasis arang kulit buah naga merah terhadap efektivitas adsorpsi ion  $Pb^{2+}$  ,.
3. Menentukan isoterm adsorpsi ion  $Pb^{2+}$  menggunakan biosorben arang kulit buah naga merah.

## **E. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat yaitu:

1. Menawarkan alternatif mengenai potensi pemanfaatan limbah pertanian, khususnya kulit buah naga, sebagai biosorben alternatif yang murah dan ramah lingkungan untuk pengolahan air limbah.
2. Mengetahui persentase efisiensi penyerapan biosorben pada kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) terhadap logam berat timbal  $Pb^{2+}$ .
3. Memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai efektivitas arang kulit buah naga merah sebagai biosorben untuk menghilangkan ion  $Pb^{2+}$  dari air, terutama terkait pengaruh simultan pH, waktu kontak, dan dosis adsorben.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Arang aktif yang dibuat dari kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) dengan aktivasi NaOH memiliki gugus fungsi aktif yang terdiri dari  $\text{-OH}$  ( $\sim 3400\text{ cm}^{-1}$ ),  $\text{C-H}$  ( $\sim 2920\text{ cm}^{-1}$ ),  $\text{C=C}$  aromatik ( $\sim 1600\text{ cm}^{-1}$ ), dan  $\text{C-O}$  ( $\sim 1100\text{ cm}^{-1}$ ). Karakterisasi XRD menunjukkan material memiliki struktur semi-kristalin dengan dominasi fase amorf dan adanya puncak kristalin kalsit pada  $2\theta \approx 29,42^\circ$ .
2. Kondisi optimum adsorpsi ion  $\text{Pb}^{2+}$  oleh arang aktif kulit buah naga merah adalah pada pH 5 dan waktu kontak 90 menit. Pada kondisi ini, efisiensi adsorpsi mencapai 99,83% dengan konsentrasi  $\text{Pb}^{2+}$  sisa sebesar 0,445 ppm (dari konsentrasi awal rata-rata 267,54 ppm). Efisiensi adsorpsi menurun setelah 90 menit, mengindikasikan terjadinya desorpsi.
3. Mekanisme adsorpsi ion  $\text{Pb}^{2+}$  mengikuti model isoterm Langmuir dengan nilai  $R^2 = 0,988$ . Kapasitas adsorpsi maksimum ( $Q_{\text{max}}$ ) arang aktif kulit buah naga merah adalah 185,19 mg/g. Nilai energi adsorpsi sebesar 28,41 kJ/mol menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara kimia (chemisorption) melalui pembentukan ikatan kimia pada situs aktif yang homogen.

