

POTENSIAL BIOSORBEN DALAM REMOVAL FOSFAT DENGAN METODE ADSORBSI: A REVIEW

Nur Aini¹, Aster Rahayu^{2*}, Siti Jamilatun³

^{1,2,3}Department of Chemical Engineering, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta, 55191, Indonesia

aster.rahayu@che.uad.ac.id

ABSTRAK

Limbah cair yang terkontaminasi dapat di adsorpsi menggunakan berbagai jenis biosorben yang berfungsi untuk menghilangkan logam berat yang berada pada air limbah, Proses adsorpsi termasuk salah satu proses yang baik digunakan untuk menghilangkan fosfat dengan efisiensi biaya. Biosorben berbiaya rendah telah menjadi sangat penting dalam dekade terakhir untuk efisiensi penghilangan kontaminan dari air limbah. Penghapusan dan daur ulang anion fosfat melalui metode benign relevan untuk mempertahankan keseimbangan yang stabil dan dapat mengurangi kandungan fosfat yang terdapat dalam air limbah. Terdapat beberapa jenis biosorben yang baik untuk digunakan dengan penyerapan yang besar yaitu menggunakan limbah kulit jeruk penyerapan sekitar 99,02%, batang pisang 99%, sabut kelapa 99%, Arang bambu barbekyu 99,2%, Kulit telur limbah yang dikalsinasi, kerang 99,2%, Buluh alami (*Arundo donax*) 99%, Gambut termodifikasi dengan besi (III) 99%. Dalam penggunaan biosorben tanaman atau kayu seperti kulit, batang pisang, kerang untuk biosorpsi fosfat diamati lebih tinggi dari pada jenis lain seperti limbah eceng gondok, kayu kenari, fragmit, dan coir pith, Persentase adsorpsi sangat bagus. Salah satu fakta penting yang mempengaruhi biosorpsi fosfat yaitu pH. Adapun beberapa parameter yang mempengaruhi persentasi hasil adsorpsi yaitu konsentrasi, suhu, sorben, ukuran partikel, konsentrasi fosfat, kecepatan pengadukan, dan pH. Terdapat studi kinetika dalam proses adsorpsi yaitu studi isotherm, kinetika adsorpsi dan studi desorpsi.

Kata kunci: Fosfat, Biosorpsi, Kinetika Adsorpsi, Biosorben

ABSTRACT

Several important facts regarding phosphate biosorption have emerged as a reference, namely $pH < pH_{pzc}$ (pH point of zero charge) is the pH of the adsorbent suspension where the acidic or basic functional groups of the adsorbent do not contribute to the pH of the suspension, pH point of zero charge, high adsorption capacity, correlation with the Langmuir isotherm model, and pseudo-second-order kinetics. The decrease in absorption with longer contact time increases the adsorption process with the difference. In addition, it is noted that the adsorbate: adsorbent ratio is very important for the efficiency of phosphate ion removal. Some biosorbents showed removal efficiencies for the most part (>95%) although higher adsorption capacities could be obtained by adsorbent modification. Commercial biometrics such as biochar have shown wide application for phosphate removal. Biochar has shown special performance due to the presence of iron and the porous nature of its structure. Desorption studies reveal that almost complete recovery of phosphate ions is possible through a simple ion exchange mechanism. Low-cost biosorbents have been of great importance in the last decade for the efficient removal of contaminants from wastewater. Both removal and recycling of phosphate anions through relevant benign methods maintain a stable balance. Efforts have been made to provide comprehensive insight into some of the physicochemical factors that lead to the adsorption process by various natural biosorbents.

Keywords: Phosphate, Biosorption, Adsorption Kinetics, Biomass

1. PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan disebabkan oleh limbah cair yang memiliki kandungan logam berat yang bersifat biodegradable, dimana logam berat ini dapat berbahaya

bagi kesehatan manusia. Maka dari itu limbah harus di olah agar tidak berbahaya, salah satu pengolahan limbah yang dapat digunakan dan efisiensi yaitu biosorpsi. Biosorpsi dapat didefinisikan sebagai

penyerapan pasif polutan seperti logam oleh bahan biologis (Vijayaraghavan & Yun, 2008). Biosorben sebagian besar dibuat dari limbah pertanian, hewan dan cangkang tumbuhan. Untuk memanfaatkan limbah organik tersebut maka dilakukan pembuatan bioadsorben melalui proses adsorpsi. Proses adsorpsi menjadi pilihan yang menguntungkan dan efektivitas biaya, untuk menghilangkan senyawa kimia seperti fosfat (Ali & Gupta, 2006; Fomina & Gadd, 2014; Tran, et al., 2019). Biosorben yang berasal dari tumbuhan mengandung sejumlah gugus fungsi yang dapat terionisasi (-OH, -CHO, -COOH) dalam selulosa, hemiselulosa.

Fosfor terlarut dalam air limbah menjadi perhatian ketika mengalir di permukaan aliran air dari berbagai sumber titik pengaliran dan non-titik bertemu dengan badan air yang jernih seperti kolam, danau atau sungai. Pembuangan fosfor menyebabkan berkembangnya alga, yang memutus suplai oksigen ke kehidupan akuatik di bawahnya. Selanjutnya parameter kualitas air memburuk mengganggu seluruh ekosistem.

Kesehatan manusia juga terancam dengan toksisitas fosfat sedang yang dapat menyebabkan pengendapan kristal kalsium fosfat di berbagai jaringan dan seringkali kalsifikasi kardiovaskular yang lebih serius (Razzaque, 2011). Air dengan oksigen lebih rendah dapat membunuh ikan dan organisme laut lainnya. Salah satu penyebab di balik pembentukan zona mati hipoksia Teluk Meksiko yang terkenal adalah karena akumulasi fosfat yang terkenal buruk. Meskipun sejumlah teknik dieksploitasi untuk menghilangkan fosfat dari air limbah (Duenas, Alonso, Rey, & Ferrer, 2003; S. Benyoucef, 2011), struktur lignin dan karena itu dapat menyerap partikel bermuatan dengan interaksi ionik (Naskar & Banerjee, 2020; Naskar, Choudhury, Basu, & Banerjee, 2019). Fosfat yang diperoleh, membentuk bagian integral di area nutrisi tanaman. Maka dari itu, penanganan fosfat dari limbah juga harus menjadi perhatian yang sangat penting (A. Robalds, 2016; T.S. Anirudhan, 2006). Menjaga parameter kualitas air yang optimal harus selalu

menjadi tujuan untuk mencapai standar hidup yang lebih baik. Ada beberapa ion beracun yang dilepaskan ke lingkungan. Fosfat masuk ke dalam ekosistem terutama dari pelapukan fosfat batuan dan berbagai aktivitas antropogenik seperti pertanian, industri, pekerjaan rumah tangga (J. Das, 2006; Oguz, 2004).

Pembahasan kali ini berfokus pada karakteristik penyerapan bahan limbah yang melimpah secara alami yang dipilih untuk menghilangkan anion ortofosfat dari larutan berair dalam percobaan batch. Kelayakan penggunaan berbagai jenis limbah yang berasal dari alam dalam bio-adsorpsi fosfat, yang dieksplorasi selama dekade terakhir telah disorot dalam ulasan ini. Klasifikasi biosorben juga telah dilakukan berdasarkan sifatnya dan dibahas menurut komposisinya. Efek pH pada penyerapan, studi model isotherm, efek waktu kontak, efek interferensi ion, efek konsentrasi sorben dan sorbat, kemampuan adsorpsi dan studi desorpsi telah dibandingkan untuk biosorben yang berbeda untuk memperkirakan kemampuan mereka untuk menghilangkan fosfat dari air limbah.

Review jurnal ini bertujuan untuk mengetahui jenis biosorben terbaik pada removal fosfat dengan metode adsorpsi agar mendapatkan hasil penyerapan fosfat yang maksimal, dan ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah-limbah organik yang ada di sekitar. Selain itu, salah satu Teknik yang banyak digunakan untuk pengolahan air limbah adalah adtunya yaitu adsorpsi karena merupakan teknologi yang bersih, mudah dikendalikan, efisien dan hemat biaya.

2. Klasifikasi biosorben

Berbagai jenis bahan alam yang dapat digunakan sebagai biosorben dalam penghilangan fosfor ke dalam kelompok berikut:

1) Kerang (Tanaman dan hewan)

Cangkang tiram alami memiliki beberapa pori-pori di permukaan yang memungkinkan penetrasi air dan fosfor menunjukkan kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi pada awalnya sampai keseimbangan tercapai dalam waktu 2 jam waktu kontak. Perlakuan pertama

Cangkang tiram yang berbeda melibatkan proses kalsinasi untuk penyerapan fosfat (M.C. Martins, 2017). Diamati bahwa dengan pengurangan ukuran partikel, penyerapan fosfor meningkat karena luas permukaan membesar dengan ukuran partikel yang berkurang. Konstituen utama dari cangkang tiram yang diolah adalah CaO, yang akan diubah menjadi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dalam cangkang tiram terkalsinasi (COS) yang ditunjukkan dengan naiknya pH. Fosfor diendapkan sebagai kalsium fosfat karena deprotonasi fosfat. Dalam cangkang tiram alami (NOS), bagaimanapun penghilangan CaCO_3 tidak mengarah ke nilai pH yang lebih tinggi karena spesies yang ada dalam kasus ini adalah HCO^-

Pada pirolisis, mekanisme inti menyusut dapat diamati di mana CaO membentuk lapisan luar dan CaCO_3 hadir di inti dalam. Dengan pirolisis parsial, hampir 95% penghilangan dimungkinkan karena adanya kelebihan Ca^{2+} dan OH^- pada waktu kontak awal yang menyebabkan pengendapan homogen pada partikel kasar tersuspensi diikuti oleh adsorpsi heterogen pada partikel cangkang kalsit halus.

