MASALIQ
Jurnal Pendidikan dan Sains

e-ISSN: 2808-8115
p-ISSN: 2809-1051

Terindeks: Sinta 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/masaliq.v6i5.11974

Pemanfaatan Kulit Kakao sebagai Biosorben: *A Review*

Utilization of Cocoa Husks as a Biosorbent: A Review

Fajrul Alif Arifin & Edi Nasra
Universitas Negeri Padang
edinasra@fmipa.unp.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Jul 18, 2026	Aug 15, 2026	Aug 27, 2026	Sep 1, 2026

Abstract

Water pollution caused by heavy metals and dyes from industrial waste has received considerable research attention. However, studies specifically synthesizing the use of cocoa pod husk waste (*Theobroma cacao* L.) as a biosorbent for both pollutant groups remain limited. This study aimed to examine the potential and characteristics of cocoa pod husks as a biosorbent and to identify the conditions affecting the adsorption of heavy metals and dyes. This study employed a qualitative approach with a literature review design encompassing several scholarly articles on adsorption using cocoa pod husks. The findings showed that optimum adsorption conditions were generally achieved at near-neutral solution pH, adsorbate concentrations below 100 ppm, and contact times of less than 100 minutes. Dye adsorption tended to follow the Langmuir isotherm model, whereas heavy metal adsorption was better described by the Freundlich isotherm model. These findings indicate that cocoa pod husks have the potential to serve as a biosorbent in the treatment of water contaminated with heavy metals and dyes. Their adsorption efficiency is primarily affected by solution pH, contact time, and initial adsorbate concentration. This study contributes to the development of natural material-based biosorption technology while supporting the valorization of agricultural waste as a valuable material for wastewater treatment.

Keywords: Adsorption; Biosorbent; Cocoa Pod Husk; Heavy Metals; Dyes

Masaliq Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

Abstrak: Pencemaran air akibat kontaminasi logam berat dan zat warna dari limbah industri telah menjadi perhatian dalam berbagai penelitian. Namun, kajian yang secara khusus menyintesis pemanfaatan limbah kulit kakao (*Theobroma cacao* L.) sebagai biosorben untuk kedua kelompok polutan tersebut masih terbatas. Penelitian ini bertujuan mengkaji potensi dan karakteristik kulit kakao sebagai biosorben serta mengidentifikasi kondisi yang memengaruhi proses adsorpsi logam berat dan zat warna. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain tinjauan literatur yang mencakup sejumlah artikel ilmiah mengenai adsorpsi menggunakan kulit kakao. Hasil kajian menunjukkan bahwa kondisi adsorpsi optimum umumnya dicapai pada pH larutan yang mendekati netral, konsentrasi adsorbat kurang dari 100 ppm, dan waktu kontak kurang dari 100 menit. Proses adsorpsi zat warna cenderung mengikuti model isoterm Langmuir, sedangkan adsorpsi logam berat lebih sesuai dengan model isoterm Freundlich. Temuan ini menunjukkan bahwa kulit kakao berpotensi dimanfaatkan sebagai biosorben dalam pengolahan air yang tercemar logam berat dan zat warna. Efisiensi penyerapannya dipengaruhi terutama oleh pH larutan, waktu kontak, dan konsentrasi awal adsorbat. Penelitian ini berkontribusi terhadap pengembangan teknologi biosorpsi berbasis bahan alam sekaligus mendukung valorisasi limbah pertanian sebagai material yang bernilai guna bagi pengolahan limbah cair.

Kata Kunci: Adsorpsi; Biosorben; Kulit Kakao; Logam Berat; Zat Warna

PENDAHULUAN

Perkembangan industri di Indonesia sangat pesat dan tentunya hal ini akan membawa dampak positif bagi masyarakat. Namun tidak bisa dipungkiri hal ini juga memberikan dampak negatif terutama bagi kesehatan. Pencemaran lingkungan bukan hal yang aneh bagi kita di zaman sekarang, limbah sisa industri seperti logam berat dan zat warna yang dibuang ke badan air tanpa melewati pengolahan justru akan membahayakan kesehatan dan menyebabkan kerusakan terhadap ekosistem sungai (Alfarisi et al., 2024). Logam berat bersifat toksigenik dan persistensi(Vareda et al., 2019). Akumulasi logam berat bagi lingkungan dapat menggangu keseimbangan ekologi, perubahan fisikokimia tanah dan penururunan kesuburan tanah, selain itu juga memberikan dampak serius bagi kesehatan (Handayani et al., 2023). Sama hal nya dengan zat warna yang bersifat persisten dan memiliki struktur aroma kompleks, hal ini menyebabkan zat warna mudah terakumulasi dalam perairan dan berpotensi memberikan dampak terhadap kesehatan(Lestiana et al., 2025). Berikut beberapa dampak zat warna dan logam berat terhadap kesehatan

Tabel 1. Dampak Zat Warna dan Logam Berat terhadap Kesehatan

Adsorbat	Sifat dan Dampak	Referensi
Zat Warna		
Rhodamine B	Bersifat toksisitas tinggi, karsinogenik dan mutagenik yang dapat menyebabkan : - gangguan hati - ginjal - gangguan terhadap sistem saraf - iritasi pada kulit, mata, saluran pencernaan dan pernapasan	(Lestiana et al., 2025),(Tang et al., 2012)
Metilen Biru	Bersifat sulit terurai dan cenderung bertahan dalam lingkungan air, toksisitas yang dapat menyebabkan: - kanker - sianosis - mual dan muntah - sakit kuning - pembekuan sel dara merah - peningkatan detak jantung - iritasi kulit dan mata - diare - pusing - peradangan gastrointestinal	(Mahanthappa et al., 2019),(Oladoye et al., 2022),(Permady & Mustakim, 2024) (Fitriani et al., 2015)
Logam Berat		
Tembaga (Cu)	Bersifat toksisitas tinggi - tembaga dalam tubuh berfungsi mengikat hemoglobin, namun terakumulasi di organ hati dan ginjal yang daat menyebabkan penyakit kurang darah dan TBC	(Zustriani & Aghnia, 2025)
Timbal (Pb)	Bersifat toksik, persisten, dapat menyebabkan: - keracunan, mual, sakit perut - animea - penyakit saraf - gangguan sistem reproduksi, ginjal dan saraf pusat (otak) - menggangu proses pembentukan hemoglobin darah - kecerdasan anak menurun - menghambat pertumbuhan badan - kelumpuhan	(Jadaa & Mohammed, 2023),(Kostova, 2024),(Lestari & Nasra, 2022), (Sharah, 2023)
Seng (Zn)	Bersifat karsinogenik dan toxic dan sangat berbahaya bagi sistem tubuh manusia	(Singh Sankhla et al., 2019)
Besi (Fe)	Bersifat toksik, dapat mengganggu kesehatan manusia,seperti: - keracunan - gangguan pada usus - hingga kematian mendadak	(Wessling-Resnick, 2017)

