

Pemanfaatan Limbah Cangkang Kakao (*Theobroma Kakao L.*) yang Telah Ditarik Zat Warnanya Sebagai Adsorben Fosfat

Hutri Puspita Sari¹, Aster Rahayu^{1*}, Dhias Cahya Hakika¹, Lacynta Brelian Atmaja¹, Novia Mariska²

¹Departemen Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Jl. Jend. Ahmad Yani, Banguntapan, Bantul, D. I. Yogyakarta, 55166, Indonesia

²Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Jl. Jend. Ahmad Yani, Banguntapan, Bantul, D.I. Yogyakarta, 55166, Indonesia

*Corresponding Author: aster.rahayu@che.uad.ac.id

ABSTRAK

Kakao merupakan salah satu komoditas ekspor utama Indonesia, berkontribusi 12,7% dari total produksi kakao dunia. Cangkang kakao (*Theobroma cacao L.*), yang umumnya dianggap sebagai limbah, mengalami peningkatan produksi yang juga menghasilkan banyak limbah, cangkang kakao yang mencapai 75% dari total berat buah, yang dapat menimbulkan masalah lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Cangkang kakao dengan serat kasar yang tinggi dan kadar abu yang rendah serta sebagian besar terdiri dari selulosa dan lignin. Ion fosfat (PO_4^{3-}) merupakan salah satu polutan yang sering ditemukan dalam lingkungan, terutama akibat penggunaan pupuk berlebihan dan limbah industri. Keberadaan ion fosfat yang tinggi dalam ekosistem dapat menyebabkan eutrofikasi, yaitu peningkatan pertumbuhan alga yang berlebihan di perairan, yang pada gilirannya mengurangi kadar oksigen dan membahayakan kehidupan akuatik. Cangkang kakao memiliki potensi sebagai adsorben untuk penyerapan ion fosfat (PO_4^{3-}) dalam larutan. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi cangkang kakao yang telah dimodifikasi sebagai adsorben ion fosfat, serta untuk memberikan solusi terhadap masalah pencemaran fosfat di lingkungan. Variasi waktu kontak, dan konsentrasi larutan fosfat dievaluasi untuk menentukan kondisi optimal penyerapan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu kontak terbaik adalah 30 menit dengan kapasitas penyerapan mencapai 0,3963 mg/g dan persentase terserap 52,83%. Konsentrasi fosfat optimal ditemukan pada 25 ppm, di mana kapasitas penyerapan meningkat hingga 1,1201 mg/g dan persentase terserap mencapai 89,61%. Peningkatan waktu kontak di luar batas optimal justru menyebabkan penurunan efisiensi penyerapan akibat desorpsi. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa polimer cangkang kakao dapat dimanfaatkan secara efektif sebagai adsorben untuk pengendalian fosfat dalam lingkungan, memberikan solusi terhadap pencemaran sekaligus menambah nilai ekonomis limbah kakao.

Kata kunci: Adsorben; Cangkang kakao; Fosfat; Konsentrasi; Waktu kontak.

ABSTRACT

Cacao is one of Indonesia's main export commodities, contributing 12.7% of the world's total cacao production. Cocoa shells (Cocoa shells (*Theobroma kakao L.*), which are generally considered as waste, have increased production which also produces a lot of waste, cocoa shells reaching 75% of the total weight of the fruit, which can cause environmental problems if not managed properly. Cocoa shells with high crude fiber and low ash content and mostly consist of cellulose and lignin. Phosphate ions (PO_4^{3-}) are one of the pollutants that are often found in the environment, especially due to excessive use of fertilizers and industrial waste. The presence of high phosphate ions in the ecosystem can cause eutrophication, which is an increase in excessive algae growth in waters, which in turn reduces oxygen levels and endangers aquatic life. Cocoa shells have the potential as an adsorbent for the absorption of phosphate ions (PO_4^{3-}) in solution. So this study aims to explore the potential of modified cocoa shells as phosphate ion adsorbents, as well as to provide solutions to the problem of phosphate pollution in the environment. Variations in contact time, and phosphate solution concentration were evaluated to determine the optimal absorption conditions. The results showed that the best contact time was 30 minutes with an absorption capacity reaching 0.3963 mg/g and an adsorbed percentage of 52.83%. The optimal phosphate concentration was found at 25 ppm, where the absorption capacity increased to

1.1201 mg/g and the adsorbed percentage reached 89.61%. Increasing the contact time beyond the optimal limit actually caused a decrease in absorption efficiency due to desorption. Overall, this study proves that kakao shell polymers can be effectively utilized as adsorbents for phosphate control in the environment, providing a solution to pollution while increasing the economic value of kakao waste.