Kulit kacang seperti walnut dan almond memiliki persentase selulosa yang relatif tinggi (~42%). Ini terdiri terutama dari bahan lignoselulosa. Perlakuan alkali dari cangkang ini mengarah pada isolasi bahan selulosa yang diperkaya dengan gugus hidroksil yang mudah diakses dari bagian lignin dan hemiselulosa yang ada dalam komponen lignoselulosa (L.Q. Chu, 2010). Selulosa memiliki sejumlah besar gugus hidroksil (P.K. Gupta, 2019) yang efektif dalam adsorpsi penyerapan anion setelah modifikasi. Perlakuan alkali diikuti dengan modifikasi epiklorohidrin dan trimetilamin yang memperkenalkan kelompok amonium kuaterner yang secara efektif dapat mengikat dengan anion fosfat (W. Cao, 2011).

2) Kulit (buah dan sayuran jeruk)

Adanya struktur pori kulit buah jeruk yang merupakan bahan kaya pektin menjadikannya bahan yang bagus sebagai adsorben. Pektin yang merupakan polisakarida dinding sel terdiri dari asam

galakturonat. Ini termasuk sejumlah gugus asam karboksilat dan memiliki kohesi alami untuk ion divalen. Analisis FTIR mengungkapkan bahwa gugus fungsi seperti $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$, $-\text{CHO}$ dan gugus aromatik lainnya (Muhaisen, 2016). berpartisipasi dalam adsorpsi fosfat pada permukaan biosorben. Kondisi optimal menghasilkan efisiensi penyisihan ~93,34%. Kemampuan penyerapan meningkat dengan suhu yang menunjukkan proses endotermik.

3) Serat (Ampas tebu, Kolagen dan kelapa)

Ampas tebu mengandung sekitar 45,5% selulosa, 27,0% hemiselulosa, 21,1% lignin, 2,2% senyawa mineral dan 4,6% ekstraktif etanol (G.J.M. Rocha, 2011). Kehadiran lignin dalam bahan lignoselulosa, memberikan jumlah yang cukup dari gugus hidroksil alifatik dan unit fenolik seperti guaicyl dan p-hydroxyphenyl. Beberapa modifikasi telah dilakukan pada serat. Serat dikarboksimetilisasi pada permukaan dan kemudian didoping dengan Fe^{2+} ion. Perbandingan serat ampas tebu yang dimodifikasi mentah dan didoping besi mengungkapkan masing-masing 94% dan 97% penghilangan fosfat. Namun, pengamatan yang paling penting adalah bahwa sekitar 80% peningkatan kapasitas adsorpsi dapat dicapai setelah proses karboksimetilisasi dilakukan (W.S. Carvalho, 2011). Ampas tebu sabut kelapa bukanlah bahan penyerap fosfat yang baik. Modifikasi komponen lignoselulosa yang ada pada sabut kelapa dapat dilakukan dengan cara quarterisasi (Simkovick, 1999; Laszlo, 1998). Serat kolagen adalah biosorben alami berlimpah yang diperoleh dari kulit hewan domestik dan terdiri dari tiga rantai polipeptida dengan struktur tiga heliks dan dikumpulkan melalui ikatan $-\text{H}$ untuk membentuk serat kolagen. Karena mengandung gugus fungsi yang melimpah $-\text{OH}$, $-\text{COOH}$, $-\text{CONH}_2$ dan $-\text{NH}_2$, mereka bereaksi dengan beberapa ion logam seperti Cr(III), Al(III), Zr(IV), Fe(III), dll (Friess, 1998; N.A. Evans, 2022). Kapasitas adsorpsi serat kolagen yang diinduksi ion logam berada di kisaran 27-60 mg/g dan dapat

dicoba untuk keperluan industri (X.P. Liao, 2006).

4) Biochar

Biochar adalah bentuk arang yang dihasilkan oleh pirolisis biosorben tanpa adanya oksigen. Beberapa *biochar* dan bentuk modifikasinya telah digunakan sebagai biosorben. Jagung mentah mengandung sekitar 12,5% lignin, 40% selulosa dan 20% hemiselulosa (J.Chang, 2012). Pirolisis menyebabkan peningkatan kandungan karbon dan penurunan kandungan hidrogen meskipun kandungan nitrogen tetap tidak berubah. Ikatan H-O putus selama pemanasan suhu tinggi, yang mengarah ke pembentukan cincin aromatik. Kenaikan suhu juga menyebabkan struktur mesopori hingga 500°C tetapi pada pemanasan lebih lanjut, struktur ini cenderung menurun. Dalam kasus *biochar*, fisorpsi terutama merupakan proses penghilangan fosfat. Dalam kasus magnesium dimuat ke *biochar*, baik adsorpsi fisik dan kimia terjadi yang mengarah ke 90% adsorpsi fosfor. Muatan permukaan *biochar* lebih rendah dari pada yang diresapi Mg. Selain itu, nanopartikel Mg sama sekali tidak mempengaruhi fungsi struktural dari gugus fungsi di atas. Teknik pemisahan magnetik yang mudah membuat *biochar* magnetik bubuk lebih menarik dan lebih menguntungkan dari pada adsorben non-magnetik lainnya. Teknik pemisahan magnetik bermanfaat dalam media suspensi, di mana teknik pemisahan lainnya mungkin tidak bekerja dengan baik (I. S̃afařík, 1997). *Biochar* magnetik memiliki luas permukaan yang lebih kecil dan jari-jari pori yang lebih tinggi dari pada *biochar* non-magnetik karena kandungan oksida besi yang tinggi pada *biochar* non-magnetik. *Biochar* magnetik dari kulit jeruk dipirolisis pada 700°C (MOP700) mengandung oksida besi tinggi dengan sedikit *biochar* (<1% karbon) memiliki adsorpsi tertinggi dari pada *biochar* magnetik lainnya (B. Chen, 2011).

5) Lainnya (seperti kulit kayu, batang, rumput, biji, dll.)

Ada beberapa biosorben lain yang telah diteliti untuk adsorpsi fosfat, Sabut

kelapa empulur (T.S. Anirudhan S. R., 2009) telah dimodifikasi baik untuk peningkatan adsorpsi dan juga pencegahan zat organik seperti lignin, tanin dan pektin ke dalam larutan sekitarnya.

- Gambut merupakan bahan organik yang terbentuk dari dekomposisi sebagian bahan tumbuhan (C. Coccozza, 2003). Luas permukaan yang besar, kapasitas menahan air yang tinggi, dan porositas yang tinggi merupakan karakteristik yang menguntungkan untuk membuatnya menjadi biosorben yang efisien. Beberapa bahan kaya besi seperti bijih besi kadar rendah, terak baja, lumpur merah, residu pengolahan air besi, oksida besi (A. Robalds, 2016 (X. Yuan, 2015; C. Barca, 2012; Z. Yi, 2013; G. Lyngsie, 2014) dimasukkan ke dalam gambut telah diuji untuk adsorpsi fosfor. Biosorben yang diperoleh dari tanaman asli seperti *Fragmitis*p.

- Okara atau hasil samping susu kacang kedelai yang dikation Fe(III) menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 4,785 mg/g (T.A.H. Nguyen, 2013) Ini mengandung serat kasar yang terdiri dari komponen selulosa. Okara yang mengandung besi menunjukkan bahwa O-H alkohol dan fenol dan juga asam karboksilat adalah situs untuk adsorpsi fosfor.

- Limbah cangkang telur, limbah cangkang telur terkalsinasi, kulit jeruk bali (GP), Fe₃HAl₄ Komposit /GP mengandung mesopori di permukaannya yang menghasilkan efikasi yang lebih tinggi terhadap adsorpsi fosfat (J. Chen, 2013; Mezenner, 2009). Biomembran yang berasal dari tumbuhan yang memiliki gugus -OH dan -COOH di permukaannya lebih efektif menyerap polutan kationik dari pada anion. Oleh karena itu, kapasitas pemuatan logam meningkatkan kemampuan adsorpsi untuk biosorben tersebut (A. Robalds, 2016; M.C. Martins E. S., 2017; E.W. Shin, 2005).

- Batang pisang yang mengandung dimethylaminohydroxypropyl (BS-DMAHP) merupakan penukar anion lemah yang memiliki gugus fungsi kationik -CH₂-N+H(CH₃)₂ berpasangan dengan Cl⁻ ion Ini adalah adsorben yang sangat

efisien untuk menghilangkan fosfat. Gugus metil hidroksil dari unit selulosa bertanggung jawab untuk membentuk ikatan dengan dimetilaminohidroksipropil dan menjadikan batang pisang lebih efektif sebagai biosorben (T.S. Anirudhan B. N., 2006). Gugus fungsi memainkan peran penting dalam menentukan proses adsorpsi dan kemampuan biosorben apapun. Modifikasi kelompok tersebut menyebabkan peningkatan aktivitas penyerapan.

3. Parameter Pada Metode Adsorpsi

1. Sampel

Percobaan adsorpsi menggunakan bahan murni, pengadaan sampel diikuti dengan langkah pencucian dan pengeringan udara sudah cukup (A.C.A. de Lima, 2012; T.S. Anirudhan S. R., 2009; S.H. Yeom, 2009). Pengeringan dilakukan pada suhu rendah hingga sedang (40-60°C) untuk menghindari degradasi gugus fungsi. Kadang-kadang biosorben dari bahan keras seperti kulit kerang juga digiling ke dimensi yang diinginkan menggunakan uap atau penggilingan bertekanan tinggi (S.H. Yeom, 2009). Biosorben yang dimodifikasi juga sering digunakan untuk tujuan tersebut, yang melibatkan langkah-langkah pretreatment sederhana.