Beberapa metode telah dilakukan untuk mengurangi zat warna dan logam berat ini diantaranya adsorpsi, elektrolisis, pengendapan, pertukaran ion dengan resin, filtrasi, presipitasi, oksidasi kimia dan berbagai bioteknologi lainya (Nasution et al., 2017),(Dwi et al., 2021) Salah satu metode yang sering digunakan dengan prinsip sederhana dan murah adalah adsorpsi. Adsorpsi atau penyerapan yaitu proses pemisahan komponen tertentu dari suatu fluida berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap yang disebut sebagai adsorben (Atskins, n.d.). Metode adsorpsi ini dinilai sangat efektif untuk limbah dengan konsentrasi rendah ke sedang(Alfarisi et al., 2024). Beberapa penelitian sebelumnya yang telah menggunakan metode adsorpsi terhadap zat warna dan logam berat dari bioadsorben diantaranya yaitu kulit rambutan(Hasanah et al., 2022),(Purwiandono & Haidar, 2022); daun rambutan(Mapiliandari, 2020); batang rambutan (Haryanto et al., 2021); kulit jeruk (Radoor et al., 2025); kulit pisang (Arizpe-Díaz et al., 2025), (S. Wang et al., 2022), (Mohamed et al., 2020), (Din et al., 2025); sabut kelapa (Yurist et al., 2025); biji salak (Ambarwati, R,S, Firyanto Rudi, 2024)

Kakao merupakan komoditi penting bagi indonesia, berdasarkan data Kementrian Pertanian luas areal kakao terdapat sekitar 1.37 juta hektar pada tahun 2024. Hal ini mendorong Indonesia bisa bersaing di tingkat dunia, Indonesia mampu memberikan kontribusi sebesar 12.11% untuk luas areal dan 11.46% untuk produksi yang mampu bersaing dengan Pantai Gading dan Ghana. Namun disamping itu, kakao akan menghasilkan limbah berupa kulit kakao, hal ini tentu menjadi tantangan bagi kita untuk mengolah agar tidak menjadi masalah baru. Kulit kakao mengandung selulosa sebesar 23-54% yang mana ini berpotensi dijadikan sebagai biadsorben. Peneliti terdahulu telah melakukan penelitian terkait adsorpsi dengan kulit kakao, diantaranya :

Tabel 2. Penelitian Relevan

Adsorbat	Hasil	Referensi
Rhodamine B	Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) Kulit buah kakao dapat digunakan sebagai adsorben Rhodamin B (2) Adsorben setelah diaktivasi memiliki karakter lebih baik daripada sebelum diaktivasi. (3) Massa adsorben optimum adalah 0,2 gram dengan daya jerap 94,06%. (4) Waktu kontak optimum adalah 30 menit dengan daya jerap 98,78%. (5) Pola isoterm adsorpsi mengikuti isoterm Langmuir dan Freundlich tetapi cenderung isoterm Langmuir	(Purwiandono & Haidar, 2022)
Naphtol	Hasil yang diperoleh yaitu karakteristik dari adsorben arang aktif kulit buah kakao hasil analisis FTIR menunjukan bahwa adsorben kulit buah kakao teraktivasi HCL mengandung gugus fungsi –OH, C-H, CH2, C-O dan C=C aromatik, hasil analisis SSA diperoleh luas permukaan sebesar 178,10 mm/g, dengan volume pori sebesar	(Nika et al., 2022)

	0,16 cc/g dan ukuran pori sebesar 1,80 nm. Kondisi optimum adsorben arang aktif kulit buah kakao terjadi pada pH 4, waktu kontak 90 menit dan konsentrasi 60 ppm. Kapasitas adsorpsi arang aktif kulit buah kakao dalam mengadsorpsi zat warna naphtol adalah sebesar 5,8651 mg/g. pola isoterm adsorpsi mengikuti isoterm langmuir dengan nilai R2 sebesar 0,8275 dan energi adsorpsi sebesar 25,627905 KJ/mol.	
Metilen Biru	Hasil penelitian menyatakan bahwa isoterm yang sesuai adalah langmuir dengan serapan 37.03mg/g	(Theivarasu et al., 2011)
Metilen Biru	Hasil karakterisasi menunjukkan adanya gugus Hidroksil (-OH), selain itu ukuran pori rata-rata 2.7nm	(Ahmad et al., 2012)
Rhodamine B	Kinetika adsorpsi didapatkan lebih cendrung menggunakan isoterm langmuir, freundlich dengan laju orde kedua semu.	(Theivarasu & Mylsamy, 2010)
Logam Besi (Fe)	Hasil penelitian yang diperoleh yaitu kondisi optimum arang aktif kulit buah kakao pada massa 2 gram, waktu kontak 60 menit yang dilakukan pada pH 7. Kapasitas adsorpsi arang aktif dari kulit buah kakao terhadap Fe(II) adalah sebesar 0,446 mg/g dan mengikuti mekanisme adsorpsi isoterm Freundlich yang ditunjukkan oleh nilai R2 = 0,948.	(Sianipar, L et al., 2016)
Tembaga (Cu)	pH optimum dalam penyerapan logam Cu adalah pH 6, dan waktu kontak 40 menit	(Deritawati et al., 2017)
Timbal (Pb)	Wakktu optimal penyerapan logam Pb yaitu 40 menit dengan persentase 98.547% Sedangkan massa optimum yaitu 0.5 gram dengan persentase 98.715%	(Tolumeko, C et al., 2017)
Krom (Cr)	Kondisi optimum pada pH 6, dengan konsentrasi 750mg/L, waktu kontak 15 menit, massa adsorben 0.1gram.	(Hayati, U & Sawir, 2017)
Nikel (Ni)	Adsorpsi maksimum terhadap ion Ni^{2+} dihitung dengan isoterm langmuir dengan nilai R^2 0.9628 dan 0.9915	(Taylor et al., 2014)
Tembaga (Cu) Krom (Cr)	massa optimum penjerapan ion logam Cu^{2+} dan Cr^{4+} sebesar 0.45 dan 0.6 gram, dengan pH optimum 4. Sedangkan waktu kontak optimum terjadi pada waktu 100 menit untuk ion Cu^{2+} dan 80 menit untuk ion logam Cr^{4+}. Penelitian ini menunjukkan bahwa kapasitas biosorpsi maksimum sebesar 62.5 mg/g untuk Cu dan 8.064 mg/g untuk Cr.	(Adriansyah et al., 2018)