Keyword: Adsorbent; Cocoa shell; Phosphate; Concentration; Contact time.

1. PENDAHULUAN

Kakao (*Theobroma kakao* L.) adalah tanaman perkebunan penting di Indonesia yang berkontribusi besar terhadap perekonomian nasional, terutama dalam penyediaan lapangan kerja, sumber pendapatan, dan devisa negara (Aini et al., 2024). Kakao menjadi komoditas ekspor perkebunan terbesar keempat setelah minyak sawit, karet, dan kopi (Nawang et al., 2021). Kakao merupakan salah satu komoditas ekspor utama Indonesia, berkontribusi 12,7% dari total produksi kakao dunia. Selama dekade terakhir, produksi kakao tahunan Indonesia rata-rata sekitar 683 kiloton (Rahayu et al., 2023). Namun, peningkatan produksi kakao ini juga menghasilkan banyak limbah, khususnya cangkang kakao yang mencapai 75% dari total berat buah, yang dapat menimbulkan masalah lingkungan jika tidak dikelola dengan baik (Nurfahma et al., 2021). Cangkang kakao dengan serat kasar yang tinggi dan kadar abu yang rendah serta sebagian besar terdiri dari selulosa dan lignin (Ahmed et al., 2018; Juwita et al., 2009).

Meskipun sering kali dianggap sebagai limbah, cangkang kakao memiliki potensi yang signifikan untuk dimanfaatkan, terutama dalam bidang lingkungan. Salah satu pemanfaatan yang menarik adalah sebagai adsorben untuk ion fosfat (Aini et al., 2022). Ion fosfat (PO_4^{3-}) merupakan salah satu polutan yang sering ditemukan dalam lingkungan, terutama akibat penggunaan pupuk berlebihan dan limbah industri (Mahfudz et al., 2022). Keberadaan ion fosfat yang tinggi dalam ekosistem dapat menyebabkan eutrofikasi, yaitu peningkatan pertumbuhan alga yang berlebihan di perairan, yang pada gilirannya mengurangi kadar oksigen dan membahayakan kehidupan akuatik (Sutamihardja et al., 2018).

Namun hal tersebut dapat ditanggulangi dengan menggunakan berbagai metode yang telah ada pada penelitian-penelitian sebelumnya (Basri et al., 2015; Bujawati et al., 2014) diantaranya yaitu adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif kulit buah kakao. Adsorpsi dengan karbon aktif merupakan metode yang banyak digunakan untuk pemurnian air dan mengurangi kesadahan air, karena strukturnya yang berpori dan mempunyai luas permukaan yang besar sehingga mempunyai kapasitas adsorpsi yang tinggi (Lubis et al., 2020).

Oleh karena itu, pengendalian kadar fosfat dalam lingkungan sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem. Penelitian menunjukkan bahwa dengan modifikasi tertentu, cangkang kakao dapat digunakan untuk menyerap ion fosfat dari larutan (Amrillah et al., 2023). Proses ini tidak hanya membantu mengurangi pencemaran fosfat, tetapi juga memberikan nilai tambah ekonomi bagi limbah yang sebelumnya tidak terpakai. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi cangkang kakao yang telah dimodifikasi sebagai adsorben ion fosfat, serta untuk memberikan solusi terhadap masalah pencemaran fosfat di lingkungan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu cangkang kakao yang diperoleh Gunung Kidul, Yogyakarta. Adapun bahan kimia yang digunakan berupa larutan baku fosfat, HCL 1N, methanol, hexan, aquadest, indikator poliprotik potensiometri (PP), asam sulfat 5N, kalium antimonil 0,274%, amonium molibdat 4% dan asam askarbonat 1,76% yang masing-masing diperoleh dari toko bahan kimia di Yogyakarta.

