

PENGARUS WAKTU KONTAK ADSORPSI BIOCHAR TERHADAP PENYERAPAN ION FOSFAT DALAM AIR LIMBAH SINTETIS

Fransiskus Vebrian Kenedy, I Made Nada, I Gusti Ngurah Made Wiratama,
I Made Wahyu Wijaya

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Mahasaraswati Denpasar
Email: wijaya@unmas.ac.id

ABSTRAK: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui waktu kontak adsorpsi biochar terhadap senyawa fosfat dalam air limbah sintetis. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental di laboratorium. Air limbah sintetis dengan konsentrasi ion K_2HPO_4 yaitu 45 mg/L diuji menggunakan adsorben biochar dari sampah organik. Hasil uji fosfat dengan variabel waktu menunjukkan penurunan konsentrasi terjadi pada waktu kontak 60 menit sampai 120 menit dengan konsentrasi fosfat tercatat berada di 155,191 mg/L. Sedangkan penyisihan fosfat tertinggi tercapai pada waktu 20 menit dengan nilai 46,63 mg/L (23,32%) dan massa teradsorpsi 9,326 mg/g.

Kata kunci: Kapasitas Adsorpsi, Biochar, Fosfat, Air Limbah Sintetis.

ABSTRACT: This study aims to determine the contact time for biochar adsorption of phosphate compounds in synthetic wastewater. The research was conducted using experimental methods in the laboratory. Synthetic wastewater with a K_2HPO_4 ion concentration of 45 mg/L was tested using biochar adsorbent derived from organic waste. Phosphate testing with varying time intervals showed a decrease in concentration occurring between 60 to 120 minutes, with the recorded phosphate concentration at 155.191 mg/L. The highest phosphate removal was achieved at 20 minutes with a value of 46.63 mg/L (23.32%), and the adsorbed mass was 9.326 mg/g.

Keywords: Adsorption capacity, biochar, phosphate, synthetic wastewater.

PENDAHULUAN

Fosfat adalah parameter penting untuk memantau polusi dan kualitas air karena bisa terlarut atau terikat pada padatan tersuspensi dalam air limbah. Secara kimia fosfat (PO_4^{3-}) terdiri dari satu atom fosforus yang terikat pada empat atom oksigen. Sumbernya berasal dari aktivitas manusia seperti penggunaan deterjen, industri, dan pertanian (Mara & Pearson, 1998).

Berbagai teknologi telah diterapkan dalam penurunan fosfat dalam air seperti proses deaminasi biologis (Espinosa-Ortiz, *et al.*, 2016; Glazko, *et al.*, 2001) serta proses fisikokimia lainnya. Selain itu terdapat proses yang digunakan untuk memperoleh kembali fosfor dari air limbah yaitu pengendapan (Chen, *et al.*, 2018), metode kristalisasi (Cui, *et al.*, 2016; Zhang, *et al.*, 2018), metode pertukaran ion (Mosa, *et al.*, 2018), dan metode adsorpsi (Cao, *et al.*, 2018; Jafari, *et al.*, 2018).

Proses adsorpsi senyawa fosfat (PO_4^{3-}) dalam air limbah melibatkan penyerapan fosfat oleh permukaan material adsorben yang secara efektif mengurangi konsentrasi fosfat dalam air limbah (Langmuir, 1918). Adsorben sendiri

merupakan bahan yang memiliki karakteristik khusus yang memungkinkannya untuk menyerap zat dari larutan atau gas (Langmuir, 1918). Adsorpsi terjadi ketika senyawa fosfat diikat oleh permukaan material adsorben melalui interaksi fisika atau kimia antara ion fosfat dan permukaan material tersebut (Langmuir, 1918).

Kandungan fosfat yang tinggi dalam air limbah dapat memiliki dampak serius terhadap lingkungan terutama pada ekosistem perairan. Eutrofikasi, atau peningkatan kadar nutrisi dalam air, merupakan salah satu dampak utama dari peningkatan kandungan fosfat dalam air limbah. Proses ini dapat mengakibatkan pertumbuhan alga yang berlebihan, yang pada gilirannya dapat menyebabkan berbagai masalah ekologis.