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi komprehensif mengenai pemanfaatan kulit kakao sebagai biosorben, serta menjadi acuan untuk memahami potensi, efektivitas, dan karakteristiknya dalam proses adsorpsi. Selain itu, temuan ini diharapkan dapat menyajikan gambaran menyeluruh mengenai perkembangan penelitian terkait kulit kakao sebagai biosorben, sehingga menjadi landasan bagi peneliti di masa mendatang untuk mengidentifikasi celah penelitian dan mengembangkan studi yang lebih inovatif.

METODE

Penelitian ini dikategorikan sebagai penelitian kualitatif dengan pendekatan systematic riview untuk mengkaji potensi kulit kakao sebagai adsorben dalam mengadsorpsi zat warna atau logam berat. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder berupa artikel jurnal dengan topik fokus adsorpsi yang berasal dari kulit kakao. Sumber literatur diperoleh dari basis data ilmiah yakni *Google Scholar*, *Science Direct*, akademiedu, *publish or perish* dengan mempertimbangkan relevansi topik dan aksebilitas artikel.

Prosedur penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan : perancangan konsep, pengumpulan literatur, seleksi artikel, ekstraksi data, analisis isi, dan penyusunan peninjauan (review). Secara singkat, alur penelitian dimulai dari merumuskan pertanyaan penelitian, menentukan kata kunci, mencari artikel di basis data ilmiah, menyaring artikel berdasarkan judul dan abstrak, mengkategorikan data data, dan analisis data.

Penilaian kualitas artikel berdasarkan kriteria inklusi dan ekslusi. Kriteria inklusi mencakup artikel yang membahas adsorpsi kulit kakao, adsorbat : zat warna; logam berat, parameter adsorpsi. Sedangkan kriteria ekslusi mencakup artikel yang tidak relevan dengan topik, tidak tersedia secara lengkap (*full-text*).

HASIL

Karakterisasi

Beberapa karakterisasi yang dilakukan penelitian sebelumnya yaitu FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*), Spektrometer Uv-Vis, dan SAA (*Surface Area Analyzer*). Setiap karakterisasi memiliki tujuan spesifik, FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada adsorben (Smith, 2011), Spektrometer Uv-Vis bertujuan untuk mengidentifikasi panjang adsorbansi suatu senyawa, sedangkan SAA adalah karakterisasi sampel untuk melihat luas permukaan, volume pori, hingga distribusi pori.

1. FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy)*

FTIR dilakukan sebagai langkah mengidentifikasi gugus fungsi yang terkandung di dalam kulit kakao sehingga berpotensi dijadikan sebagai adsorben seperti yang dijelaskan pada tabel 3.

Tabel 3. FTIR Adsorben Kulit Kakao

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang	Ref
Hidroksil	3410.15cm^{-1}	Purnamawati & Utami (2014)
Hidroksil	3364.39 cm^{-1}	Nika et al., (2022)
Karbonil	1254.41 cm^{-1}	
Hidroksil	3395-3422 cm^{-1}	Taylor et al., (2014)
Carbonil	2343 cm^{-1}	

2. SAA

Melihat ukuran luas permukaan bertujuan untuk menentukan potensi dan mekanisme proses penyerapan. Karakterisasi SSA yang dilakukan mendapatkan hasil bahwa kulit kakao memiliki luas permukaan 178.10 m^2/g, volume pori 0.16 cc/g , dan ukuran pori 1.80 nm (Nika et al., 2022).

Pengaruh konsentrasi dan waktu kontak

Berdasarkan hasil review dari artikel artikel terkait kulit kakao, teridentifikasi terdapat 4 penelitian membahas pengaruh konsentrasi adsorbat terhadap daya serap optimum adsorben. Adapun 4 penelitiannya yakni sebagai berikut:

Tabel 4. Pengaruh Konsentrasi

Adsorbat	Range	Optimum	Ref
Rhodamine B	20, 40, 60, 80 mgL-1	20mg/L	(Theivarasu & Mylsamy, 2010)
Naphtol	20, 40, 60, 80 dan 100 ppm	60 ppm	(Nika et al., 2022)
MB	20;40;60;80 mg/L	80mg/L	(Theivarasu et al., 2011)
Nikel	25,50,75,100,125,150,175,200mg/L	25mg/L	(Taylor et al., 2014)
Cr(IV)	10;50;100;250;500;750	750mg/L	(Hayati, U & Sawir, 2017)

Pengaruh waktu kontak berfungsi untuk menentukan waktu optimal dalam proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung. Terdapat 8 peneliti yang membahas terkait waktu kontak ini, yang dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Pengaruh Waktu Kontak