#### B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka peneliti memberikan saran kepada peneliti selanjutnya sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan variasi konsentrasi aktivator NaOH yang lebih beragam untuk mendapatkan profil luas permukaan pori yang paling maksimal sehingga dapat lebih meningkatkan kapasitas adsorpsi arang aktif kulit buah naga.
2. Perlu dilakukan pengujian terhadap jenis logam berat lainnya atau limbah cair lain dengan campuran berbagai logam untuk melihat aktivitas arang aktif kulit buah naga dalam menyerap polutan.
3. Karakterisasi lanjutan (BET, SEM-EDX) perlu dilakukan untuk memahami sifat pori dan mekanisme adsorpsi secara lebih mendalam.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afandy, M. A., & Sawali, F. D. I. (2024, Januari). Adsorpsi Kromium Heksavalen Pada Larutan Aqueous Menggunakan Arang Kayu Teraktivasi Asam: Studi Isotherm Dan Kinetika. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 8(1). 10.32493/jitk.v8i1.35315
- Al-Amin, K., et al. (2025). Fourier transform infrared spectroscopic technique for analysis of inorganic materials. *Nanoscale Advances*. <https://doi.org/10.1039/d5na00522a>
- Alfiany, H., & Bahri, S. (2013). Kajian Penggunaan Arang Aktif Tongkol Jagung Sebagai Adsorben Logam Pb Dengan Beberapa Aktivator Asam. *Jurnal Natural Science*, 2(3), 75–86.
- Asbahani (2013) ‘Pemanfaatan limbah ampas tebu sebagai karbon aktif untuk menurunkan kadar besi pada air sumur’, *Jurnal Teknik Sipil UNTAN*, 13(1), pp. 105–114.
- Anugrahwati, M., Indah Fajarwati, F. and Awaln Safitri, R. (2021) ‘ADSORPSI Pb<sup>2+</sup> DARI AIR DENGAN KARBON AKTIF DARI KULIT SALAK PONDOH: KINETIKA DAN ISOTERM ADSORBSI’, *Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(1), pp. 1–11. doi: 10.20885/ijcr.vol6.iss1.art1.
- Anwar, H., Sari, D. K., Djana, M., & Ristanti, D. E. (2025, Januari - Juni). Perbandingan Efektivitas Adsorpsi Ion Logam Timbal (Pb) Menggunakan Biji Buah Durian Teraktivasi NaOH Dan HCl. *Universitas Lampung*, 10(1).
- Aslam, A. A., et al. (2023). Cellulose-based adsorbent materials for water remediation: A review. *Journal of Cleaner Production*
- Asni, N., Saadilah, M. A. and Saleh, D. (2014) ‘Optimasi Sintesis Kitosan dari Cangkang Kepiting Sebagai Adsorben Logam Berat Pb<sup>2+</sup>’, *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 15(1), pp. 18–25.
- Augustia, V. A.S., Syamsurizal, Wibisono, B. R., Wara, F. M. R., & Kusumaningrum, W. B. (2024, Juli). Ekstraksi Antosianin Kulit Buah Naga dan Purifikasi dengan Menggunakan Amberlite IRC 120. *Indonesian Journal of Chemical*, 9(1), 96-102.
- Bagherian, H., Ashtiani, F. Z., Fouladitajar, A., & M, M. (2011). Comparisons between conventional, microwave and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification.*, 50(11-12), 1237-1243.
- Bunu, S. J., et al. (2023). Atomic absorption spectroscopic (AAS) analysis of heavy metals in some selected soft drinks. *Pharmaceutical and Toxicological Journal*.

- Chen, H., et al. (2025). Cryogels based on waste dragon fruit peel pectin for  $Pb^{2+}$  adsorption. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2025.3384>
- Chen, J. P., & Yang, L. (2005). Chemical modification of *Sargassum* sp. for prevention of organic leaching and enhancement of uptake during metal biosorption. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44(25), 9931–9942. <https://doi.org/10.1021/ie050473m>
- Destyorini, F., Suhandi, A., Subhan, A., & Indayaningsih, N. (2010). PENGARUH SUHU KARBONISASI TERHADAP STRUKTUR DAN KONDUKTIVITAS LISTRIK ARANG SERABUT KELAPA. *Jurnal Fisika*, 10(2).
- Dutta, S., et al. (2022). Cellulose: A comprehensive review on structure, properties and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*.
- Gandaningrum, D. (2016). SINTESIS ARANG AKTIF KULIT KACANG TANAH (*Arachis hypogaea* L.) SEBAGAI ADSORBEN DALAM PENURUNAN KADAR ANION SULFIDA DENGAN INTERFERENSI ANION NITRIT. *FMIPA UNNES*.
- Gultom, E. M. and Lubis, M. T. (2014) ‘APLIKASI KARBON AKTIF DARI CANGKANG KELAPA SAWIT DENGAN AKTIVATOR H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> UNTUK PENYERAPAN LOGAM BERAT Cd DAN Pb’, *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(1), p. 5.
- Hafidoh, D. M. (2021). Pembuatan dan karakterisasi karbon aktif dari Bambu menggunakan aktivator HCl sebagai adsorben Timbal (Pb). *SKRIPSI Oleh : DINI MAHYA HAFIDOH, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang*.
- Hanifah, H. N. et al. (2021) ‘Perbandingan Efektivitas Pektin Kulit Durian (*Durio zibethinus* L.) dan Pektin Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata* X *balbisiana* ABB Group) Sebagai Bioadsorben Logam Timbal’, *Chimica et Natura Acta*, 9(2), pp. 81–89. doi: 10.24198/cna.v9.n2.35484.
- Heryani, R. (2016). Pengaruh ekstrak buah naga merah terhadap profil lipid darah tikus putih hiperlipidemia. *Jurnal Ipteks Terapan*, 10(1).
- Hudha, M., & Widyaningsih, T. D. (2015, September). SERBUK EFFERVESCENT BERBASIS EKSTRAK DAUN BELUNTAS (*Pluchea indica* less) SEBAGAI SUMBER ANTIOKSIDAN ALAMI. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 3(4), 1412-1422. <https://doi.org/10.21776/jpa.v3i4.264>
- Ide, P. (2009). *Health Secret of Dragon Fruit*. Jakarta: Gramedia.