Penelitian ini menguji pengaruh variasi massa biochar terhadap penyerapan fosfat dalam air limbah sintetis. Biochar, yang dihasilkan dari sampah sisa upakara dan kulit durian, diproses melalui pirolisis pada suhu 400 °C hingga 700 °C, lalu dihaluskan dan diaktivasi dengan ion Mg^{2+} . Pengujian dilakukan untuk menentukan bagaimana perubahan jumlah biochar memengaruhi

kemampuan penyerapan fosfat dan untuk mengevaluasi pengaruh waktu kontak terhadap efektivitas adsorpsi. Analisis dilakukan untuk menemukan waktu kontak yang paling efisien dalam menghilangkan fosfat.

Adsorben (Biochar)

Adsorben adalah bahan atau material yang memiliki kemampuan untuk menyerap atau mengikat zat-zat tertentu dari larutan atau udara. Mekanisme penyerapan ini dapat terjadi secara fisik maupun kimiawi, dimana molekul-molekul zat yang akan diserap akan terperangkap atau terikat pada permukaan adsorben. Penggunaan adsorben umumnya didasarkan pada afinitas tinggi permukaannya terhadap molekul-molekul target yang kemudian akan diikat pada struktur adsorben tersebut. Misalnya karbon aktif, zeolit, silika gel, dan beberapa bahan alami seperti sekam padi atau serbuk kayu yang telah diaktivasi, semuanya dapat bertindak sebagai adsorben. Faktor-faktor seperti sifat fisik dan kimia adsorben, serta karakteristik zat yang akan diserap, akan memengaruhi efisiensi proses adsorpsi ini (Foo & Hameed, 2010).

Keberhasilan dalam penggunaan adsorben terutama tergantung pada kapasitas adsorpsi, kecepatan penyerapan, dan kemampuan untuk meregenerasi adsorben kembali setelah jenuh dengan zat yang diserap. Studi-studi ilmiah telah dilakukan untuk memahami dan memodelkan sistem adsorpsi dengan lebih baik termasuk pemahaman tentang isoterm adsorpsi yang menjelaskan hubungan antara konsentrasi zat terlarut dan jumlah zat yang diserap oleh adsorben.

Waktu Kontak Adsorpsi

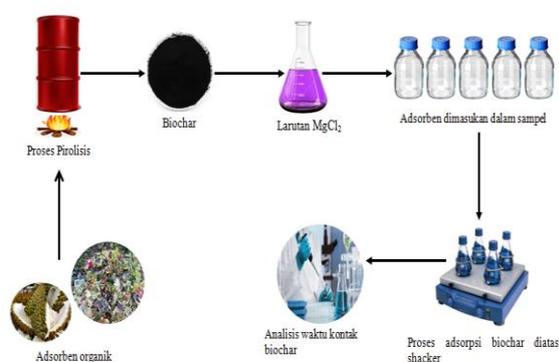
Ketika arang aktif ditambahkan ke dalam suatu cairan, diperlukan waktu tertentu untuk mencapai kondisi kesetimbangan. Waktu yang diperlukan ini berkorelasi terbalik dengan jumlah arang yang digunakan semakin banyak arang yang digunakan, semakin cepat kesetimbangan tercapai. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Zaini dkk pada tahun 2016, mereka meneliti penghilangan Pb (III) dari air limbah laboratorium kimia menggunakan sistem kolom dengan bioadsorben yang terbuat dari kulit kacang tanah. Mereka menguji variasi waktu kontak mulai dari 0 menit hingga 240 menit dengan interval tertentu yaitu 0, 5, 10, 15, 20, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, dan 240 menit.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu optimal untuk penyerapan Pb (III) terjadi pada 240 menit, dengan kapasitas adsorpsi sebesar 2,893%. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu kontak dalam proses adsorpsi, semakin besar peluang bagi zat yang akan disisihkan untuk mencapai kesetimbangan, karena kontak antara zat terlarut dengan bioadsorben menjadi lebih maksimal. Hal ini menunjukkan pentingnya durasi waktu dalam proses adsorpsi untuk meningkatkan efektivitas penghilangan kontaminan dari larutan.