Adsorbat	Range	Optimum	Ref
Rhodamine B	10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit	30 menit	(Purnamawati & Utami, 2014)
Naphtol	30, 60, 90, 120 dan 150 menit.	90 menit	(Nika et al., 2022)
Logam Pb	30, 40, 50 dan 60 menit	40 menit	(Theivarasu et al., 2011)
Logam Cu	10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit	50 menit	(Deritawati et al., 2017)
Logam Cr	15;30;90;120 menit	15 menit	(Hayati, U & Sawir, 2017)

Logam Fe	30,60,90,120	60menit	(Sianipar, L et al., 2016)
Logam Cu Cr	20, 40, 60, 80, 100	Cu: 100 menit, Cr: 80 menit	(Adriansyah et al., 2018)
Logam Nikel	20,40,60,80,100	60 menit	(Taylor et al., 2014)

Pengaruh massa adsorben

Penentuan masa adsorben optimum juga salah satu yang dilakukan dalam topik adsorpsi, hal ini tentu memiliki orelasi terhadap daya serap adsorban terhadap adsorbat. Beberapa penelitian terhadap massa adsorben dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Pengaruh Massa Adsorben

Adsorbat	Range	Optimum	Ref
Rhodamine B	0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; dan 0,30	0.2g	(Purnamawati & Utami, 2014)
Metilen Biru	0.2;0,4;0.6;0.8;1	1 g	(Theivarasu et al., 2011)
Nikel	10,20,30,40,50 mg	30mg	(Taylor et al., 2014)
Cu dan Cr	0,30, 0,45, 0,6, dan 0,75	Cu: 0.45g Cr: 0.6g	(Adriansyah et al., 2018)
Fe(III)	0.5;1;1.5;2;2.5;3;3.5	2g	(Sianipar, L et al., 2016)
Cr	0,1;0,3;0,6;0,9 gram	0.1g	(Hayati, U & Sawir, 2017)
Timbal (Pb)	0 gram, 0,5 gram, 1 gram dan 1,5 gram	0.5g	(Tolumeko, C et al., 2017)

Pengaruh pH

Tabel 7. Pengaruh pH

Adsorbat	Range	Optimum	Ref
MB	1-14	7	(Theivarasu et al., 2011)
MB	2-12	6	(Ahmad et al., 2012)
Naphtol	4,5,6,7,8	4	(Nika et al., 2022)
Logam	3,6,9,12	6	(Deritawati et al., 2017)
Cr	3,4,5,6,7	6	(Hayati, U & Sawir, 2017)
Nikel	2-10	6	(Taylor et al., 2014)
Cu Cr	3-7	4	(Adriansyah et al., 2018)
Fe	2-10	7	(Sianipar, L et al., 2016)

Isoterm

Tabel 8. Isotherm adsorpsi

Adsorbat	Isoterm	Hasil	R^2	Ref
Naphtol	LM, FM	LM	0.8275	(Nika et al., 2022)
Rhodamine B	LM, FM	LM	0.962	(Purnamawati & Utami, 2014)
Pb	LM, FM	LM	0.988	(Tolumeko, C et al., 2017)
MB	LM, FM, TM	LM	0.995	(Theivarasu et al., 2011)
Nikel	LM. FM, TM	LM	0.9628	(Taylor et al., 2014)
Fe	LM, FM	FM	0.948	(Sianipar, L et al., 2016)
Cu,	LM, FM	FM	0.988	(Adriansyah et al., 2018)
Cr	LM, FM	LM	0.992	(Adriansyah et al., 2018)
MB	LM, FM, TM	FM	0.97	(Ahmad et al., 2012)

LM = Langmuir , FM = freundlich TM=Temkin

PEMBAHASAN

Karakterisasi

Beberapa karakterisasi yang dilakukan penelitian sebelumnya yaitu FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*), Spektrometer Uv-Vis, dan SAA (*Surface Area Analyzer*). Setiap karakterisasi memiliki tujuan spesifik, FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada adsorben (Smith, 2011), Spektrometer Uv-Vis bertujuan untuk mengidentifikasi panjang adsorbansi suatu senyawa, sedangkan SAA adalah karakterisasi sampel untuk melihat luas permukaan, volume pori, hingga distribusi pori.

1. FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy)*

Gugus fungsi tertentu menentukan suatu adsorbat dapat dijadikan sebagai adsorben, dengan adanya gugus fungsi itu sehingga proses adsorpsi dapat berjalan dengan baik untuk zat warna ataupun logam berat. Berdasarkan penelitian terdahulu dijelaskan bahwa gugus hidroksil (-OH) dan karboksil (C=O) adalah gugus yang berperan penting dalam adsorpsi. Hal ini didukung oleh beberapa penelitian diantaranya adsorben kulit durian (Ulya et al., 2022), ampas teh (Asiah et al., 2022) dan Rambutan (Rahmadani et al., 2023), berdasarkan penelitian tersebut terdeteksi adanya gugus OH dan CO.

Hal tersebut juga sejalan dengan karakterisasi terhadap kulit kakao yang terlihat pada tabel 3, berdasarkan penelitian Purnamawati & Utami (2014) yang telah melakukan

karakterisasi didapatkan hasil bahwa adanya gugus hidroksil (-OH) pada bilangan gelombang 3410.15cm^{-1} dengan intensitas gugus 14.97 dan terdapat peningkatan intensitas menjadi 26.96 untuk kulit kakao yang telah dilakukan aktivasi dengan HNO_3. Hasil sama didapatkan juga pada penelitian Nika et al., (2022) yang juga melakukan karakterisasi FTIR, terindikasi adanya gugus hidroksil dan karboksil, gugus O-H pada bilangan gelombang 3364.39 cm^{-1}, sedangkan gugus C-O terdapat pada bilangan gelombang 1254.41 sampai 1094.33. Begitu juga dengan penelitian Taylor et al., (2014) yang juga menemukan adanya gugus hidroksil dan karbonil pada bilangan gelombang secara berturut-turut adalah 3395-3422 cm^{-1} dan 2343 cm^{-1} . Hasil penelitian tersebut menunjukkan keberadaan gugus hidroksil (-OH) dapat berkontribusi dalam proses adsorpsi. Hal ini diperkuat penelitian sebelum dengan adsorben rambutan bahwa gugus hidroksil dan karbonil adalah komponen yang penting dalam adsorpsi (Rahmadani et al., 2023)