- Idrus, R., Lapanporo, B. P. and Putra, Y. S. (2013) 'Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa', *Prisma Fisika*, 1(1), pp. 50–55. Available at: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jpfu/article/view/1422>.
- Ischak, N. I., Fazriani, D., & Botutihe1, D. N. (2021). Ekstraksi dan Karakterisasi Selulosa dari Limbah Kulit Kacang Tanah (*Arachys hypogaea* L.) Sebagai Adsorben Ion Logam Besi. *Jamb. J. Chem*, 3(1), 27-36.
- Issabayeva, G., Aroua, M. K., & Sulaiman, N. M.N. (2005). Removal of heavy metals from wastewater using activated bamboo charcoal adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 123(1-3), 45-52.
- Jamilah, C.E, B. S., Kharidah, M.A, M. D., & A, N. (2011). Physicochemical Characteristics of Red Pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) Peel. *International Food Research Journal*, 18, 279-286.
- Juliyanti, I., Saraswati, M., & Hapsari, E. A. (2024). Uji aktivitas antibakteri ekstrak kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) terhadap bakteri *Staphylococcus epidermidis*. *JOSEPH: Journal of Science and Pharmacy*, 4(1), 49–61.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2023). Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan.
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., & Bohn, A. (2005). Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte Chemie International Edition*, 44(22), 3358–3393.
- Kusumaningrum, D. I. P., Sudarni, D. H. A., & Wahyuningsih, S. (2022, September). Optimasi Pengaruh Waktu Kontak dan Dosis Adsorben Limbah Daun Kayu Putih (*Melaleuca cajuputi*) dengan Metode Isoterm Adsorpsi Langmuir. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 11(2), 72-79. <https://doi.org/10.32734/jtk.v11i2>
- Laos, L. E., Aji, M. P., & Sulhadi. (2016, Oktober). PENGARUH KONSENTRASI KARBON AKTIF KULIT KEMIRI DAN APLIKASINYA TERHADAP PENJERNIHAN LIMBAH CAIR METHYLENE BLUE. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, 5. [doi.org/10.21009/0305020227](https://doi.org/10.21009/0305020227)
- Lestari, D., Pryadi, R., & Siswoyo. (2024). KOH-activated dragon fruit peels for Cd<sup>2+</sup> ions adsorption from water. *Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 8(2), 41-48.

- Marselia, A., & Wahdaningsih, S. (2021). Analisis gugus fungsi dari ekstrak metanol kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) menggunakan FT-IR. *Jurnal Mahasiswa Farmasi Fakultas Kedokteran UNTAN*, 5(1).
- Nafi'ah, R. and Nugraheni, B. (2017) 'Kinetika Adsorpsi Timbal dengan Adsorben Sabut Siwalan Terxanthasi', *Cendekia Journal of Pharmacy*, 1(1), pp. 9–17. doi: 10.31596/cjp.v1i1.2.
- Nurhafisah, N., et al. (2023). Effect of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Novananda, A., Rahmawati, I., Sani, Astuty, D. H., & Suprianti, L. (2020, Oktober). KARBON AKTIF DARI BATUBARA LIGNITE DENGAN PROSES AKTIVASI MENGGUNAKAN HIDROGEN FLOURIDA. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(1).
- Pohan, R. F. (2018). Analisis Vitamin C Dalam Varietas Buah Naga Dengan Spektrofotometri Uv-Vis. *Jurnal LPPM UGN*, 9(1B).
- Puspitarini, R., SN, A. K., & Winarno1, H. (2018). Pengaruh Ukuran Partikel, Zat Aktivator, Waktu Aktivasi Dan Waktu Serap Adsorben Fly Ash Untuk Mendegradasi Logam Timbal (Pb) Pada Air Lindi. *The 7th University Research Colloquium 2018 STIKES PKU Muhammadiyah Surakarta*.
- Putri, M. C., & Purnomo, Y. S. (2024). Analisis Efisiensi Penurunan Kadar Logam Berat Pb dan Cu Menggunakan Adsorben Cangkang Kerang Darah. *Jurnal Serambi Engineering*, IX(4), 11313 - 11319.
- Putri, S. A., Hanavia, M. S., Chrisnandari, R. D., Ningsih,, W., & Azkiya, N. I. (2024). EFEKTIFITAS KARBON AKTIF LIMBAH KULIT KACANG TERMODIFIKASI DENGAN METODE KOPRESIPITASI SEBAGAI ADSORBEN TEMBAGA DAN BESI PADA LIMBAH CAIR ELEKTROPLATING ARTIFICIAL. *Jurnal Teknologi Separasi*, 10(4), 798-811. <https://doi.org/10.33795/distilat.v10i4.6402>
- Rachmawati, S., Bernadetta, P., Mardiyanto, M. B., Fil'ardiani, N. U., Khoirunnisa, S., & Arta, Y. P. A. (2024). Kandungan logam berat besi (Fe) dan timbal (Pb) pada air lindi TPA Putri Cempo, Surakarta. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan*, 8(Ilmu Lingkungan),<https://journal.bkpsl.org/index.php/jplb/article/view/511>
- Rahman, M., et al. (2020). Assessment of essential and potentially toxic elements in dragon fruit. *PubMed*.
- Ramalingam, R. J., et al. (2020). Synthesis of porous activated carbon powder formation from fruit peel. *Biomass and Bioenergy*, 142, 105800.