METODE PENELITIAN

1. Pendekatan dan Jenis Penelitian

Dalam konteks metode eksperimen kuantitatif kegiatan penelitian dimulai dilakukan melalui 3 (tiga) tahapan yaitu tahap persiapan (dimulai dari studi literatur terkait analisis waktu kontak adsorpsi biochar), tahapan pelaksanaan (tahapan pengumpulan data sekunder dan data primer) serta tahapan penyelesaian (analisis hasil waktu kontak adsorpsi biochar terhadap senyawa fosfat (PO_4^{3-}) dalam air limbah sintesis). Ilustrasi eksperimen penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Tahapan Eksperimen Pada Penelitian

Pengumpulan data yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu uji adsorpsi fosfat pada uji fosfat dengan variabel waktu.

2. Pengumpulan Data

a. Uji aktivasi $MgCl^{2+}$

Sebanyak 1 kg biochar yang diperoleh dari sisa upakara dan kulit buah durian dipersiapkan untuk penelitian ini. Biochar tersebut diproduksi melalui proses pirolisis, di

mana bahan organik dari sisa upakara dan kulit durian dipanaskan dalam kondisi tanpa oksigen pada suhu berkisar antara 400 °C hingga 700 °C. Proses pirolisis ini menghasilkan biochar dengan karakteristik porositas dan luas permukaan yang tinggi, yang esensial untuk meningkatkan efektivitas adsorpsi.

Setelah proses pirolisis, biochar yang dihasilkan disaring menggunakan saringan 60 mesh untuk memastikan ukuran partikel yang seragam dan menghilangkan partikel halus yang tidak diinginkan. Penyaringan ini bertujuan untuk memastikan kualitas biochar yang konsisten dan sesuai untuk aplikasi dalam penelitian.

Biochar yang telah disiapkan kemudian dimodifikasi dengan ion logam Mg^{2+} melalui perendaman dalam larutan $MgCl_2$ selama 24 jam, diikuti dengan pengeringan dalam oven. Proses aktivasi dilanjutkan dengan menyiapkan larutan pH 9. Dalam labu Erlenmeyer, biochar dan larutan $MgCl_2$ ditambahkan ke dalam larutan pH 9 dan diaduk menggunakan orbital shaker pada kecepatan 80 rpm selama 60 menit untuk memastikan bahwa ion Mg^{2+} terdistribusi secara merata di seluruh permukaan biochar.

b. Uji Adsorpsi Fosfat

Pengukuran kadar fosfat dilakukan berdasarkan standar SNI 06-6989.31-2005 untuk air dan air limbah. Metode yang digunakan adalah uji spektrofotometri dengan menggunakan larutan asam askorbat. Metode ini umumnya dipilih karena keakuratannya dalam mengukur konsentrasi fosfat dalam sampel air. Standar SNI ini memberikan panduan yang jelas bagi laboratorium untuk memastikan bahwa pengukuran dilakukan secara konsisten dan akurat sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan.

Pengukuran waktu optimum dilakukan untuk menentukan waktu optimal di mana fosfat (PO_4) dalam air menunjukkan absorbansi maksimum pada panjang gelombang 880 nm. Larutan aquades sebanyak 1000 mL disiapkan, kemudian ditambahkan 200 mg PO_4 . pH larutan disesuaikan jika diperlukan dengan menggunakan HNO_3 atau $NaOH$. Larutan tersebut dibagi ke dalam tiga labu Erlenmeyer, masing-masing berisi 5 gram biochar yang telah diaktivasi. Proses pengocokan dilakukan dengan pengambilan sampel pada menit ke-0, 5, 20, 60, 90, dan 120, termasuk sampel blanko pada menit ke-0. Total terdapat 24 sampel yang diambil. Setiap

sampel diencerkan 100 kali menggunakan metode titrasi, lalu dilakukan uji fosfat dengan menambahkan reagen khusus. Absorbansi setiap sampel diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 880 nm. Kurva kalibrasi dibuat untuk menentukan hubungan linier.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Biochar yang dimodifikasi melalui aktivasi dengan $MgCl^{2+}$