2.2. Alat

Rangkaian alat yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 1. diantaranya: gelas beaker, *magnetic stirrer*, *hot plate*, gelas ukur, baskom, pengaduk kaca, timbangan analitik, erlenmeyer, pipet tetes, pipet ukur, corong kaca, labu ukur, kertas saring, kaca arlogi, propipet, oven dan spektrofotometri UV-Vis yang digunakan untuk mengukur absorbansi larutan.

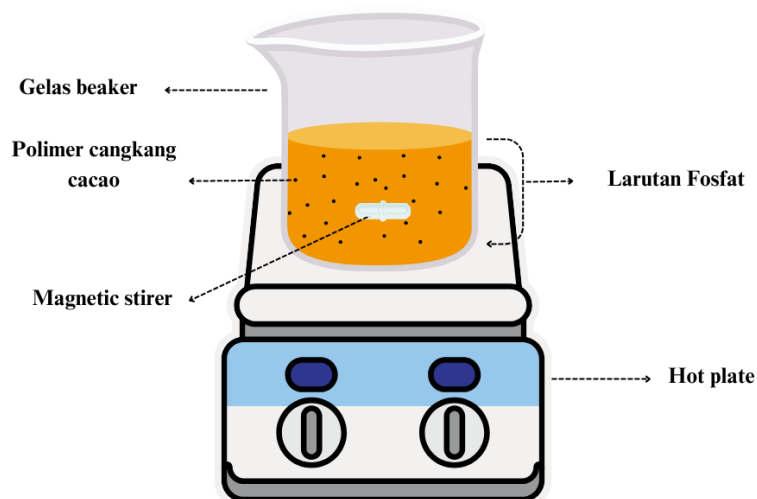
2.3. Prosedur Penelitian

Pembuatan Polimer Cangkang Kakao

Cangkang kakao dibersihkan dan dibilas dengan HCl 1N, kemudian dihaluskan dan direndam dalam metanol dan heksana selama 24 jam untuk mengekstrak zat warna. Setelah disaring, filtrat disimpan dalam botol kaca gelap. Cangkang kakao halus didiamkan pada suhu ruang selama 72 jam, lalu dioven pada 70°C selama 24 jam. Polimer cangkang kakao siap digunakan sebagai adsorben untuk larutan fosfat.

Proses Adsorpsi Larutan Fosfat Dengan Polimer Cangkang Kakao

Variasi waktu kontak dan konsentrasi larutan fosfat dilakukan untuk menguji kemampuan polimer cangkang kakao untuk menghilangkan ion fosfat dari larutan fosfat. Proses adsorpsi ditunjukkan pada gambar 1. dengan menggunakan 0,5 gr massa adsorben dengan larutan adsorbat 25 mL yang konsentrasinya divariasikan mulai 10 sampai 25 ppm, kemudian dilakukan pengadukan dengan variasi mulai dari 10 sampai 120 menit pada suhu 25°C, kemudian disaring. Mengambil 5 ml filtrat kemudian ditambahkan 25 ml aquadest dan 1 tetes indikator pp. Selanjutnya tambahkan 8 ml larutan campuran yang terbuat dari aquadest, kalium antimonil 0,274%, aluminium molibdat 4%, dan asam askorbat 1,76% sebelum dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada 880 nm.



Gambar 1. Proses adsorpsi larutan fosfat menggunakan polimer cangkang kakao.