2. pH

Kapasitas adsorpsi dari semua jenis adsorben sangat dipengaruhi oleh pH medium. Ada kemungkinan mempengaruhi muatan negatif atau positif pada gugus fungsi pada permukaan adsorben melalui kontrol pH. Untuk nilai pH yang lebih rendah, adsorpsi ion hidrogen (H^+) melebihi kation lain (dari adsorbat) jika ada permukaan penyerap bermuatan negatif (adsorben) (Muhaisen, 2016). Sebaliknya, pada nilai pH yang lebih tinggi, ion hidroksida akan lebih efisien teradsorpsi dari pada anion lain (adsorbat) jika terdapat permukaan penyerap yang bermuatan positif (A. Abeynaike, 2011). Adsorpsi meningkat pada pH netral karena konsentrasi ion hidroksida atau ion hidrogen berubah menjadi nilai yang lebih rendah. Pada nilai

pH lebih tinggi dari pH_{pzc} permukaan biosorben membawa muatan negatif yang lebih padat yang menolak ion fosfat bermuatan negatif di permukaan. Sedangkan pada nilai pH lebih rendah dari pH_{pzc} permukaan biosorben menjadi bermuatan positif sehingga daya serap ion fosfat akan tinggi (G. Markou, 2016).

3. Waktu kontak

Untuk adsorben tertentu dan pada kondisi reaksi konstan, ekstraksi fosfat meningkat seiring waktu pada tahap awal, Karena afinitas fosfat yang tinggi terhadap situs pengikatan karena jumlah maksimum situs pengikatan kosong pada waktu itu. Meskipun penyerapan meningkat, itu terjadi pada tingkat yang lebih lambat seiring waktu karena tidak dapat diaksesnya situs pengikatan yang tersisa (M. Aryal, 2011) dan karena gaya tolak-menolak dari ion fosfat yang teradsorpsi pada permukaan adsorben (D. Karadag, 2007). Setelah waktu tertentu, persentase ekstraksi tetap tidak berubah dan keadaan kesetimbangan tercapai. Adsorpsi fosfat terjadi dalam tiga tahap - fase cepat, fase rendah dan fase kesetimbangan. Studi adsorpsi fosfat menggunakan jarum pinus termodifikasi lantanum sebagai biosorben menunjukkan penghilangan 85% dari total kandungan fosfor dalam fase cepat dalam waktu 180 menit; 11% dihapus dalam 540 menit berikutnya. Fase keseimbangan dicapai antara 720 dan 1440 menit (X. Wang, 2015).

4. Pengaruh ion dan suhu adsorben

Secara umum dianggap bahwa pemuatan ion fosfat ke adsorben menurun dengan meningkatnya suhu jika proses adsorpsi bersifat eksotermik. Demikian pula, pengamatan terbalik juga diamati untuk proses endotermik. Hasil menunjukkan bahwa saat menaikkan suhu dari 20 ke 50°C, persentase adsorpsi menurun dari 97,2% (24.3mg/g) hingga 91,3% (22.8 mg/g). Kecenderungan keluarnya ion fosfat dari fase padat ke fase yang lebih besar diamati pada suhu tinggi (T.S. Anirudhan P. S., 2011). Di sisi lain untuk biomaterial sintesis cangkang kerang, pemuatan fosfat pada suhu yang

meningkat ($15-55^{\circ}\text{C}$) menunjukkan bahwa nilai konstanta Langmuir (q_m) meningkat dari 13,6 menjadi 14,0 mg/g menunjukkan sifat endotermik untuk proses penyerapan fosfor (N. Chen, 2014). Kategori ketiga ketergantungan suhu pemuatan fosfat diamati pada cangkang kepiting, yang tidak terlalu terpengaruh oleh suhu dalam kisaran $15-45^{\circ}\text{C}$ (D.J. Jeon, 2009).

5. Pengaruh ion yang mengganggu

Air limbah biasanya mengandung beberapa spesies anionik selain fosfat dan mereka dapat menghambat proses adsorpsi fosfat karena efek ko-ion. Oleh karena itu studi tentang ion yang hidup berdampingan diperlukan. Anion seperti klorida, sulfat, nitrat, fluorida, dan karbonat memiliki efek yang lebih kecil pada persentase penghilangan fosfat pada kondisi penyerap dalam beberapa kasus (M.D. Jyothi, 2012).

6. Studi konsentrasi pada sorben dan sorbat

Peningkatan atau penurunan situs pengikatan aktif mempengaruhi adsorpsi fosfat, semakin tinggi jumlah situs pengikatan semakin tinggi adsorpsinya. Laju penghilangan suatu adsorbat tergantung pada jumlah situs pengikatan aktif yang tersedia sehubungan dengan jumlah spesies adsorbat dan juga pada cakupan permukaan. Semakin tinggi cakupan permukaan, semakin rendah tingkat ekstraksi. Sekarang, dengan peningkatan konsentrasi awal adsorbat (fosfat) per satuan volume larutan tanpa mengubah konsentrasi adsorben, cakupan permukaan adsorben tinggi dan dengan demikian laju penyisihan fosfat rendah (P. Mondal, 2008). Sedangkan, dengan penurunan konsentrasi awal, cakupan permukaan menurun dan laju penyisihan meningkat (J.H. Yuan, 2014). Tabel 1 menjelaskan perbandingan jenis adsorban apa yang baik digunakan dan menghasilkan penyerapan terbanyak dari beerbagai macam biosorben metode adsorbs.

Tabel 1. Perbandingan jenis biosorben pada removal fosfat dalam air limbah dengan metode adsorpsi

Jenis Biosorben	Nama Biosorben	Parameter	Kapasitas maksimum adsorbsi	Hasil Kondisi Optimal adsorbsi	% penyerapan	Ref
Biochar dan diaktifkan karbon	Karbon Aktif Coir-Pith (CAC)	Konsentrasi sorben = 0–6 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 10–40 ppm, Ph = 2–11, Waktu = 0–240 menit T = 308–333 K, Kecepatan agitasi = 150 rpm	4,75 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 4 gL ⁻¹ Konsentrasi fosfat = 40 ppm, pH = 6–10,Waktu = 180 menit, T = 333 K	60%	(P. Kumar, 2010)
	Arang bambu barbekyu	Konsentrasi sorben = 0,5 g/50 mL, Ukuran partikel = 0,150–0,180 mm, Konsentrasi fosfat. = 5-200 ppm, pH = 3-11, Waktu = 5-420 menit, T = 298–308 K, Kecepatan agitasi = 120 rpm	10,15 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 10 gL ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 30 ppm, pH = 5, Waktu = 120 menit, T = 298 K	99,2%	(J.H. Yuan, 2014)
	Char limbah biomassa	Waktu = 300 menit, T = 298–308K, Kecepatan agitasi = 100 rpm	15,11 mg g ⁻¹	Waktu = 300 menit, T= 29 8–308K, Agitasi kecepatan = 100 rpm	–	(F. Peng, 2012)
	Modifikasi dari Biochar jerami gandum	Konsentrasi sorben = 0,2 g/50 mL, Ukuran partikel=<1 mm, Konsentrasi fosfat = 40–100 ppm, pH = 3-11, Waktu = 180 menit, T = Suhu ruangan, Kecepatan agitasi = 100 rpm	16,58 mg g ⁻¹	konsentrasi fosfat = 50 ppm, pH = 6	90%	(J. Li, 2014)

Jenis Biosorben	Nama Biosorben	Parameter	Kapasitas maksimum adsorbsi	Hasil Kondisi Optimal adsorbsi	% penyerapan	Ref
	Modifikasi <i>Biochar</i> Jagung	Konsentrasi sorben = 0,2 g/20 mL, Ukuran partikel = 0,1–0,2 mm mesh Size, Konsentrasi fosfat. = 84–2600 ppm, pH = 6– 10, Waktu = 1440 menit, T = 288–318 K, Kecepatan agitasi = 200 rpm	239 dan 225 mg g ⁻¹ untuk Mg <i>biochar</i> dan <i>biochar</i>	pH = 9, Waktu = 30 menit, T = 318 K	> 90%	(C. Fang, 2014)
	<i>Biochar</i> magnetik dari kulit jeruk (MOP250, MOP400, MOP700)	Konsentrasi sorben = 6,25 g L ⁻¹ , Ukuran partikel = 0,154 mm, Konsentrasi fosfat. = 0–12 ppm, Waktu = 24 jam, Suhu pirolitik = 250, 400, 700°C, Kecepatan agitasi = 120 rpm untuk 24 jam dan 4000 rpm untuk 15 menit	0,512±0,028 mg/g (MOP250), 0.219±0,156 mgg ⁻¹ (MOP400), 1.24±0.02mgg ⁻¹ (MOP700)	Konsentrasi sorben = 6,25 g/L, Ukuran partikel = 0,154 mm, Konsentrasi fosfat. = 2,4 ppm, Waktu = 24 jam, Suhu pirolitik = 400°C	67,3% (MOP250), 9,3% (MOP400) 99,4% (MOP700)	(B. Chen, 2011)
Kulit Buah	Kulit lemon	Konsentrasi sorben = 0,5–2 g/100 mL, Ukuran sorben = 0,6 mm, Konsentrasi fosfat. = 10–200 ppm, pH = 3,5–7,5, Waktu = 120 menit, T = 293–313 K Kecepatan agitasi = 150 rpm	9,6 mg/g	Konsentrasi sorben:1,5 g/100 mL, Konsentrasi fosfat. = 10 ppm, pH 5,5,Waktu = 60 menit, T = 313 K	93,34%	(Muhaisen, 2016)
	Kulit apel Immobilised dengan Zr	Konsentrasi sorben = 0,1 g/10 mL, Konsentrasi fosfat. = 5-200 ppm, pH = 2–12, Waktu = 1440 menit, T = 303 K, Kecepatan agitasi = 200 rpm	20,35 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 0,1 g/ 10 mL, pH = 2, Waktu = 1440 menit, T = 303 K	–	(R. Mallampati, 2013)
	Kulit jeruk bali (GP) Fe ₃ O ₄ /GP komposit	Konsentrasi sorben = 0,05 g Fe ₃ O ₄ /GP per 25 ml, pH = 4–11, Ukuran partikel = 100 m, Konsentrasi fosfat. = 5–50 ppm,	787 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 0,01 g Fe ₃ O ₄ /GP per 25 ml, Konsentrasi fosfat. = 50 ppm, pH = 4-11,	99,02%	(S. Inkoua, 2020)