Sebanyak 1 kg biochar yang diperoleh dari sampah upakara dan kulit buah durian, yang dihasilkan melalui proses pirolisis dan penyaringan, disiapkan untuk penelitian ini. Pirolisis dilakukan dengan memanaskan bahan organik pada suhu antara 400 °C hingga 700 °C dalam kondisi tanpa oksigen. Proses ini menghasilkan biochar dengan porositas dan luas permukaan tinggi, yang esensial untuk efektivitas massa biochar.

Setelah proses pirolisis, biochar disaring menggunakan saringan 60 mesh untuk memastikan ukuran partikel yang konsisten dan menghilangkan partikel halus yang tidak diinginkan. Biochar yang telah diproses ini kemudian dimodifikasi dengan Mg^{2+} dan dicampurkan ke dalam larutan dengan pH 9, bersama dengan larutan $MgCl^{2+}$. Biochar dimodifikasi melalui aktivasi dengan $MgCl^{2+}$ dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Biochar yang dimodifikasi melalui aktivasi dengan $MgCl^{2+}$

2. Uji Adsorpsi Fosfat (PO_4^{3-})

a. Hasil Uji Fosfat dengan Variabel Waktu

Uji fosfat dalam percobaan variabel waktu dilakukan untuk menentukan signifikansi statistik dari perbedaan konsentrasi fosfat dalam pengambilan sampel yang diamati pada menit ke-0, 5, 10, 20, 40, 60, 90, dan 120. Uji ini bertujuan

mengidentifikasi apakah penurunan konsentrasi fosfat disebabkan oleh proses adsorpsi biochar yang efektif atau sekadar fluktuasi acak. Dengan demikian, Uji P memvalidasi hasil eksperimen, memastikan keandalan data, dan mengidentifikasi titik waktu kritis di mana perubahan signifikan terjadi. Hal ini memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk menyimpulkan bahwa biochar efektif dalam mengadsorpsi fosfat dari larutan pada interval waktu yang telah ditentukan untuk pengambilan sampel. Uji P untuk percobaan waktu dapat dilihat Tabel 2.

Tabel 1. Uji P Untuk Percobaan Waktu

No	Waktu Kontak (menit)	Konsentrasi Fosfat Awal (mg/L)	Konsentrasi Fosfat Akhir (mg/L)	Penyisihan (%)	Persentase Teradsorpsi (%)	Massa Teradsorpsi (mg/g)
1	0	200	200,00	0	0,00 %	0
2	5	200	156,65	43,35	21,68 %	8,670
3	0	200	157,38	42,62	21,31 %	8,525
4	0	200	153,37	46,63	23,32 %	9,326
5	0	200	164,66	35,34	17,67 %	7,067
6	20	200	158,11	41,89	20,95 %	8,379

Tabel pengukuran variabel waktu menunjukkan perubahan konsentrasi fosfat (mg/L) terhadap waktu (menit). Pada awal pengukuran (waktu 0 menit), konsentrasi fosfat tercatat sebesar 184,335 mg/L. Ini menunjukkan bahwa pada saat awal, konsentrasi fosfat dalam larutan berada pada tingkat yang sangat tinggi. Namun, setelah pengukuran pertama, terjadi penurunan yang sangat signifikan pada konsentrasi fosfat, di mana pada waktu 5 menit, konsentrasi turun menjadi 156,648 mg/L. Penurunan disebabkan oleh beberapa faktor, seperti reaksi kimia awal yang cepat atau proses adsorpsi fosfat oleh medium yang digunakan.