Analisis Kapasitas Penyerapan Fosfat

Kapasitas penyerapan adalah jumlah maksimum adsorbat yang dapat diserap oleh adsorben pada kondisi tertentu (Aini et al., 2022). Kapasitas penyerapan dapat dihitung menggunakan persamaan 1.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{w} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan:

q_e = kapasitas penyerapan (mg/gr)

C_0	= konsentrasi awal (mg/L)
C_e	= konsentrasi kesetimbangan (mg/L)
W	= massa adsorben (gr)
V	= volume larutan (L)

Analisis Persentase Terserap (%)

Persentase terserap (%) adalah persentase adsorbat yang berhasil dihilangkan dari larutan awal oleh adsorben selama proses adsorpsi (Rahayu et al., 2023). Rumus untuk menghitung persentase terserap (%) dapat menggunakan persamaan 2.

$$\% \text{ Terserap} = \frac{C_0 - C_e \times 100\%}{C_0} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan:

% Terserap = persentase terserap (%)

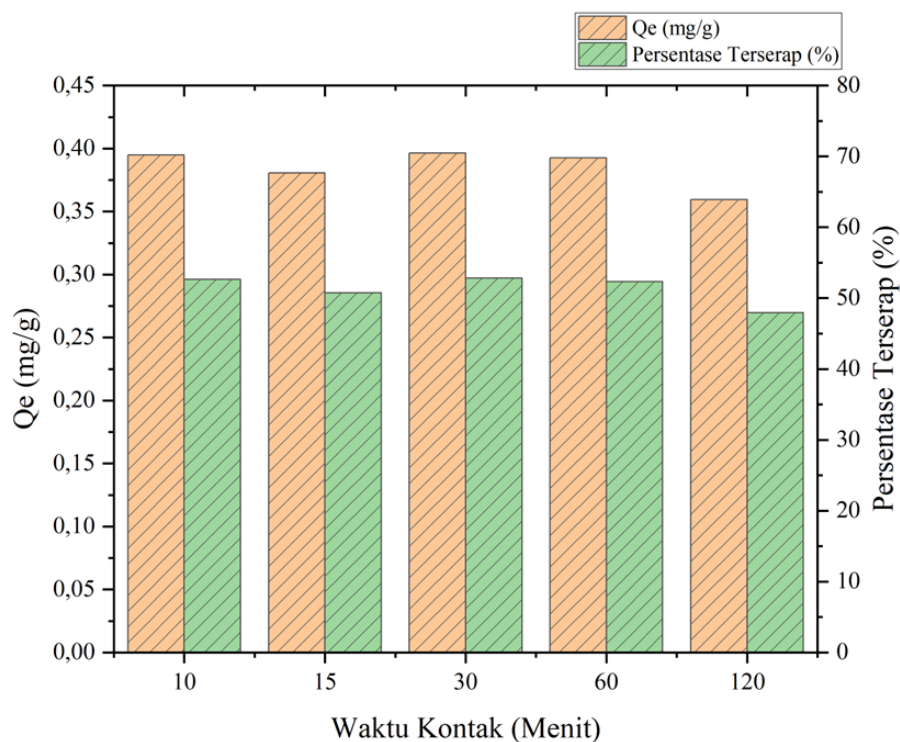
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Variasi Waktu Kontak Terhadap Kapasitas Penyerapan dan Persentase Terserap

Setelah mengetahui massa adsorben yang paling optimal yaitu 0,1 gr, maka dilakukan variasi pada waktu kontak. Variasi waktu kontak dilakukan pada 5 titik yaitu 10 menit, 15 menit, 30 menit, 60 menit dan 120 menit dengan menggunakan konsentrasi larutan fosfat 15 ppm pada suhu 25°C. Variasi waktu kontak dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kapasitas penyerapan dan persentase terserap fosfat menggunakan adsorben polimer cangkang kakao. Hasil variasi waktu kontak ditampilkan pada gambar 2.

Berdasarkan gambar 2, waktu kontak antara polimer cangkang kakao dan larutan fosfat mempengaruhi kapasitas penyerapan (Q_e) dan persentase fosfat terserap. Pada awalnya, peningkatan waktu kontak hingga 30 menit menghasilkan nilai Q_e yang relatif stabil, dengan kapasitas penyerapan tertinggi pada menit ke-30 sebesar 0,3963 mg/g dan persentase terserap mencapai 52,83%. Namun, setelah 60 dan 120 menit, terjadi sedikit penurunan nilai Q_e menjadi 0,3925 mg/g dan 0,3594 mg/g, disertai penurunan persentase terserap masing-masing menjadi 52,33% dan 47,93%.