- Reza, M. A., et al. (2018). Biosorpsi timbal ( $Pb^{2+}$ ) oleh biomassa daun ketapang (pH range: 3-7; optimum pH 5 berdasarkan Freitas et al.). *Molekul*, 13(1), 23-31.
- Rosema, R., Supriyantini, E. and Sedjati, S. (2021) 'Pemanfaatan Kitosan untuk Menurunkan Kadar Logam Pb dalam Perairan yang Tercemar Minyak Bumi', *Buletin Oseanografi Marina*, 10(1), pp. 61–66. doi: 10.14710/buloma.v10i1.31051.
- Sadegh, R., Ali, G. A. M., & Chong, K. F. (2022). Efficient removal of Pb(II) and Cd(II) from aqueous solution using mango seed biosorbent. *Scientific Reports*, 12(1), Article 12345.
- Sahara, E., Sulihingtyas, W. D., & Mahardika, I.P.A. S. (2017, Januari). PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI ARANG AKTIF DARI BATANG TANAMAN GUMITIR (*Tagetes erecta*) YANG DIAKTIVASI DENGAN  $H_3PO_4$ . *JURNAL KIMIA*, 11(1), 1-9.
- Sanjaya, A. S. and Agustine, R. P. (2015) 'STUDI KINETIKA ADSORPSI Pb MENGGUNAKAN ARANG AKTIF DARI KULIT PISANG', *Konversi*, 4(1), p. 17. doi: 10.20527/k.v4i1.261.
- Saputra, S. H., Sampepana, E., & Susanty, A. (2017). Pengaruh Rasio Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*) dan Sukrosa Serta Lama Waktu Osmosis Terhadap Sifat Kimia konsentrat Sari Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*). *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 11(2), 123-130.
- Sari, D. N., Wahdaningsih, S., & Kurniawan, H. (2021). Analisis gugus fungsi ekstrak kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*). *Jurnal Mahasiswa Farmasi Fakultas Kedokteran UNTAN*, 5(1).
- Sembodo, B. S.T. (2006, Juni). Kinetika adsorpsi adalah cabang dari ilmu adsorpsi yang mempelajari laju dan mekanisme perpindahan molekul adsorbat ke permukaan adsorben. Kinetika sangat penting untuk mengetahui efisiensi waktu suatu proses penjerapan. Dengan pemahaman laju adsorpsi, per. *EQUILIBRIUM*, 5(1), 28-33.
- SNI (2009) 'Standar Nasional Indonesia Air dan air limbah-Bagian 8: Cara uji timbal (Pb) dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala Badan Standardisasi Nasional'
- Song, D. Y., et al. (2024). Valorization of biochar and lignin derived from the NaOH pretreatment of biomass. *Biomass and Bioenergy*. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024>.
- Sudirjo, E. (2005). Penentuan Distribusi Benzen Toluene pada Kolom Adsorpsi Fixed Bed Carbon Active. *Jurusan Teknik, Fakultas Teknik*.
- Suksmerri, S. (2008). Dampak pencemaran logam timah hitam (Pb) terhadap kesehatan. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas*.