Dari waktu 60 menit hingga 120 menit, konsentrasi fosfat tetap relatif stabil dengan sedikit fluktuasi kecil. Stabilitas ini menunjukkan bahwa sistem telah mencapai suatu kondisi kesetimbangan di mana kapasitas penambahan fosfat ke dalam larutan dan kapasitas pengurangan fosfat dari larutan

melalui berbagai mekanisme (seperti adsorpsi, presipitasi, atau reaksi kimia) menjadi seimbang. Pada akhir pengamatan, konsentrasi fosfat tercatat 155,191 mg/L yang menunjukkan bahwa sistem telah mencapai kondisi stabil. Sedangkan penyisihan fosfat tertinggi tercapai pada waktu 20 menit dengan nilai 46,63 mg/L (23,32%) dan massa teradsorpsi 9,326 mg/g. Hal ini menunjukkan bahwa pada waktu tersebut biochar memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi terhadap fosfat. Penurunan yang terjadi pada menit-menit awal mencerminkan adsorpsi cepat oleh biochar yang kemudian mencapai stabilitas di waktu-waktu berikutnya.

Penurunan tajam pada konsentrasi fosfat di awal pengukuran, diikuti oleh stabilitas pada tingkat yang lebih rendah, menunjukkan adanya proses cepat yang secara signifikan mengurangi konsentrasi fosfat, sebelum mencapai keadaan kesetimbangan. Penurunan tajam ini disebabkan oleh reaksi kimia awal yang cepat atau proses adsorpsi di mana fosfat diikat oleh partikel-partikel dalam medium atau terpresipitasi keluar dari larutan. Setelah penurunan awal ini, sistem mencapai keseimbangan di mana mekanisme kesetimbangan menjaga konsentrasi fosfat relatif konstan meskipun terdapat fluktuasi minor. Dengan demikian, stabilitas konsentrasi fosfat setelah penurunan tajam mencerminkan adanya proses yang mengatur dan mempertahankan tingkat konsentrasi fosfat dalam larutan.