Penurunan kapasitas penyerapan dan persentase terserap pada waktu kontak yang lebih lama dapat disebabkan desorpsi, dimana sebagian fosfat dari permukaan adsorben setelah mencapai titik jenuh atau keseimbangan, sehingga molekul fosfat yang sudah terjerap terlepas kembali ke larutan (Sahendra et al., 2021). Selain itu, pada waktu kontak yang terlalu lama, pergerakan partikel adsorbat dan adsorben bisa menjadi kurang efektif, menyebabkan tidak ada peningkatan signifikan pada penyerapan (Purwitasari et al., 2022). Hasil ini menunjukkan bahwa penyerapan fosfat oleh polimer cangkang kakao mencapai titik optimal dalam waktu 30 menit, dan perpanjangan waktu kontak di luar rentang ini tidak meningkatkan efisiensi penyerapan.



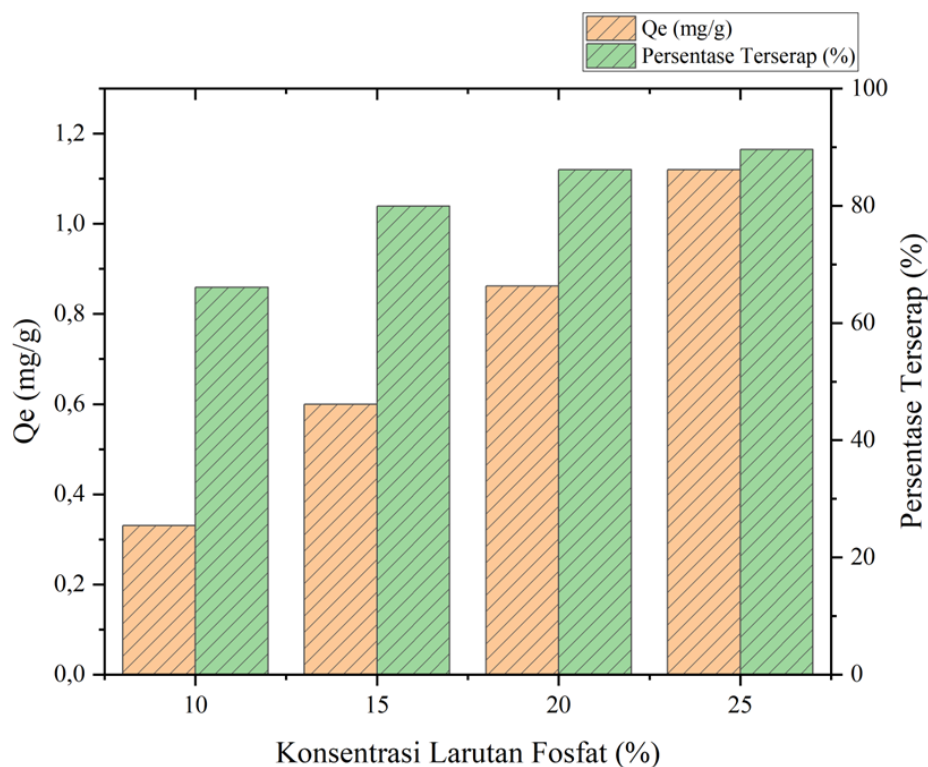
Gambar 2. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan dan persentase terserap fosfat.

3.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan Fosfat Terhadap Kapasitas Penyerapan dan Persentase Terserap

Setelah diketahui massa adsorben dan waktu kontak yang paling optimal, maka dilakukan variasi pada konsentrasi larutan fosfat. Konsentrasi larutan fosfat dilakukan pada 4 variasi yaitu 10 ppm, 15 ppm, 20 ppm dan 25 ppm dengan menggunakan massa adsorbem optimal yaitu 0,1 gr dan waktu kontak optimal yaitu 30 menit pada suhu 25°C. Variasi konsentrasi larutan fosfat dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kapasitas penyerapan dan persentase terserap fosfat menggunakan adsorben polimer cangkang kakao. Hasil variasi konsentrasi larutan fosfat ditampilkan pada gambar 3.