2. SAA

Melihat ukuran luas permukaan bertujuan untuk menentukan potensi dan mekanisme proses penyerapan. Karakterisasi SSA yang dilakukan mendapatkan hasil bahwa kulit kakao memiliki luas permukaan 178.10 m^2/g, volume pori 0.16 cc/g , dan ukuran pori 1.80 nm (Nika et al., 2022). Merujuk pada klasifikasi ukuran pori menurut IUPAC, kulit kakao ini tergolong ukuran mikropori, yaitu < 2nm. Luas permukaan akan semakin besar apabila ukuran partikel adsorben semakin kecil. Tipe mikropori menunjukan bahwa dalam proses adsorpsi partikel adsorbat akan menempel disekitar dinding adsorben sehingga membentuk ikatan yang kuat (Sugesti, 2018).

Pengaruh konsentrasi dan waktu kontak

Konsentrasi optimum adalah konsentrasi dengan penyerapan optimum terhadap adsorbat. Namun ada kondisi titik jenuh, ketika telah mencapai kondisi optimum, daya adsorpsi akan mengalami penurunan, hal ini disebabkan oleh situs aktif yang terdapat pada adsorben jenuh dalam mengadsorpsi sehingga pada konsentrasi setelah optimum jumlah penyerapan akan mengalami tren penurunan (Nika et al., 2022). Hal ini relevan dengan penelitian (Theivarasu et al., 2011) bahwa konsentrasi berbanding terbalik dengan daya serap adsorbat. Semakin meningkat konsentrasi maka semakin kecil persentase serapan, hal ini dikarenakan berkurangnya situs aktif adsorben. Hal yang sama juga terjadi pada (Taylor et al., 2014) muncul tititik jenuh, sehingga terdeteksi penurunan secara drastis. Berdasarkan

tabel 4, dapat kita lihat kondisi optimum umumnya berada pada konsentrasi kurang dari 100ppm. Namun untuk adsorbat Cr (IV) konsentrasi optimum adalah 750mg/L hal ini karena disaat konsentrasi rendah tidak terjad penyerapan signifikan, ketika konsentrasi tinggi ion logam mulai berkompetisi berikatan dengan adsorben, sehingga di konsentrasi inilah optimum penyerapan terhadap adsorbatnya(Hayati, U & Sawir, 2017).

Pengaruh waktu kontak berfungsi untuk menentukan waktu optimal dalam proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung. Waktu kontak berbanding lurus dengan kapasitas adsorpsi, dan akan mencapai titik optimal. Tabel 5 menunjukkan untuk adsorbat logam berat dan zat warna, waktu kontak yang dibutuhkan untuk mencapai titik optimum yakni kurang dari 100 menit. Penelitian (Hayati, U & Sawir, 2017) waktu kontak optimal hanya 15 menit hal ini disebabkan adanya perbedaan konsentrasi yang digunakan, adapun konsnetrasi yang digunakan peneliti adalah 750mg/L, sehingga waktu yang dibutuhkan relatif lebih singkat. Berdasarkan waktu kontak ini, setelah kondisi optimum maka penyerapan akan berkurang, hal ini berkaitan dengan situs aktif, semakin lama waktu kontak maka semakin sedikit situs aktif yang tersisa sehingga muncul titik kejenuhan.

Pengaruh massa adsorben

Penentuan masa adsorben optimum adalah untuk melihat massa yang efisien dalam proses penyerapan adsorbat. Sama halnya dengan waktu kontak massa adsorben juga berkaitan dengan sisi aktif, dan memiliki titik jenuh. Massa adsorben optimal adalah dimana serapan terbanyak terhadap polutan. Massa adsorben berbanding lurus dengan jumlah partikel dan luas permukaan adsorben, jika massa adsorben semakin banyak maka semakin banyak juga jumlah partikel dan luas permukaan, sehingga ketersediaan sisi aktif semkain banyak dan meningkatkan nilai efisiensi untuk proses adsorpsi (Sianipar, L et al., 2016) (Saniyyah, 2014). Namun massa juga memiliki titik jenuh yang menyebabkan terjadinya penurunan efesiensi penjerapan (Munagapati et al., 2010). Sisi lain penurunan efesiensi biosorpsi ini juga bisa disebabkan oleh karena terjadinya gumpalan-gumpalan pada biosorben sehingga akan mengurangi luas dari permukaan dari biosorben tersebut (Saueprasea et al., 2010).

Pengaruh pH

Derajat keasaman (pH) terbagi atas 3 yaitu larutan sifat asam, basa dan netral. Ketika konsentrasi ion H^+ lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi ion OH^- larutan bersifat

asam dengan pH kecil dari 7, sedangkan ketika konsentrasi ion H^+ lebih kecil dibandingkan konsentrasi ion OH^- larutan bersifat basa pH besar dari 7, dan larutan bersifat netral ketika konsentrasi ion H^+ sama dengan konsentrasi ion OH^- (Jespersen.N.D, 2012). Derajat keasaman (pH) berpengaruh terhadap proses adsorpsi. Berdasarkan tabel 7. pH optimum terjadi ketika rentang pH bukan asam kuat dan basa kuat, akan tetapi, mendekati rentang pH netral, hal ini terjadi karena sifat asam tentunya akan mempengaruhi jumlah ion H^+ sehingga untuk zat warna yang kationik nantinya akan bersaing dengan gugus H^+ untuk situs adsorpsi (Ahmad et al., 2012). Begitu juga dengan larutan bersifat basa akan mempengaruhi konsentrasi ion OH^- yang ada, sehingga ini akan berpengaruh dimana terjadi kompetisi dengan lignin untuk berinteraksi dengan logam tembaga (Cu)(Deritawati et al., 2017) sebagaimana reaksi sebagai berikut:

$$Cu^{2+} + OH^- \rightarrow Cu(OH)_2 \text{ [terbentuk endapan]}$$

$$Fe^{2+} + 2HCl \rightarrow Fe^{2+} + 2Cl^- + H_2 \quad \text{(suasana asam)}$$

$$Fe^{2+} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2 \text{ (suasana basa, endapan besi (II) hidroksida)}$$