KESIMPULAN

Penurunan konsentrasi fosfat paling signifikan terjadi pada waktu kontak antara 60 hingga 120 menit, dengan konsentrasi fosfat tercatat sebesar 155,191 mg/L. Selama periode ini, penurunan konsentrasi fosfat menunjukkan adanya proses yang efektif dalam mengurangi fosfat dalam larutan. Selain itu, penyisihan fosfat tertinggi tercapai pada waktu kontak 20 menit, di mana penurunan konsentrasi fosfat tercatat sebesar 46,63 mg/L, yang setara dengan penurunan sebesar 23,32%. Pada waktu ini, massa fosfat yang teradsorpsi tercatat sebesar 9,326 mg/g. Data ini menunjukkan bahwa pada waktu kontak 20 menit terjadi penurunan yang paling besar dalam konsentrasi fosfat, dan pada waktu kontak antara 60 hingga 120 menit, konsentrasi fosfat stabil pada tingkat yang lebih rendah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Keberhasilan penelitian ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan yang diberikan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, peneliti ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada dosen yang telah memberikan bimbingan dan arahan yang berharga sepanjang proses penelitian. Selain itu, peneliti juga mengapresiasi rekan-rekan dan semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang telah berkontribusi pada pencapaian hasil penelitian ini. Dukungan tersebut sangat berperan penting dalam menyukseskan penelitian ini dan mencapai tujuan yang diharapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D. Y. S., (2014). *Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review*, Chemosphere, 99, 19-33.
- Andreas, A., Putranto, A., & Sabatini, T. C. (2015). Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Salak Aktivasi Kimia-Senyawa KOH sebagai Adsorben Proses Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru. *Jurnal Teknik Kimia*, 1-7.
- Apriyanti, H., Candra, I. N., & Elvinawati, E. (2018). Karakterisasi isotherm adsorpsi dari ion logam besi (Fe) pada tanah di kota Bengkulu. *Alotrop*, 2(1).
- Cao, Y.L., Pan, Z.H., Shi, Q.X., Yu, J.Y., 2018. *Modification of chitin with high adsorption capacity for methylene blue removal*. *Int. J. Biol. Macromol.* 114, 392-399.
- Chen, Q., Qin, J., Cheng, Z., Huang, L., Sun, P., Chen, L., Shen, G., 2018. *Synthesis of a stable magnesium-impregnated biochar and its reduction of phosphorus leaching from soil*. *Chemosphere* 199, 402-408.
- Cui, G., Min, L., Ying, C., Wei, Z., Zhao, J., 2016. *Synthesis of a ferric hydroxide-coated cellulose nanofiber hybrid for effective removal of phosphate from wastewater*. *Carbohydr. Polym.* 154, 40-47.
- Espinosa-Ortiz, E.J., Rene, E.R., Pakshirajan, K., Hullebusch, E.D.V., Lens, P.N.L., 2016. *Fungal pelleted reactors in wastewater treatment: applications and perspectives*. *Chem. Eng. J.* 283, 553-571.
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). *Insights into the modeling of adsorption isotherm systems*. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2-10.
- Glazko, I.L., Levanova, S.V., Pechatnikov, M.G., Sokolov, A.B., Kanaev, A.L., Krizhanovskii, A.S., 2001. *Deamination as a method of pretreatment of nitrogencontaining wastewater before biological treatment*. *Russ. J. Appl. Chem.* 74 (9), 1513-1516.
- Huang, W.Y., D. Li, Z. Liu, Q. Tao, Y. Zhu, J. Yang, & Y.M. Zang. 2014. Kinetics, Isotherm, Thermodynamic, and Adsorption Mechanism of La(OH)₃-modified Exfoliated Vermiculites as Highly Efficient Phosphate Adsorbents. *Chemical Engineering J.*, 236: 191-201.
- Jafari, K., Heidari, M., Rahmanian, O., 2018. *Wastewater treatment for Amoxicillin removal using magnetic adsorbent synthesized by ultrasound process*. *Ultrason. Sonochem.* 45, 248-256.
- Langmuir, I. (1918). *The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum*. *Journal of the American Chemical Society*, 40(9), 1361-1403.
- Larasati, A & S. Notoatmodjo. 2014. Equilibrium and kinetics of orthophosphate removal from aqueous phase with adsorption-desorption methods. *J. Teknik Lingkungan*, 20(1): 38-47.
- Mangwandi, C., A.B. Albadarin, Y. Glocheux, & G.M. Walker. 2014. Removal of orthophosphate from aqueous solution by adsorption onto dolomite. *J. of Environmental Chemical Engineering*, 2(2): 1123- 1130.
- Mara, D., & Pearson, H. W. (1998). *Phosphorus removal from wastewater: a review*. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 52(7), 561-571.
- Mosa, A., El-Ghamry, A., Tolba, M., 2018. *Functionalized biochar derived from heavy metal rich feedstock: phosphate recovery and reusing the exhausted biochar as an enriched soil amendment*. *Chemosphere* 198, 351-363.

- Rout, P.R., P. Bhunia, & R.R. Dash. 2014. Modeling isotherms, kinetics, and understanding the mechanism of phosphate adsorption onto a solid waste: ground burn patties. *J. of Environmental Chemical Engineering*, 2(3): 1331-1342.
- SNI 06-6989.31-2005 Air dan air limbah - Bagian 31: Cara uji kadar fosfat dengan spektrofotometer secara asam askorbat.
- Zaini, S., dan Sami, M. 2016. Kinetika Adsorpsi Pb (III) dalam Air Limbah Laboratorium Kimia Menggunakan Sistem Kolom dengan Bioadsorben Kulit
- Zhang, L., Liu, J., Guo, X., 2018. *Investigation on mechanism of phosphate removal on carbonized sludge adsorbent*. *J. Environ. Sci.* 64, 335–344.