Jenis Biosorben	Nama Biosorben	Parameter	Kapasitas maksimum adsorbsi	Hasil Kondisi Optimal adsorbsi	% penyerapan	Ref
		Waktu = 5-90 menit, T = 313 K, Kecepatan agitasi = 200 rpm		Waktu = 20 menit		
	3. Gel limbah jeruk sarat dengan zirkonium	Konsentrasi sorben. = 0,025 g/15 mL larutan fosfat, Ukuran partikel = 75-150 m, Konsentrasi fosfat. = 0-1000 ppm, pH = 1-9, Waktu = 0-1440 menit, T = 303 K	57 mg g ⁻¹	konsentrasi fosfat = 700 ppm, pH = 7, Waktu = 1400 menit	85%	(B.K. Biswas, 2008)
	4. Saponi bermuatan zirkoniumfi limbah jeruk	Konsentrasi sorben = 0,005-0,15 g/15 mL Ukuran partikel = 75, 150 m, Konsentrasi fosfat. = 70 ppm, pH = 2.1, Waktu = 1440 menit, T = 303 K, Kecepatan agitasi = 140 rpm	1,3 mol kg ⁻¹	pH = 2.1, Waktu = 1440 menit, T = 303 K,	95%	(S. Ohura, 2011)
	5. Limbah jeruk tersabunkan (SOW)	Konsentrasi sorben = 0,025 g/15 mL, Konsentrasi fosfat. = 20-40 ppm, pH = 3-7,5, Waktu = 0-2880 menit, T = 303 K, Kecepatan agitasi = 140 rpm	13,94 mg g ⁻¹	konsentrasi fosfat = 40 ppm, pH = 5-7 untuk La(III) dan Ce(III) SOW dan 2-5,5 untuk Fe(III) SOW, Waktu = 1440 menit	~100%	(B.K. Biswas, 2007)
Cangkang Tanaman	Cangkang kayu kenari yang dimodifikasi (MWWS) dan cangkang kayu almond yang dimodifikasi (MAWS)	Konsentrasi sorben = 1-8 g L ⁻¹ , Ukuran partikel = 0,25 mm, Konsentrasi fosfat = 5-200 ppm, pH = 2-12, Waktu = 5-600 menit, T = 298 K, Kecepatan agitasi = 150 rpm	22,73 mg g ⁻¹ (MWWS) dan 14,71 mg/g (MAWS)	Konsentrasi sorben = 4 g L ⁻¹ (MWWS) dan 8 g L ⁻¹ (MAWS), Ukuran partikel = 0,25 mm, Konsentrasi Fosfat = 5-200 ppm,pH =5 (MWWS) dan 6 (MAWS)	> 70% (MAWS)	(B. Faraji, 2020)

Jenis Biosorben	Nama Biosorben	Parameter	Kapasitas maksimum adsorbsi	Hasil Kondisi Optimal adsorbsi	% penyerapan	Ref
Serat	Serat kayu aspen halus yang diolah dengan karboksimetil selulosa dan besi klorida (CMC/Fe)	Konsentrasi sorben = 0,1 g serat/50 mL, Ukuran partikel = 40 m, konsentrasi fosfat = 0–100 ppm, pH = 4,8±2, Waktu = 1440 menit, Kecepatan agitasi = 150 rpm	4,3 mgg ⁻¹	Konsentrasi sorben = 12% (w/w)	–	(T.L. Eberhardt, 2006)
	Serat kayu dan partikel diperlakukan dengan polimer anionik dan garam besi	Konsentrasi sorben. = 0,2 g/50 mL larutan fosfat, Ukuran partikel = 20–80 mesh, Konsentrasi fosfat. = 100 ppm, Waktu = 24 jam, Kecepatan agitasi = 150 rpm	2.32±0,13 mgg ⁻¹	Konsentrasi sorben = 0,2 g, Ukuran partikel = 35–80 mesh	–	(T.L. Eberhardt S. M., 2008)
	<i>Phenolix dactylifera</i> L.serat kurma	Konsentrasi sorben. = 2–12 g L ⁻¹ , Ukuran partikel = 0,2–0,8 mm, Konsentrasi fosfat. = 10–110 ppm, pH = 1.4–10.4, Waktu = 240 menit, T = 291 K, Kecepatan agitasi = 200 rpm	4,35 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 6 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 50 ppm, pH = 6,8, Waktu = 120 menit	90%	(K. Riahi, 2009)
	Limbah kurma (Granular date stone (GDS) dan permukaan palem fibres (PSF)	Konsentrasi sorben = 1–10 g L ⁻¹ , Ukuran partikel = 0,3–0,5 mm untuk PSF, 0,5–1 mm untuk GDS, konsentrasi fosfat = 5–50 ppm, pH = 3–10, Waktu = 120 menit, Kecepatan agitasi = 200 rpm	–	Konsentrasi sorben = 5 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 50 ppm, pH = 3, Waktu = 120 menit	85–87%	(Ismail, 2012)

Jenis Biosorben	Nama Biosorben	Parameter	Kapasitas maksimum adsorpsi	Hasil Kondisi Optimal adsorpsi	% penyerapan	Ref
	Ion Logam (ZrIV, FeIII) Loaded Collagen Fiber (MICF)	Konsentrasi sorben = 0,1 g/100 mL larutan fosfat, Ukuran partikel = 0,1–0,25 mm, Konsentrasi fosfat. = 0,500–2,500 mmol/L, pH = 3–11,5, Waktu = 24 jam, T = 303–323 K	0,9193 mmol/L (Zr-ICF) & 0,8420 mmol/L (Fe-ICF) pada 300 K	Konsentrasi sorben = 0,1 g/100 mL fosfat larutan, fosfat konsentrasi = 1.000 mmol/L, pH = 3–6, Waktu = 24 jam, T = 323 K	–	(X.P. Liao, 2006)
	Serat ampas tebu (permukaan karboksimetil, didoping dengan Fe ²⁺)	Panjang serat = 2 cm, (0–0,850 mol Fe ²⁺ /g fibre) konsentrasi fosfat = 2,4–10,9 ppm, T = 293–313 K	152 mg g ⁻¹	Panjang serat = 2 cm, (0,06 mol Fe ²⁺ /g fibre) Konsentrasi fosfat. = 10,9 ppm, pH-7, T = 313 K	97%	(W.S. Carvalho, 2011)
	Serat tempurung kelapa yang dimodifikasi	Konsentrasi sorben = 0,1 g/10 mL larutan fosfat untuk studi adsorpsi dan 0,5 g/100 mL larutan fosfat untuk studi kinetik, Konsentrasi fosfat. = 20–1000 ppm, pH = 3–6.2,	200 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben. = 0,1/0,5 g konsentrasi fosfat = 100 ppm, pH = 3–6.2, Waktu = 4 jam,	50% pada siklus pertama	(A.C.A. de Lima, 2012)
Hewan	Kulit telur limbah yang dikalsinasi	Konsentrasi sorben = 0,1–0,5 g/50 mL, Ukuran partikel = 40–100 m, konsentrasi fosfat = 50–200 ppm, pH = 2–10, T = 298–318 K	9,97 mg g ⁻¹	Dosis sorben: 0,1 g/50 mL, Konsentrasi fosfat. = 200 ppm, pH = 4, Waktu = 60 menit	99%	(T.E. Koese, 2011)
	Limbah cangkang telur besi hidroksida	Konsentrasi sorben = 2,5–20 g L ⁻¹ , Ukuran partikel = 50–315m, Konsentrasi fosfat. = 2,8–110 ppm, pH = 7, Waktu = 220 menit, T = 293–318 K	14,49 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 10 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 2,8 ppm, pH = 7, Waktu = 60 menit, T = 318 K	95%	(Mezenner, 2009)

Jenis Biosorben	Nama Biosorben	Parameter	Kapasitas maksimum adsorbsi	Hasil Kondisi Optimal adsorbsi	% penyerapan	Ref
	Cangkang tiram NOS (cangkang tiram alami), COS (cangkang tiram terkalsinasi)	Konsentrasi sorben = 50, 1 g L ⁻¹ untuk NOS dan COS, Ukuran partikel = <0,125, 0,5 mm untuk NOS dan COS, Konsentrasi fosfat. = 12 ppm, Waktu = 0-120 menit, Kecepatan agitasi = 112 rpm	0,137 mg g ⁻¹ untuk NOS dan 11,8 mg g ⁻¹ untuk COS	konsentrasi fosfat = 12 ppm, Waktu = 120, 30 menit untuk NOS dan COS	56% untuk NOS dan > 98,1% untuk COS	(M.C. Martins E. S., 2017)
	Bubuk cangkang tiram	Konsentrasi sorben = 1,2 g/50 cc Larutan fosfat, Ukuran partikel = 200 m, Konsentrasi fosfat. = 10-50 ppm, pH = 5-10,5, Waktu = 9,7 hari, T = 297 K, Kecepatan agitasi = 530 rpm	50 ppm berkurang menjadi 7 ppm	konsentrasi fosfat = 50 ppm fosfat ppm, pH = 5, Waktu = 7,7 hari	86%	(C. Namasivayam, 2005)
	Kulit kepiting	Ukuran partikel = 45-3350 m, Konsentrasi fosfat. = 200-2000 ppm, pH = 2-10, Waktu = 1440 menit, T = 288-318 K, Kecepatan agitasi = 250 rpm	108,9 mg g ⁻¹	Ukuran partikel = <1000 m, Konsentrasi fosfat. = 500 ppm, pH = 2, T = 288 K	> 96%	(D.J. Jeon, 2009)
	Kerang	Konsentrasi sorben = 1 g/100 mL, Ukuran partikel = 20-3000 m, Konsentrasi fosfat. = 100-700 ppm, pH = 2-7,5, Waktu = 80 jam, T = 288-318 K, Kecepatan agitasi = 250 rpm	23 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 1 g/100 mL, Ukuran partikel = 45 m, Konsentrasi fosfat. = 100 ppm, pH = 6,5, Waktu = 180 menit, T = 298 K	99,2%	(S.H. Yeom, 2009)
	Bahan Cangkang Tiram yang Dimodifikasi Hidro-termal	Konsentrasi sorben = 25 g L ⁻¹ , Ukuran partikel: <200 mesh, konsentrasi fosfat. = 3-25 ppm, pH = 3-11, Waktu = 3-192 jam, T = 296 K	0,971 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 25 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 5 ppm, pH = 11, Waktu = 48 jam	> 90%	(J. Chen, 2013)