(Sianipar, L et al., 2016)

Sehingga pH netral lebih efektif dalam proses penyerapan. Hal ini terintrepetasi dari tabel 7, dimana pH optimal dari penelitian tersebut pH 6-7. Sedangkan pH basa akan terjadi penurunan pada efisiensi biosorpsi. Hal ini disebabkan karena adanya penurunan kelarutan ion logam sehingga memungkinkan terjadinya pengendapan (J. Wang & Chen, 2006)

Isoterm

Isoterm bertujuan untuk melihat bagaimana interaksi yang terjadi apakah secara kimia atau fisika. Isoterm yang biasa digunakan dalam penelitian adalah isoterm langmuir dan freundlich. Isoterm adsorbsi Langmuir menunjukkan bahwa proses adsorbsi yang terjadi adalah jenis adsorpsi kimia sedangkan isoterm adsorbsi Freundlich menunjukkan bahwa adsorbsi terjadi secara fisika. Interaksi adsorpsi dikatakan efesien dan efektif ketika nilai R^2 antara 0 dan 1 dalam artian mendekati angka 1(Eze et al., 2019). Berdasarkan tabel 8, umumnya adsorbat zat warna mengikuti isoterm langmuir, sedangkan logam berat cenderung mengikuti isoterm freundlich.

KESIMPULAN

Kakao (*Theobroma cacao L*)merupakan komoditi terbesar di Indonesia dan berpotensi menjadi masalah baru yaitu sampah kulit kakao. Namun adanya beberapa gugus senyawa kimia sehingga berpotensi dijadikan sebagai adsorben baik untuk logam berat maupun zat warna. Berdasarkan hasil karakterisasi FTIR, kulit kakao terdapat gugus hidroksil (-OH) dan karbonil (-C=O), gugus ini yang mempengaruhi adsorpsi. Efesiensi penyerapan adsorpsi kulit kakao ini dilihat dari beberapa faktor yaitu konsentrasi, waktu kontak, pH, massa adsorben dan isoterm. Berdasarkan hasil review Konsentrasi optimum yang diperoleh adalah kurang dari 100 ppm, sedangkan untuk waktu kontak juga kurang dari 100 menit. pH optimum larutan adalah pH mendekati netral dengan interaksi adsorpsi langmuir untuk adsorbat zat warna, dan isoterm freundlich adsorbat logam berat.

DAFTAR PUSTAKA

Adriansyah, R., Restiasih, E. N., & Meileza, N. (2018). Biosorpsi ion logam berat Cu(II) dan Cr(VI) menggunakan biosorben kulit kopi terxanthasi. *Alotrop, 2*(2), 114–121. https://doi.org/10.33369/atp.v2i2.7478

Ahmad, F., Daud, W. M. A. W., Ahmad, M. A., & Radzi, R. (2012). Cocoa (*Theobroma cacao*) shell-based activated carbon by CO_2 activation in removing cationic dye from aqueous solution: Kinetics and equilibrium studies. *Chemical Engineering Research and Design, 90*(10), 1480–1490. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2012.01.017

Al'farisi, C. D., Irianty, R. S., Damanik, G. A., & Herman, S. (2024). Efektivitas adsorpsi logam berat Fe(II) menggunakan arang aktif batang bambu (*Bambusoideae*) teraktivasi NaOH. *Journal of Bioprocess, Chemical and Environmental Engineering Science, 5*(2), 60–68. https://doi.org/10.31258/jbchees.5.2.60-68

Arizpe-Díaz, D. O., Gama-Lara, S. A., Roa-Morales, G., Vilchis-Néstor, A. R., Parada-Flores, A., & Balderas-Hernández, P. (2025). Evaluation of cadmium removal in an aqueous solution by biosorption in a batch system with banana, peanut, and orange husks. *Environments, 12*(4), Article 97. https://doi.org/10.3390/environments12040097

Atkins, P. W. (1999). *Kimia fisika* (I. I. Kartohadiprodjo, Trans.; 4th ed., Vol. 1). Erlangga.

Deritawati, Waliyadin, Rasyid, R., & Nurjannah. (2017). Pemanfaatan lignin dari limbah kulit buah coklat sebagai adsorben logam Cu dengan penambahan $CaCO_3$. *Journal of Chemical Process Engineering, 2*(2), 33–40. https://doi.org/10.33536/jcpe.v2i2.889

Eze, S. I., Akpomie, K. G., Ezeofor, C. C., Osunkunle, A. A., Maduekwe, O. B., & Okenyeka, O. U. (2019). Isotherm and kinetic evaluation of *Dialium guineense* seed husk and its modified derivative as efficient sorbent for crude oil polluted water treatment. *Water Conservation Science and Engineering, 4*(1), 21–31. https://doi.org/10.1007/s41101-019-00065-6

Fitriani, D., Oktiarni, D., & Lusiana. (2015). Pemanfaatan kulit pisang sebagai adsorben zat warna methylene blue. *Jurnal Gradien, 11*(2), 1091–1095.