- Susanti, N., et al. (2020). Pemanfaatan arang aktif dari batang tanaman gunitir sebagai adsorben logam Pb(II). *Cakra Kimia*, 7(2), 45-56. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/cakra/article/view/35993>
- Syafriliansah, M. W., & Purnomo, T. (2022). Kadar logam berat timbal (Pb) tumbuhan akuatik dan air sebagai indikator kualitas air Sungai Brangkal Mojokerto. *LenteraBio*, 11(2), 341–350.
- Syauqiah, I., Amalia, M., & Kartini, H. A. (2011, Juli). ANALISIS VARIASI WAKTU DAN KECEPATAN PENGADUK PADA PROSES ADSORPSI LIMBAH LOGAM BERAT DENGAN ARANG AKTIF. *Info Teknik*, 12(1). [media.neliti.com](http://media.neliti.com)
- Syukur, & Muda, W. (2015). Mengenal buah naga. Jambi: Balai Pelatihan Jambi. Tangio, J. S., 2013, Adsorpsi logam timbal (Pb) dengan menggunakan biomassa enceng gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal Entropi: Inovasi Penelitian, Pendidikan dan Pembelajaran Sains*, 3(1), 500-506.
- Taharuddin, N. H., et al. (2023). Unlocking the potential of lignocellulosic biomass dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel for cellulose and nanocellulose. *Polymers*, 15(12), 2654.
- Talunoe, O., Nurhaeni, & Mirzan, M. (2015). Pemanfaatan Arang Aktif Kulit Kacang Tanah Sebagai Adsorben Besi (Fe) Pada Air Sumur Di Desa Pendolo, Kec. Pamona Selatan, Kab. Poso. *Journal Kovalen*, 1(1), 7-12. [10.22487/j24775398.2015.v1.i1.5096](https://doi.org/10.22487/j24775398.2015.v1.i1.5096)
- Tiara Rahmadini (2016) Modifikasi Kulit Salak Sebagai Absorben Ion Tembaga (II), *Asia-Pacific Development Journal*. Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Timotius, F. C., Setyowati, D. A., & Nurcahyo, S. (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.
- Tondang, H. M., Ekawati, I. G. A., & Wiadnyani, A.A.I. S. (2018). PENGARUH PENAMBAHAN KARAGENAN TERHADAP KARAKTERISTIK FRUIT LEATHER KULIT BUAH NAGA MERAH (*Hylocereus polyrhizus*). *Jurnal ITEPA*, 7(2), 33-42.
- Tran, T. N. D., Tran, T. T., Hoang, B. N., Lam, V. T., & Ngo, T. C. Q. (2024). Synthesis of Activated Carbon from Dragon Fruit Peel for Adsorption of Methyl Blue. *Indonesian Journal of Chemistry*, 24(6), 1602 - 1614.
- Wahdaningsih, S., Nugraha, F., Kurniawan, H., Marselia, A., & Sari, D. N. (2022). Identifikasi Gugus Fungsi Fraksi Etil Asetat dan Fraksi n-Heksan *Hylocereus polyrhizus* (F.A.C.Weber) Britton & Rose. *Jurnal Pharmascience*, 9(1).

- Wahyuni, I., & Fathoni, R. (2019, Juni). Pembuatan Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Variasi Waktu Aktivasi. *Jurnal Chemurgy*, 3.
- Wang, Q., Wang, Y., Yang, Z., Han, W., Yuan, L., Zhang, L., & Huang, X. (2022). Efficient removal of Pb(II) and Cd(II) from aqueous solutions by mango seed biosorbent. *Chemical Engineering Journal Advances*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2022.100295>
- Xu, F., Shi, Y. C., & Wang, D. (2013). X-ray scattering studies of lignocellulosic biomass: A review. *Carbohydrate Polymers*, 94(2), 904–917.
- Yunita Prabawati, S. et al. (2012) ‘Study on the adsorption properties of novelcalix[6]arene polymers for heavy metal cations’, *Indonesian Journal of Chemistry*, 12(1), pp. 28–34. doi: 10.22146/ijc.21368.
- Yustinah, Hasyim, U. H., & AB, S. (2020). *Prosedur Pembuatan Plastik Biodegradabel Dari Kulit Kacang Tanah Dan Kitosan Dengan Plastizicer Gliserol*. JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH JAKARTA.
- Yustinah, Hudzaifah, Aprilia, M., & B, S. A. (2019). KESETIMBANGAN ADSORPSI LOGAM BERAT (Pb) DENGAN ADSORBEN TANAH DIATOMIT SECARA BATCH. *Jurnal Konverensi*, 9(1).