Jenis Biosorben	Nama Biosorben	Parameter	Kapasitas maksimum adsorbsi	Hasil Kondisi Optimal adsorbsi	% penyerapan	Ref
	Biochar kulit kakao dan tongkol jagung	Ukuran partikel = 2 mm, Konsentrasi fosfat. = 0,1–50 ppm, pH = 10,11± 0,30 untuk biochar kulit kakao (tidak dicuci) & 9,03± 0,32 untuk biochar tongkol jagung (tidak dicuci)	3990±138 mg kg ⁻¹ (biochar kulit kakao) 697±23 mg kg ⁻¹ (biochar tongkol jagung)	Waktu = 72 jam, Suhu pirolisis biochar = 200–700°C	90%	(S.E. Hale, 2013)
	Cangkang kerang bubuk pirolisis	Konsentrasi sorben = 0,033–5 g L ⁻¹ , Ukuran partikel = 53–250 m, Konsentrasi fosfat. = 10 ppm, pH = Diselidiki awal (6,25–6,66), akhir (11,4–12,6), Waktu pirolisis = 1-2 jam, Suhu pirolisis = 750–800°C, Waktu = 90 menit	-	Konsentrasi sorben = 5 g L ⁻¹ , Ukuran partikel = 53–106 m, pH = awal Kondisi optimal (6.25–6.66), Akhir (11,4–12,6), Waktu Pirolisis = 1 Jam T = 750°C, Waktu = 20 menit	> 95%	(A. Abeynaike, 2011)
Lainnya (Kulit Pohon, Tangkai, Rumpuk, Benih dll)	ZnCl ₂ empulur sabut aktif	rpm selama 24 jam dan kemudian 4000 rpm selama 15 menit Konsentrasi sorben = 0,025–0,6 g/50 mL, Ukuran partikel = 250–500 m, konsentrasi fosfat = 10–40 ppm, pH = 2–11, Waktu = 189 menit, T = 308–333 K, Kecepatan agitasi = 200 rpm	1.24±0,02 mgg ⁻¹ (MOP700) 5,1 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 0,05 g/ 50 mL, Konsentrasi fosfat. =10 ppm, pH = 3–10, Waktu = 80 menit, T = 333 K	> 90%	(C.Namasivayam, 2005)
	Sabut empulur alami dan permukaan yang dimodifikasi (Iron impregnated sabut empulur)	Dosis sorben = 1–6 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 50–200 mg/L, pH = 2–10, T = 303 K Waktu = 20 jam,	68 mg g ⁻¹	Dosis sorben = 4 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 50 mg/L, pH = 3, Waktu = 12 jam	88,2%	(K.A. Krishnan, 2008)

Jenis Biosorben	Nama Biosorben	Parameter	Kapasitas maksimum adsorbsi	Hasil Kondisi Optimal adsorbsi	% penyerapan	Ref
	Kompleks Besi(III) dari Sabut Kelapa yang dicangkokkan poliakrilamida dengan aminofungsional	Konsentrasi sorben = 0,4-10,0 g L ⁻¹ , Ukuran partikel = 80-230 mesh, Konsentrasi fosfat. = 25-600 ppm, pH = 2-10, Waktu = 1-180, T = 303-333 K, Kecepatan pengadukan = 200 rpm	111,11 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 4 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 250 ppm, pH = 4-7, Waktu = 120 menit, T = 333K	> 99%	(T.S. Anirudhan S. R., 2009)
	Bed Packed filter dikemas dengan giant reed (GR)	Ukuran partikel=<250 m, konsentrasi Fosfat. = 50-200 ppm, pH = 2,00-12,14, Laju aliran = 3,3-15 mL/mnt	54,67 mg g ⁻¹ (penyerap berbasis GR) & 0,863 mgg ⁻¹ (GR)	konsentrasi fosfat = 200 ppm, pH = 5-10, Laju aliran = 5 mL/menit	-	(N. Kannan, 2001)
	Gambut	Konsentrasi sorben = 2 g/50 mL, Ukuran partikel = 1 mm, Konsentrasi fosfat. = 22,79 ppm, pH = 3,5-11,5, Waktu = 120 menit, T = 278, 298, 318 K, Kecepatan pengadukan = 200 rpm	8,91 mg g ⁻¹	pH = 6,5, Waktu = 120 menit, T = 278 K	> 90%	(J.B. Xiong, 2010)
	Fragmit diperlakukan dengan Ca(OH) ₂	Fosfat dalam bentuk ortofosfat (P _o) Konsentrasi sorben = 1-12 g L ⁻¹ , Ukuran partikel = 500 m, P _o conc. = 50 ppm, pH = 4-10, Waktu = 1440 menit, T = 298-318 K	12,27 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 4 g L ⁻¹ , P _o conc. = 50 ppm, pH = 7, Waktu = 600 menit, T = 298 K	70%	(G. Markou, 2016)
	Modifikasi Giant Reed	Konsentrasi sorben = 0,025-0,8 g/50 mL, Ukuran partikel = 100-250 m, konsentrasi fosfat = 10-50 ppm, Waktu = 60 menit, pH = 2-12, T = 293-333 K, Kecepatan agitasi = 150-250 rpm	34 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 0,1 g/50 mL, Konsentrasi fosfat =50 ppm, Waktu = 60 menit, pH = 5, T = 293 K, Kecepatan pengadukan = 250 rpm	96%	(Q.Y. Yue, 2010)

Jenis Biosorben	Nama Biosorben	Parameter	Kapasitas maksimum adsorpsi	Hasil Kondisi Optimal adsorpsi	% penyerapan	Ref
	Debu marmer, serbuk gergaji, tanah, dan sekam padi	Konsentrasi sorben = 5 g/250 mL larutan fosfat, konsentrasi fosfat = 100 ppm, Waktu = 120 jam, T = 298 K	4 mg g ⁻¹ (debu marmer), <1 mg g ⁻¹ (serbuk gergaji, tanah, dan sekam padi)	Konsentrasi sorben = 5 g/250 mL larutan fosfat, Waktu = 120 jam, T = 298 K	93% (debu marmer), 18% (debu gergaji), 13% (tanah), dan 5% (sekam padi)	(O. Eljamal, 2013)
	Buluh alami (Arundo donax)	Konsentrasi sorben = 5 g L ⁻¹ , Ukuran partikel = 0,15–0,85 mm, Konsentrasi fosfat = 20–100 ppm, pH = 2–10, Waktu = 300 menit, T = 298, 308, 318 K	16,2 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 5 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 100 ppm, pH = 7, Waktu = 90 menit, T = 298 K	99%	(A. Abdelhay, 2018)
	Gambut termodifikasi dengan besi (III)	Konsentrasi fosfat. = 1–500 ppm, pH = 2–10, Waktu = 1–1440 menit, T = 275, 293, 313 K	11,53 mg g ⁻¹	konsentrasi fosfat = 0,1–25 ppm, pH = 2, Waktu = 480 menit, T = 313 K	99%	(A. Robalds, 2016)
	benih albasia lebbeck	Konsentrasi sorben = 0,05 g L ⁻¹ , konsentrasi fosfat = 1 g L ⁻¹ , pH = 2–10, Agitasi kecepatan = 120rpm, Waktu = 180 menit, T = Suhu Ruangan	6,849 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 0,5 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 50 ppm, pH = 2, Waktu = 90 menit	79,23%	(A.H. Alabi, 2018)
	Okara bermuatan besi	Konsentrasi sorben = 1–20 g L ⁻¹ , Ukuran partikel = 150m, Konsentrasi fosfat. = 10–500 ppm, pH = 3–10, Waktu = 24 jam, T = 298 K, Kecepatan agitasi = 120–130 rpm	4,785 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 20 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 25ppm, pH = 3, Waktu = 7 jam T = 298 K, Kecepatan pengadukan = 130 rpm	> 90%	(T.A.H. Nguyen, 2013)

Jenis Biosorben	Nama Biosorben	Parameter	Kapasitas maksimum adsorbsi	Hasil Kondisi Optimal adsorbsi	% penyerapan	Ref
	Okara bermuatan Fe(III) (ILO), Fe(III)/Zr(IV) okara bermuatan (IZLO),Zr(IV) okara (ZLO)	Konsentrasi sorben = 0,5 g/50 mL larutan fosfor, Konsentrasi fosfat. =10–500 ppm, pH = netral, Waktu = 24 jam,T = 298 K, Kecepatan agitasi = 120 rpm	16,39 mg g ⁻¹ (ILO), 40,86 mgg ⁻¹ (IZLO), 1, 47,88 mg g ⁻¹ (ZLO)	Konsentrasi sorben = 10 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 50 ppm, pH = 7,6–7,8	97% (ZLO)	(T.A.H. Nguyen H. N., 2014)
	zirkonium dimuat okara	Konsentrasi sorben = 1–12 g L ⁻¹ , Ukuran partikel = 300 m, Konsentrasi fosfat. = 5-500 ppm, pH = 2–12, Waktu = 1440 menit, T = 298–318 K	15,10 mgg ⁻¹	Konsentrasi sorben = 1–2 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 5 ppm, pH = 12, Waktu = 120 menit, T = 318 K	98%	(T.A.H. Nguyen H. N., 2014)
	Jarum pinus modifikasi Lanthanum	<i>Untuk studi kinetik:</i> Konsentrasi sorben = 2 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 5 ppm, Waktu = 1440 mnt, T = 288–308 K <i>Untuk pH belajar:</i> 0,1 g sorben dengan larutan fosfor 10 ppm pH = 3–10, Waktu = 720 menit, T = 288–308 K	4,8 mg g ⁻¹	konsentrasi fosfat = 5 ppm, pH = 3.1, Waktu = 720 menit, T = 298 K	85%	(X. Wang, 2015)
	Residu Kayu / kulit kayu Solid terkationisasi	Ukuran partikel = ukuran 60/80 mesh, Sorbate-to sorbent rasio 0,0013-2,58 mmol P/g substrat, konsentrasi fosfat = 0,00323–6,45 mmol/L, pH = 3–9, Waktu = 1440 menit, T = 298 K	0,47 mmol g ⁻¹	Konsentrasi fosfat = 1,612 mmol/L, pH = 3,68, 4,46 untuk kayu dan kulit kayu yang terkationisasi, Waktu = 180 menit	85%	(K.G. Karthikeyan, 2004)