Handayani, C. O., Sukarjo, S., Zu'amah, H., & Dewi, T. (2023). Penilaian status dan risiko ekologi cemaran logam berat di lahan pertanian Kota Malang, Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Ilmu Lingkungan, 22*(1), 60–68. https://doi.org/10.14710/jil.22.1.60-68

Haryanto, B., Manik, K., Lumbangaol, A. K., Turmuzi, M., & Misran, E. (2021). Utilization of charcoal rambutan (*Nephelium* sp.) adsorbent to remove dissolved copper(II) by natural batch operation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 782*(2), Article 022041. https://doi.org/10.1088/1755-1315/782/2/022041

Hasanah, M., Juleanti, N., Priambodo, A., Arsyad, F. S., Lesbani, A., & Mohadi, R. (2022). Utilization of rambutan peel as a potential adsorbent for the adsorption of malachite green, procion red, and Congo red dyes. *Ecological Engineering & Environmental Technology, 23*(3), 148–157. https://doi.org/10.12912/27197050/147449

Hayati, U. P., & Sawir, H. (2017). Pemanfaatan limbah kulit buah kakao sebagai adsorben untuk penyerapan ion logam kromium(VI) pada limbah elektroplating di Bukittinggi. *Jurnal Sains dan Teknologi: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknologi Industri, 17*(1), 36–42. https://doi.org/10.36275/stsp.v17i1.63

Herawati, & Mapiliandari, I. (2020). Potensi daun rambutan Binjai (*Nephelium lappaceum*) sebagai biosorben logam Pb dalam limbah cair. *Warta AKAB, 44*(1), 38–42. https://doi.org/10.55075/wa.v44i1.118

Jadaa, W., & Mohammed, H. K. (2023). Heavy metals—Definition, natural and anthropogenic sources of releasing into ecosystems, toxicity, and removal methods—An overview study. *Journal of Ecological Engineering, 24*(6), 249–271. https://doi.org/10.12911/22998993/162955

Jespersen, N. D., Brady, J. E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The molecular nature of matter* (6th ed.). Wiley.

Kalaivani, S. S., Vidhyadevi, T., Murugesan, A., Baskaralingam, P., Anuradha, C. D., Ravikumar, L., & Sivanesan, S. (2015). Equilibrium and kinetic studies on the adsorption of Ni(II) ion from an aqueous solution using activated carbon prepared from *Theobroma cacao* (cocoa) shell. *Desalination and Water Treatment, 54*(6), 1629–1641. https://doi.org/10.1080/19443994.2014.888678

Karunia, A., & Bintang Aghnia, T. (2025). Efektivitas cangkang telur teraktivasi asam dan basa untuk adsorpsi logam tembaga (Cu) pada limbah cair laboratorium. *Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia dan Terapannya, 7*(1), 32–39. https://doi.org/10.36526/jc.v7i1.4612

Kostova, I. (2024). Survey of main group metals and metalloids in cancer treatment. *Inorganics, 12*(1), Article 29. https://doi.org/10.3390/inorganics12010029

Lestari, D., & Nasra, E. (2022). Sintesis karbon aktif kulit durian serta penyerapannya terhadap logam berat Pb(II) dengan metode batch. *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP, 11*(2), 50–55. https://doi.org/10.24036/p.v11i2.113363

Lestari, R. A. S., Firyanto, R., & Sitompul, H. (2024). Uji daya adsorpsi adsorben arang biji salak untuk menjerap methylen blue. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia, 9*(1), 1–8. https://doi.org/10.31942/inteka.v9i1.10174

Mahanthappa, M., Kottam, N., & Yellappa, S. (2019). Enhanced photocatalytic degradation of methylene blue dye using CuS–CdS nanocomposite under visible light irradiation. *Applied Surface Science, 475*, 828–838. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.12.178

Mohamed, R. M., Hashim, N., Abdullah, S., Abdullah, N., Mohamed, A., Daud, M. A. A., & Muzakkar, K. F. A. (2020). Adsorption of heavy metals on banana peel bioadsorbent. *Journal of Physics: Conference Series, 1532*(1), Article 012014. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1532/1/012014

Munagapati, V. S., Yarramuthi, V., Nadavala, S. K., Alla, S. R., & Abburi, K. (2010). Biosorption of Cu(II), Cd(II), and Pb(II) by *Acacia leucocephala* bark powder: Kinetics, equilibrium, and thermodynamics. *Chemical Engineering Journal, 157*(2–3), 357–365. https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.11.015

Nadhirah, Z. N. A., Manisah, M. R., Nabihah, A., Norazlina, H., & Suhaila, A. (2022). Evaluation of process parameters on treated banana peel bioadsorbent for heavy metals removal. *Journal of Physics: Conference Series, 2266*(1), Article 012005. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2266/1/012005

Nasution, H. I., & Silaban, S. (2017). Analisis logam berat Pb dan Cd dalam air sumur di sekitar lokasi pembuangan sampah akhir. *Jurnal ITEKIMA, 1*(1), 17–24.

Nika, N. S., Gauru, I., Kadang, L., & Lulan, T. Y. K. (2022). Adsorpsi zat warna naphtol menggunakan adsorben kulit buah kakao (*Theobroma cacao* L.). *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya, 7*(1), 101–108. https://doi.org/10.35508/fisa.v7i1.7142

Nurhasni, Hendrawati, & Saniyyah, N. (2014). Sekam padi untuk menyerap ion logam tembaga dan timbal dalam air limbah. *Jurnal Kimia Valensi, 4*(1), 36–44. https://doi.org/10.15408/jkv.v4i1.1074

Oladoye, P. O., Ajiboye, T. O., Omotola, E. O., & Oyewola, O. J. (2022). Methylene blue dye: Toxicity and potential elimination technology from wastewater. *Results in Engineering, 16*, Article 100678. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100678

Permady, M. W. E., & Mustakim, Z. (2024). Adsorption of methylene blue dyes using palm kernel shells as adsorbent. *Jurnal Integrasi Proses dan Lingkungan, 1*(2), 47–54. https://doi.org/10.30587/jipl.v1i2.7130

Purnamawati, H., & Utami, B. (2014). Pemanfaatan limbah kulit buah kakao (*Theobroma cocoa* L.) sebagai adsorben zat warna Rhodamin B. *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika, 5*(1), 12–18.