Berdasarkan gambar 3, peningkatan konsentrasi larutan fosfat berpengaruh signifikan terhadap kapasitas penyerapan (Q_e) dan persentase fosfat terserap menggunakan polimer cangkang kakao. Pada konsentrasi 10 ppm, kapasitas penyerapan mencapai 0,3306 mg/g dengan persentase terserap sebesar 66,12%. Seiring dengan meningkatnya konsentrasi hingga 25 ppm, kapasitas penyerapan terus meningkat, dengan nilai tertinggi sebesar 1,1201 mg/g dan persentase terserap mencapai 89,61%.

Peningkatan kapasitas penyerapan ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi fosfat yang lebih tinggi, terdapat lebih banyak molekul fosfat yang tersedia untuk menempati situs aktif pada permukaan adsorben, sehingga penyerapan menjadi lebih efisien (Aini et al., 2023; Mahfudz et al., 2022). Selain itu, tingginya ketersediaan fosfat dalam larutan mengurangi kemungkinan desorpsi atau pelepasan fosfat dari permukaan adsorben.



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi larutan fosfat terhadap kapasitas penyerapan dan persentase terserap fosfat.

Persentase fosfat terserap juga mengalami kenaikan seiring peningkatan konsentrasi, namun kenaikan ini cenderung melambat pada konsentrasi yang lebih tinggi. Hal ini menandakan bahwa pada titik tertentu, adsorben mulai mendekati kapasitas jenuh, di mana semua situs aktif telah hampir terisi (Rahayu et al., 2023; Veranica et al., 2024). Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi larutan fosfat dapat meningkatkan efisiensi penyerapan hingga batas tertentu, namun akan ada titik jenuh di mana penambahan konsentrasi lebih lanjut tidak akan memberikan peningkatan signifikan.