Jenis Biosorben	Nama Biosorben	Parameter	Kapasitas maksimum adsorbsi	Hasil Kondisi Optimal adsorbsi	% penyerapan	Ref
	Serbuk gergaji dari pinus aleppo	Konsentrasi sorben = 0,5 g L ⁻¹ , Ukuran partikel = 1,0–0,4 mm, Konsentrasi fosfat. = 80–400 ppm, pH = 3,5–10,6, Waktu = 380 menit, T = 293–333 K, Kecepatan agitasi = 120 rpm	90,91 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 2 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat=>200 ppm, pH = 7,5, Waktu = 40 menit, T = 333 K	88,53%	(S. Benyoucef, 2011)
	Tangkai kapas ikatan silang amina (AC-CS)	Konsentrasi sorben = 0,1 g/50 mL, Konsentrasi fosfat = 20–600 ppm, pH = 2.1–11.8, Waktu = 0–120, menit	51,54 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 0,05g L ⁻¹ , pH = 2,40–8,78, Waktu = 15 menit	81,4%	(X. Xu, 2011)
	Tangkai gandum ikatan silang amina (AC-WS)	T = 293 K	60,61 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 0,05g L ⁻¹ , pH = 2,44–8,35, Waktu = 15 menit	80,3%	
	Kulit Pinus Giling Kationisasi	Konsentrasi sorben = 0,1 g/40 mL, Ukuran partikel = 60/80 ukuran mesh, Konsentrasi fosfat = 0–500 ppm, pH = 4,5, Waktu = 1440 menit, T = 298 K	12,65 mg g ⁻¹	konsentrasi fosfat = 100 ppm, pH = 4,5, Waktu = 1440 menit, T = 298 K	> 90	(M.A. Tshabalala, 2004)
	Serbuk kulit kayu/batang aktif dan abunya <i>Ficus religiosa</i> , <i>Cassia auriculata</i> , <i>Punica granatum</i> dan <i>Calotropis gigantean</i>	Konsentrasi sorben. = 1–2 g L ⁻¹ , Ukuran partikel: 75 m, Fosfat konsentrasi = 50 ppm, pH = 2–10, Waktu = 240–300 menit	–	<i>Serbuk kulit kayu/batang:</i> Konsentrasi sorben = 1,0, 1,5, 2, 2 g L ⁻¹ untuk <i>F. religiosa</i> , <i>C.raksasa</i> , <i>P. Granatum</i> dan <i>C. daun telinga Kulit kayu/abu batang:</i> 0,75, 1,0, 1,25, 1,5 g L ⁻¹ untuk <i>F. religiosa</i> , <i>C. auriculata</i> , <i>C. gigantean</i> dan <i>P. Granatum</i> konsentrasi fosfat = 50 ppm, pH = 10,	87%, 97%, 89% untuk serbuk kulit kayu dari <i>F. religiosa</i> , <i>C. auriculata</i> , <i>P.g ranatum</i> ; 90% untuk bubuk batang <i>C. gigantean</i> ;	(M.D. Jyothi, 2012)

Jenis Biosorben	Nama Biosorben	Parameter	Kapasitas maksimum adsorpsi	Hasil Kondisi Optimal adsorpsi	% penyerapan	Ref
				Waktu = 300 menit	93%, 100%, 93% untuk abu kulit kayu <i>F. religiosa</i> , <i>C. auriculata</i> , <i>P. granatum</i> ; 94% untuk abu batang dari <i>C. gigantean</i>	
	Residu gandum yang dimodifikasi (MWS)	Konsentrasi sorben = 0,5–3,2 g L ⁻¹ , Ukuran partikel = 100–250 m, Konsentrasi fosfat. = 10–50 ppm, Waktu = 0–880 menit, T = 293–333 K, Kecepatan agitasi = 120 rpm	22,99 mg-1	Konsentrasi sorben = 2 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 50 ppm, Waktu = 15 menit, T = 293 K	92,5%	(X. Xu, 2009)
	Penukar Anion Lemah dibuat dari Residu Ligno-selulosa dari batang pisang	Konsentrasi sorben = 0,1 g/50 mL larutan fosfat, Ukuran partikel = 0,086 mm, Konsentrasi fosfat. = 10–75 ppm, pH = 2–10, Waktu = 1–180 menit, T = 303–333 K, Kecepatan pengadukan = 200 rpm	32,38 mg g ⁻¹ (Adsorpsi lapisan tunggal kapasitas: 72,46 mg g ⁻¹)	Konsentrasi sorben = 2 g L ⁻¹ , Ukuran partikel = 0,086 mm, konsentrasi fosfat = 75 ppm, pH = 5–7, Waktu = 120 menit, T = 303 K,	99%	(T.S. Anirudhan B. N., 2006)
	Sorben Lignoselulosa yang Diperlakukan Lantanum (La/JB01 dan La/JB02) dari kulit kayu juniper	Konsentrasi sorben = 0,035 g dalam 35 mL larutan P/L 0,032–14,5 mmol untuk eksperimen batch & 0,60 g dalam larutan P/L 0,32 mmol untuk studi kinetik, pH = awal (6,1±0,1), akhir (5,9–6,5), Waktu = 12–30 jam, T = TR	i) 0,188 (pH 6,39) untuk La/JB01 & 0,233 (pH 6,05) mmol P/g untuk La/JB02	Konsentrasi fosfat. = 0,32 mmol P/L, pH = 6,0 ±0,1, Waktu = 12 jam,	–	(E.W. Shin, 2005)

Jenis Biosorben	Nama Biosorben	Parameter	Biosorpsi maksimum kapasitas	Hasil Kondisi Optimal	% penyerapan	Ref
			penyerapan) ii) 0,211 untuk La/JBO1 & 0,351 mmol P/g untuk La/ JBO2 (pada saturasi situs permukaan)			
	Penukar anion jerami gandum (WS-AE)	Konsentrasi sorben = 2 g L ⁻¹ , Ukuran partikel = <250 m, konsentrasi Fosfat. = 50–500 ppm, T = 293 K, Kecepatan pengadukan = 120 rpm	45,7 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 2 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 500 mg P/L untuk dievaluasi kapasitas adsorpsi & 60–75 mg/L untuk uji adsorpsi kolom	–	(X. Xu B. G., 2010)
	Ampas tebu yang dimodifikasi (MSBG)	Konsentrasi sorben = 0,1-g/50-100 mL larutan fosfat, SBG mentah Ukuran partikel = 425 m, Konsentrasi fosfat. = 10–300 ppm, pH = 2–12, Waktu = 3 jam, T = 293–313 K, Kecepatan agitasi = 120 rpm	21,3 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 0,1 g, Konsentrasi fosfat. = 50 ppm, pH = netral, Waktu = 30 menit, T = 303 K	80%	(J. Zhang, 2012)
	Limbah eceng gondok (<i>Eichhornia crassipis</i>)	Konsentrasi sorben = 50 g/2,5 L larutan fosfat, Konsentrasi fosfat. = 17,50 ppm, Waktu = 20 hari, T = 288–293 K	0,32 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 50 g/ 2.5 L larutan fosfat, Waktu = 11 hari	36%	(X. Chen, 2010)
	Fe(III) diperlakukan <i>Stafilokok 1 usxylosus</i>	Konsentrasi sorben. = 0,5–5,0 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 10–300 ppm, Waktu = 240 menit, pH = 1–7, T = 283–303 K, Kecepatan agitasi = 150 rpm	70,92 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 0,5 g L ⁻¹ , konsentrasi fosfat = 50 ppm, pH = 3, Waktu = 60 menit		(M. Aryal, 2011)

Jenis Biosorben	Nama Biosorben	Parameter	Kapasitas maksimum Biosorpsi	Hasil Kondisi Optimal	% penyerapan	Ref
	Poli . aminofungsional terkoordinasi besi(III) (glycidylmethacrylate)- adsorben berbasis selulosa yang dicangkokkan [Fe (III) -AM-PGMACell]	Konsentrasi sorben = 0,02–0,2 g/50 mL, Ukuran partikel = 0,096 mm, konsentrasi fosfat = 25–400 ppm, pH = 2–12, T = 293–323 K, Kecepatan agitasi = 200 rpm	43,6 mg g ⁻¹	Konsentrasi sorben = 2 g L ⁻¹ , Konsentrasi fosfat = 50 ppm, pH 6, Waktu = 120 menit	98,2%	(T.S. Anirudhan P. S., 2011)
	Manik-manik kitosan yang dimodifikasi	Konsentrasi sorben = 0,2 g L ⁻¹ , Ukuran partikel. = 20–60 m, Konsentrasi fosfat. = 5–50 ppm, Waktu = 0–180 menit, T = 277, 288, 296 K, Kecepatan agitasi = 150 rpm	60,6 mgg ⁻¹	konsentrasi fosfat = 20 ppm, pH 3,5, Waktu = 50 menit, T = 288 K	-	(X. Liu, 2015)

Berdasarkan Tabel 1. mengenai Perbandingan jenis biosorben pada removal fosfat dalam air limbah dengan metode adsorpsi melalui beberapa jenis biosorben dan berbagai parameter seperti konsentrasi sorben, ukuran partikel, konsentrasi fosfat, kecepatan pengadukan, pH maka diperoleh penyerapan hasil adsorpsi terbaik menggunakan limbah kulit jeruk penyerapan sekitar 99,02%, batang pisang 99%, sabut kelapa 99%. Dari hasil penyerapan tersebut dapat dilihat bahwa beberapa biosorben menghasilkan hasil penyerapan yang lebih banyak sesuai dengan parameter yang digunakan.