Purwiandono, G., & Haidar, A. S. (2022). Studi adsorpsi logam Pb(II) menggunakan adsorben kulit rambutan teraktivasi HNO_3 dan NaOH. *Indonesian Journal of Chemical Research, 7*(1), 8–16. https://doi.org/10.20885/ijcr.vol7.iss1.art2

Radoor, S., Jayakumar, A., Shivanna, J. M., Karayil, J., Kim, J. T., & Siengchin, S. (2025). Adsorptive removal of crystal violet from aqueous solution by bioadsorbent. *Biomass Conversion and Biorefinery, 15*(2), 2431–2442. https://doi.org/10.1007/s13399-023-05079-8

Rahmadani, S., Putra, R. Z., Sari, T. K., & Away, R. D. Y. (2023). Utilization of *Nephelium lappaceum* (rambutan) waste as biosorbent for heavy metals and dyes: A review. *Journal of Natural Sciences and Mathematics Research, 9*(2), 77–90. https://doi.org/10.21580/jnsmr.2023.9.2.16929

Rahayu, N. A. I., Sylvia, N., Bahri, S., Meriatna, M., & Muarif, A. (2022). Adsorpsi zat warna methylene blue menggunakan adsorben dari ampas teh pada kolom. *Chemical Engineering Journal Storage, 2*(2), 75–86. https://doi.org/10.29103/cejs.v2i2.7030

Rha Hayu, L. D., Nasra, E., Azhar, M., & Etika, S. B. (2022). Adsorpsi zat warna methylene blue menggunakan karbon aktif dari kulit durian (*Durio zibethinus* Murr.). *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP, 11*(1), 8–13. https://doi.org/10.24036/p.v11i1.113349

Sankhla, M. S., Kumar, R., & Prasad, L. (2019). Zinc impurity in drinking water and its toxic effect on human health. *Indian Internet Journal of Forensic Medicine & Toxicology, 17*(4), 84–87. https://doi.org/10.5958/0974-4487.2019.00015.4

Saueprasea, P., Nuanjaraen, M., & Chinlapa, M. (2010). Biosorption of lead (Pb^{2+}) by *Luffa cylindrica* fiber. *Environmental Research Journal, 4*(1), 157–166. https://doi.org/10.3923/erj.2010.157.166

Sembiring, D. L., Andre, M., & Wijaya, C. (2025). Analisis kinetika adsorpsi zat warna Rhodamin B menggunakan hidroksiapatit hasil kalsinasi tulang sapi Lombok yang diaktivasi oleh Na_2CO_3. *Pure Chemistry Research, 1*(2), 39–44. https://doi.org/10.70716/purechem.v1i2.353

Sharah, M. A. (2023). Adsorpsi logam Pb dengan menggunakan biji kelor sebagai adsorben. *Jurnal Kridatama Sains dan Teknologi, 5*(2), 495–505. https://doi.org/10.53863/kst.v5i02.1000

Sianipar, L. D., Zaharah, T. A., & Syahbanu, I. (2016). Adsorpsi Fe(II) dengan arang kulit buah kakao (*Theobroma cacao* L.) teraktivasi asam klorida. *Jurnal Kimia Khatulistiwa, 5*(2), 50–59. https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jkkmipa/article/view/14899

Siswanti, Dopinsa, R. Y. K., & Anggraita, D. (2025). Adsorption of Rhodamine B by coconut shell activated carbon. *Eksergi, 22*(3), 192–200. https://doi.org/10.31315/eksergi.v22i3.15698

Smith, B. C. (2011). *Fundamentals of Fourier transform infrared spectroscopy* (2nd ed.). CRC Press.

Sugesti, U. (2018). *Pembuatan dan karakterisasi ZnO/karbon aktif tempurung kelapa sawit teraktivasi $ZnCl_2$ menggunakan metode hidrotermal untuk penjerapan fenol* [Undergraduate thesis, Universitas Islam Indonesia]. UII Repository. https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/6455

Tang, S. K., Teng, T. T., Alkarkhi, A. F. M., & Li, Z. (2012). Sonocatalytic degradation of Rhodamine B in aqueous solution in the presence of TiO_2-coated activated carbon. *APCBEE Procedia, 1*, 110–115. https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.03.019

Theivarasu, C., & Mylsamy, S. (2010). Equilibrium and kinetic adsorption studies of Rhodamine-B from aqueous solutions using cocoa (*Theobroma cacao*) shell as a new adsorbent. *International Journal of Engineering Science and Technology, 2*(11), 6284–6292.

Theivarasu, C., Mylsamy, S., & Sivakumar, N. (2011). Cocoa shell as adsorbent for the removal of methylene blue from aqueous solution: Kinetic and equilibrium study. *Universal Journal of Environmental Research and Technology, 1*(1), 70–78.

Tolumeko, C. L., Sesa, E., & Darwis, D. (2017). Penentuan waktu kontak optimum dan massa optimum arang aktif kulit kakao sebagai adsorben ion timbal (Pb). *Gravitasi, 16*(1). https://doi.org/10.22487/gravitasi.v16i1.9466

Ud Din, S., Al-Ahmary, K. M., AlMohamadi, H., Al-Mhyawi, S. R., Alrashood, J. S., Ngueagni, P., & Ofudje, E. (2025). Low-cost and sustainable bioadsorbent from banana peel waste for crystal violet dye removal. *BioResources, 20*(4), 10640–10664. https://doi.org/10.15376/biores.20.4.10640-10664

Ulya, A., Nasra, E., Amran, A., & Kurniawati, D. (2022). Adsorpsi zat warna Rhodamine B dengan karbon aktif kulit durian sebagai adsorben. *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP, 11*(2), 74–77. https://doi.org/10.24036/p.v11i2.113371

Vareda, J. P., Valente, A. J. M., & Durães, L. (2019). Assessment of heavy metal pollution from anthropogenic activities and remediation strategies: A review. *Journal of Environmental Management, 246*, 101–118. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.126

Wang, J., & Chen, C. (2006). Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: A review. *Biotechnology Advances, 24*(5), 427–451. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.03.001

Wessling-Resnick, M. (2017). Excess iron: Considerations related to development and early growth. *The American Journal of Clinical Nutrition, 106*(Suppl. 6), 1600S–1605S. https://doi.org/10.3945/ajcn.117.155879