4. KESIMPULAN

Polimer cangkang kakao terbukti dapat digunakan sebagai adsorben untuk menyerap fosfat dari larutan. Waktu kontak, dan konsentrasi larutan fosfat berpengaruh signifikan terhadap kapasitas penyerapan dan persentase fosfat yang terserap. Waktu kontak terbaik adalah 30 menit, setelah itu kapasitas penyerapan menurun karena kemungkinan desorpsi dan berkurangnya efektivitas interaksi. Selain itu, peningkatan konsentrasi larutan fosfat hingga 25 ppm meningkatkan kapasitas penyerapan dan persentase terserap secara signifikan, meskipun laju peningkatannya melambat pada konsentrasi tinggi karena mendekati titik jenuh. Kombinasi waktu kontak 30 menit dan konsentrasi 25 ppm menghasilkan penyerapan fosfat yang paling optimal dengan kapasitas penyerapan sebesar 1,1201 mg/g dan persentase terserap mencapai 89,61%. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa polimer cangkang kakao dapat dimanfaatkan secara efektif sebagai adsorben untuk pengendalian fosfat dalam lingkungan, memberikan solusi terhadap pencemaran sekaligus menambah nilai ekonomis limbah kakao.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, P. M., Pajot, H. F., De Figueroa, L. I. C., & Gusils, C. H. (2018). *Sustainable Bioremediation Of Sugarcane Vinasse Using Autochthonous Macrofungi*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 5177–5185. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.08.007>
- Aini, N., Mufandi, I., Jamilatun, S., & Rahayu, A. (2023). *Exploring Kakao Husk Waste – Surface Modification, Characterization, and its Potential for Removing Phosphate and Nitrate Ions*. *Journal of Ecological Engineering*, 24(12), 282–292. <https://doi.org/10.12911/22998993/174003>
- Aini, N., Rahayu, A., & Jamilatun, S. (2022). Potensial Biosorben Dalam Removal Fosfat Dengan Metode Adsorpsi: a Review. *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, 23–28. <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit>
- Aini, N., Rahayu, A., Jamilatun, S., & Mufandi, I. (2024). *A Case Study On Functional Polymer Modification Of Kakao Husk For Enhanced Removal Of Nitrate And Phosphate From Vinasse Waste*. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10(June), 100814. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100814>
- Amrillah, N. A. Z., Hanum, F. F., Rahayu, A., Hapsari, A. B., & Nuraini, N. (2024). Potential Utilization of Cocoa Waste from Gunung Kidul Cocoa Fermentation Center: The Influence of NaOCl in Cellulose Extraction from Cocoa Pod Husk. *Agroindustrial Technology Journal*, 8(1), 10-19.
- Basri, Syahrul; Hamzah, E. (2015). Studi Eksperimen : Efektivitas Kemampuan Tanaman Jeringau (*Acorus calamus*) untuk Menurunkan Kadar Logam Berat di Air. *Higiene : Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 1(1), 49–59. <http://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/higiene/article/view/1218>
- Bujawati, E., Rusmin, M., & Basri, S. (2014). Pengaruh Ketebalan Arang Tempurung Kelapa Terhadap Tingkat Kesadahan Air Di Wilayah Kerja Puskesmas Sudu Kabupaten Enrekang Tahun 2013. *Jurnal Kesehatan*, 7(1), 332–345.
- Juwita, A. I., Ahmad, I., Bujawati, E., & Basri, S. (2009). Efektifitas Penggunaan Arang Limbah Kulit Kakao (*Theobroma kakao* L.) untuk Menurunkan Kesadahan, Salinitas dan Senyawa Organik Air. *Higiene*.
- Lubis, R. A. F., Nasution, H. I., & Zubir, M. (2020). Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water Purification. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST)*, 3(2), 67. <https://doi.org/10.24114/ijcst.v3i2.19531>
- Mahfudz, L. I. L., Setiawan, A., & Ramadani, T. A. (2022). Penyisihan Fosfat dengan Metode Kombinasi Elektrokoagulasi dan. 5(2623), 30–34.
- Nawang Sari, K., & Ari Wibowo, D. (2021). sebagai Pupuk Organik untuk Meningkatkan Kesuburan Tanah. *Warta Pusat Penelitian Kopi Dan Kakao Indonesia*, 25–30.
- Nurfahma, N., Rosdiana, R., & Adami, A. (2021). Pemanfaatan Kulit Buah Kakao sebagai Media Adsorpsi Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada Air Sumur. *Jurnal Teluk: Teknik Lingkungan UM Kendari*, 1(1), 8–13. <https://doi.org/10.51454/teluk.v1i1.498>
- Purwitasari, D. G., Tussania, R., & Fathoni, R. (2022). Adsorpsi Logam Kadmium (Cd) Pada Kadmium Sulfat (Cdso₄) Menggunakan Batang Pohon Pisang Sebagai Adsorben. *Jurnal Chemurgy*, 6(1), 52. <https://doi.org/10.30872/cmng.v6i1.7905>
- Rahayu, A., Hakika, D. C., Amrillah, N. A. Z., & Veranica, V. (2023). *Synthesis And Characterization Of Ammonium Polymer For Anion Removal In Aqueous Solutions*. *Polimery/Polymers*, 68(10),

537–543. <https://doi.org/10.14314/polimery.2023.10.3>

Rahayu, A., Jamilatun, S., Amrillah, N. A. Z., Nuraini, N., & Mulyadi, I. (2023). *Removal of Ion Nitrate and Phospate Using Cocoa Shell Skin Modified With Functional Polymer*. *Elkawnie*, 9(2), 308–323. <https://doi.org/10.22373/ekw.v9i2.18260>

Sahendra, S. L., Hamsyah, R. A., & Sa'diyah, K. (2021). Pengolahan Limbah Cair Pabrik Gula Menggunakan Adsorben dari Kotoran Sapi dan Ampas Tebu. *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, 4(1), 31. <https://doi.org/10.25273/cheesa.v4i1.8416.31-38>

Sutamihardja, R., Azizah, M., & Hardini, Y. (2018). Studi Dinamika Senyawa Fosfat Dalam Kualitas Air Sungai Ciliwung Hulu Kota Bogor. *Jurnal Sains Natural*, 8(1), 43. <https://doi.org/10.31938/jsn.v8i1.114>

Veranica, Rahayu, A., Maryudi, Hakika, Dhias, C., Lim, Lee, W., & Anggresani, L. (2024). *Isotherm Adsorption Of Ion Phosphate From Vinasse Waste Using Quaternary Ammonium Polymer As Adsorbent*. 14, 91–97.