4. STUDI MENGENAI KINETIKA ADSORPSI

1. Studi isotherm

Akurasi dan efektivitas proses adsorpsi sangat ditentukan oleh pemodelan dan interpretasi isotherm adsorpsi (N. Ayawei, 2017). mengklarifikasi bahwa sebagian besar teknik biosorpsi cocok dengan baik ke dalam dua model isotherm, Langmuir dan Freundlich kecuali dalam beberapa kasus seperti karbon aktif sabut-empulur (model Temkin) (P. Kumar, 2010), adsorben berbasis selulosa (model Sips) (T.S. Anirudhan P. S., 2011),

2. Kinetika adsorpsi

Kinetika adsorpsi mengatur faktor utama di balik penerapan setiap adsorben. Penanganan kinetika adsorpsi bentuk linier atau nonlinier berpengaruh terhadap distribusi kesalahan. Secara umum, bentuk linier telah digunakan untuk menggambarkan model kinetik terbaik. Kinetika adsorpsi juga menggambarkan laju adsorpsi, yang pada gilirannya menentukan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan. Model kinetik menyoroti jalur adsorpsi dan kemungkinan mekanisme yang terlibat. Ini adalah data penting untuk pengembangan sistem adsorpsi. Model kinetik dapat secara luas diklasifikasikan menjadi model reaksi dan model difusi (Y.S. Ho, 2000).

3. Studi desorpsi

Desorpsi, regenerasi anion teradsorpsi dan penggunaan kembali biosorben memiliki kepentingan utama dalam studi lingkungan. Desorpsi terjadi baik dengan perlakuan termal atau dengan bantuan agen desorpsi yang sesuai. Dalam ilmu permukaan, desorpsi telah dipelajari dengan menggunakan agen desorpsi. Secara eksperimental untuk menyelidiki studi desorpsi, metode konvensional dapat diikuti. Adsorben bermuatan fosfat disaring pada langkah pertama, dan kemudian kandungan fosfat diukur. Proses desorpsi yang cepat menunjukkan lemahnya interaksi antara anion fosfat dan permukaan biosorben (Aryal, 2011).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan studi penggunaan biosorben berbiaya rendah untuk adsorpsi anion fosfat, dapat disimpulkan bahwa penyerapan hasil adsorpsi terbaik dengan masing-masing penyerapan yaitu menggunakan limbah kulit jeruk penyerapan sekitar 99,02%, batang pisang 99%, sabut kelapa 99%, Arang bambu barbekyu 99,2%, Kulit telur limbah yang dikalsinasi, kerang 99,2%, Buluh alami (*Arundo donax*) 99%, Gambut termodifikasi dengan besi (III) 99%.

Berdasarkan hasil penyerapan yang diperoleh, ada beberapa parameter yang mempengaruhi proses adsorpsi sehingga diperoleh hasil yang maksimal, adapun parameter yang terlibat yaitu jenis biosorben dan berbagai parameter seperti konsentrasi, suhu, sorben, ukuran partikel, konsentrasi fosfat, kecepatan pengadukan, dan pH. Terdapat studi kinetika dalam proses adsorpsi yaitu studi isotherm, kinetika adsorpsi dan studi desorpsi

Penggunaan biosorben tanaman atau kayu seperti kulit, batang pisang, kerang untuk biosorpsi fosfat diamati lebih tinggi dari pada jenis lain seperti limbah eceng gondok, kayu kenari, fragmit, dan coir pith. Kemampuan pemuatan logam yang tinggi dari biosorbon sangat mempengaruhi adsorpsi fosfat.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Abdelhay, A. B.-O.-A.-T. (2018). Kinetic and thermodynamic study of phosphate removal from water by adsorption onto (*Arundo donax*) reeds. *Adsorpt. Sci. Technol*, 36(1-2), 46-61.
- A. Abeynaike, L. W. (2011). Pyrolysed powdered mussel shells for eutrophication control: effect of particle size and powder concentration on the mechanism and extent of phosphate removal.

Asia Pac. J. Chem. Eng, 6(2), 231-243.

- A. Robalds, L. D. (2016). A novel peat-based biosorbent for the removal of phosphate from synthetic and real wastewater and possible utilization of spent sorbent in land application, *Desalination Water Treat.* 57(28), 13285-13294.
- A.C.A. de Lima, R. N. (2012). Modified Coconut shell fibers: a green and economical sorbent for the removal of anions from aqueous solutions. *Chem. Eng. J.* , 274-284.
- A.H. Alabi, C. O. (2018). Biosorption of phosphate ion on *albizia lebbeck* seed pod with and without organic acid modification. *J. Appl. Sci. Environ. Manag*, 22(5), 647-658.
- Ali, I., & Gupta, V. (2006). *J. Stud. Isother. Chem. Assoc*, 2661-2667.
- B. Chen, Z. C. (2011). A novel magnetic biochar efficiency sorbs organic pollutants and phosphate. *Bio Technol*, 102(2), 716-723.
- B. Faraji, M. Z. (2020). , Phosphorus removal from aqueous solution using modified walnut and almond wooden shell and recycling as soil amendment. *Environ. Monit. Assess*, 312, 1-16.
- B.K. Biswas, K. I. (2007). The adsorption of phosphate from an aquatic environment using metal-loaded orange waste. *J. Colloid Interface Sci*, 312, 214-223.
- B.K. Biswas, K. I. (2008). Removal and recovery of phosphorus from water by means of adsorption onto orange waste gel loaded with zirconium. *Bio Technol*, 99(18), 8685-8690.

- C. Barca, C. G. (2012). Phosphate removal from synthetic and real wastewater using steel slags produced in Europe. *Water Res*, 46(7), 2376-2384.
- C. Coccozza, V. D. (2003). , Characterization of solid and aqueous phases of a peat bog profile using molecular fluorescence spectroscopy, ESR and FT-IR, and comparison with physical properties, *Org. Geochem*, 34(1), 49-60.
- C. Fang, T. Z. (2014). Application of magnesium modified corn biochar for phosphorus removal and recovery from swine wastewater. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health*, 11(9), 9217-9237.
- C. Namasivayam, A. S. (2005). Technical Note Removal of phosphate by adsorption onto oyster shell powder—kinetic studies. *J. Chem. Technol. Biotechnol*, 80(3), 356-358.
- C.H. Wang, S. G. (2011). Effectiveness of sequential thermal and acid activation on phosphorus removal by ferric and alum water treatment residuals. *Chem. Eng. J.*, 172, 885-891.
- Cherdchoo W, N. S. (2019). Penghapusan Cr (VI) dari air limbah sintetis dengan adsorpsi ke bubuk kopi dan teh limbah campuran. 221, hal. 758-767.
- D. Karadag, Y. K. (2007). A comparative study of linear and non- linear regression analysis for ammonium exchange by clinoptilolite zeolite. *J. Hazard Mater* , 144(1-2), 432-437.
- D.J. Jeon, S. Y. (2009). Recycling wasted biomaterial, crab shells, as an adsorbent for the removal of high concentration of phosphate. *Bio Technol*, 100(9), 2646-2649.
- Duenas, J., Alonso, J., Rey, A., & Ferrer, A. (2003). Characterisation of phosphorous forms in wastewater treatment plants. *J. Hazard Mater*, 97(1-3), 193-205.
- E.W. Shin, K. K. (2005). Orthophosphate sorption onto lanthanum-treated lignocellulosic sorbents. *Environ. Sci. Technol*, 39(16), 6273-6279.
- F. Peng, P. H. (2012). Adsorption of phosphate by biomass char deriving from fast pyrolysis of biomass waste. *Clean: Soil, Air, Water*, 40, 493-498.
- Fomina, M., & Gadd, G. (2014). Biosorption: current perspectives on concept, definition and application. *Bio Technol*, 3-14.
- Friess, W. (1998). Collagen-biomaterial for drug delivery, *Eur. J. Pharm. Biopharm*, 45(2), 113-136.
- G. Lyngsie, O. B. (2014). A three step test of phosphate sorption efficiency of potential agricultural drainage filter materials. *Water Res*, 51, 256-265.
- G. Markou, D. M. (2016). Biosorption and retention of orthophosphate onto Ca(OH)₂-pretreated biomass of Phragmites sp. *J. Environ. Sci*, 45, 49-59.
- G. Markou, D. M. (2016). Biosorption and retention of orthophosphate onto Ca(OH)₂-pretreated biomass of Phragmites sp. *J. Environ. Sci*, 45, 49-59.

- G.J.M. Rocha, C. M. (2011). Dilute mixed-acid pretreatment of sugarcane bagasse for ethanol production. *Biomass Bioenergy*, 35(1), 663-670.
- I. S̆afa`rık, K. N. (1997). Adsorption of water-soluble organic dyes on magnetic charcoal. *J. Appl. Chem. Biotechnol*, 69(1), 1-4.
- Ighalo JO, I. C. (2020). Mitigasi polusi metronidazol (Flagyl) dalam media berair dengan adsorpsi: ulasan. 9(1), hal. 137-148.
- Igwegbe CA, O. S. (2021). Adsorpsi ciprofloxacin dari air: tinjauan komprehensif. 93, hal. 57-77.
- Ismail, Z. (2012). Kinetic study for phosphate removal from water by recycled date- palm wastes as agricultural by-products, . *Int. J. Environ. Stud*, 69, 135-149.
- J. Chen, Y. C. (2013). Equilibrium and kinetic studies of phosphate removal from solution onto a hydrothermally modified oyster shell. *Material*, 8(4), 60243.
- J. Das, B. P. (2006). Adsorption of phosphate by layered double hydroxides in aqueous solutions, *Appl. . Clay Sci*, 32(3-4), 252-260.
- J. Li, G. L. (2014). Modification and use of biochar from wheat straw (*Triticum aestivum* L.) for nitrate and phosphate removal from water. *Desalination Water Treat*, 57(10), 4681-4693.
- J. Zhang, W. S. (2012). Kinetic and equilibrium studies of liquid-phase Adsorption of phosphate on modified sugarcane bagasse. *J. Environ. Eng.*, 138(3), 252-258.
- J.B. Xiong, Q. M. (2010). Adsorptive removal of phosphate from aqueous media by peat. *Desalination*, 259(1-3), 59-64.
- J.Chang, W. (2012). Effect of steam explosion and microbial fermentation on cellulose and lignin degradation of corn stover. *Bioresour. Technol*, 104, 587-592.
- J.H. Yuan, M. H. (2014). 52, 37-39.
- J.H. Yuan, M. H. (2014). Kinetic and thermodynamic behavior of the batch adsorption of phosphate from aqueous solutions onto environmentally friendly barbecue bamboo charcoal. *Desalination Water Treat*, 150(3), 37-39.
- K. Riahi, B. T. (2009). Biosorption characteristics of phosphates from aqueous solution onto Phoenix dactylifera L. date plum fibres. *J. Hazard Mater*, 170(2-3), 511-519.
- K.A. Krishnan, A. H. (2008). Removal of phosphate from aqueous solutions and sewage using natural and surface modified coir pith. *J. Hazard Mater*, 152(2), 527-535.
- K.G. Karthikeyan, M. T. (2004). Solution chemistry effects on orthophosphate adsorption by cationized solid wood residues. *Environ. Sci. Technol*, 170, 30-37.
- K.G. Karthikeyan, M. T. (2022). Use of Lignocelluloses Materials for Sorption Media for Phosphorus Removal, ASAE Annual International Meeting/ CIGR XVth World Congress. *Chicago, Illinois, USA*, 99, 28-31.
- L.Q. Chu, R. M. (2010). Base-induced delignification of *Miscanthus giganteus* studied by three-

- dimensional confocal Raman imaging. *Bio Technol*, 101, 4919-4925.
- Laszlo, J. J. (1998). Biodegradability of quaternized, crosslinked sugarcane bagasse. *J. Environ. Polym. Degrad*, 6, 73-78.
- M. Aryal, M. L.-K. (2011). kinetics and thermodynamic studies on phosphate biosorption from aqueous solutions by Fe(III)-treated *Staphylococcus xylosus* biomass: common ion effect, *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp*, 387(1), 43-49.
- M.A. Tshabalala, K. K. (2004). Cationized milled pine bark as an adsorbent for orthophosphate anions. *J. Appl. Polym. Sci.*, 93(4), 1577-1583.
- M.C. Martins, E. S. (2017). First study on oyster-shell-based phosphorus removal in saltwater- A proxy to effluent bioremediation of marine aquaculture. *Sci. Total Environ*, 574, 605-615.
- M.C. Martins, E. S. (2017). Marques, First study on oyster-shell-based phosphorus removal in saltwater- A proxy to effluent bioremediation of marine aquaculture. *Sci. Total Environ*, 574, 605-615.
- M.D. Jyothi, K. K. (2012). Phosphate pollution control in waste waters using new bio-sorbents. *Int. J. Water Resour. Environ. Eng*, 4(4), 73-85.
- Mezenner, N. (2009). A. Bensmaili, Kinetics and thermodynamic study of phosphate adsorption on iron hydroxide-eggshell waste. *Chem. Eng. J.* , 147(2-3), 87-96.
- Muhaisen, L. (2016). Lemon peel as natural biosorbent to remove phosphate from simulated wastewater. *J. Eng. Develop*, 20, 163-173.
- N. Ayawei, A. E. (2017). Modelling and interpretation of adsorption isotherms. *J. Chem*.
- N. Chen, W. H. (2014). Removal of phosphorus from water using scallop shell synthesized ceramic biomaterials, . *Environ. Earth Sci*, 71, 2133-2142.
- N. Kannan, M. S. (2001). Kinetics and mechanism of removal of methylene blue by adsorption on various carbon – a comparative study. *Dyes Pigments*, 51(1), 25-40.
- N.A. Evans, B. M. (1987). Collagen cross linking: new binding sites for mineral tannage. *J. Am. Leather Chem. Assoc*, 82, 85-95.
- Naskar, N., & Banerjee, K. (2020). Development of sustainable extraction method for long-lived radioisotopes, ¹³³Ba and ¹³⁴Cs using a potential bio-sorbent, *J. Radioanal. Nucl. Chem*, 325, 587-593.
- Naskar, N., Choudhury, D., Basu, S., & Banerjee, K. (2019). Separation of NCA ⁸⁸Zr from proton irradiated natY target: a novel approach using low cost bio-sorbent potato peel charcoal, *J. Radioanal. Nucl. Chem*, 322(1), 231-235.
- O. Eljamal, J. O. (2013). Phosphorus sorption from aqueous solution using natural materials. *Environ. Earth Sci*, 68, 859-863.
- Oguz, E. (2004). Removal of phosphate from aqueous solution with blast

- furnace slag, . *J. Hazard Mater*, 114(1-3), 131-137.
- P. Kumar, S. S. (2010). Phosphate removal from aqueous solution using coir-pith activated carbon. *Separ. Sci. Technol*, 45(10), 1463-1470.
- P. Mondal, C. M. (2008). Effects of adsorbent dose, its particle size and initial arsenic concentration on the removal of arsenic, iron and manganese from simulated ground water by Fe³⁺ impregnated activated carbon. *J. Hazard Mater*, 150(3), 695-702.
- P.K. Gupta, S. R. (2019). An update on overview of cellulose, its structure and applications, in: A.R. Pascual, M.E. Martín (Eds.). *Cellulose, IntechOpen*, 846-1297.
- Q.Y. Yue, W. W. (2010). Phosphate removal from aqueous solution by adsorption on modified giant reed. *Water Environ. Res*, 82, 374-381.
- R. Mallampati, S. V. (2013). Apple peels-A versatile biomass for water purification. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 5(10), 4443-4449.
- Razzaque, M. (2011). Phosphate toxicity: new insights into an old problem, *Clin. 120(3)*, 91-97.
- S. Benyoucef, M. A. (2011). Adsorption of phosphate onto low cost Aleppo pine adsorbent, *Desalination* . 275(1), 231-236.
- S. Inkoua, H. M. (2020). Facile solvothermal synthesis of Fe₃O₄/magnetic grapefruit peel for adsorptive removal of Congo red, humic acid and phosphate from aqueous solutions. *Mater Express* , 10, 37-44.
- S. Ohura, H. H. (2011). Phosphorus recovery from secondary effluent and side-stream liquid in a sewage treatment plant using zirconium-loaded saponified orange waste . *J. Mater. Cycles Waste Manag*, 13(4), 293-297.
- S. Srivastava, P. G. (2010). Biomaterials – Decontamination of Toxic Metals from Wastewater. *Springer, Heidelberg Dordrecht London, New York*.
- S.E. Hale, V. A. (2013). Cornelissen, The sorption and desorption of phosphate-P, ammonium- N and nitrate-N in cacao shell and corn biochars. *Chemosphere*, 91(11), 1612-1619.
- S.H. Yeom, K. J. (2009). Recycling wasted scallop shell as an adsorbent for the removal of phosphate. *J. Ind. Eng. Chem*, 15(1), 40-44.
- Simkovick, I. (1999). Preparation of anion exchangers from beech sawdust and wheat straw. *Ind. Crop. Prod*, 10(3), 167-173.
- T.A.H. Nguyen, H. N. (2004). Phosphorus elimination from aqueous solution using zirconium loaded okara as a biosorbent. *Bio Technol* , 170, 30-37.
- T.A.H. Nguyen, H. N. (2013). Feasibility of iron loaded okara for biosorption of phosphorus in aqueous solutions. *Bio Technol*, 150(1), 42-49.
- T.A.H. Nguyen, H. N. (2014). A comparative study on different metal loaded soybean milk by-product okara for biosorption of phosphorus from aqueous solution. *Bio Technol*, 169, 291-298.

- T.A.H. Nguyen, H. N. (2014). A comparative study on different metal loaded soybean milk by-product okara for biosorption of phosphorus from aqueous solution. *169*, hal. 291-298.
- T.E. Ko "se, B. K. (2011). Adsorption of phosphate from aqueous solutions using calcinated waste eggshell. *Chem. Eng. J*, *178*, 34-39.
- T.L. Eberhardt, S. M. (2006). Phosphate removal by refined aspen wood fibre treated with carboxymethyl cellulose and ferrous chloride. *Bio Technol*, *97(18)*, 2371-2376.
- T.L. Eberhardt, S. M. (2008). Bioadsorbents prepared from wood particles treated with anionic polymer and iron salt: effect of particle size on phosphate adsorption. *Bio Technol*, *170(2-3)*, 626-230.
- T.S. Anirudhan, B. N. (2006). Phosphate removal from wastewaters using a weak anion exchanger prepared from a lignocellulosic residue, *Environ . Sci. Technol*, *40(8)*, 2740-2745.
- T.S. Anirudhan, P. S. (2011). Adsorption of phosphate ions from water using a novel cellulose-based adsorbent. *Chem. Ecol*, *27(2)*, 147-164.
- T.S. Anirudhan, S. R. (2009). Preparation and application of a novel functionalized coconut coir pith as a recyclable adsorbent for phosphate removal. *Separ. Sci. Technol*, *44(12)*, 2774-2796.
- Tran, H., Nguyen, H., Woo, S., Nguyen, T., Vigneswaran, S., Bandegharaei, A. H., . . . Bui, T. (2019). Removal of various contaminants from water by renewable lignocellulose-derived biosorbents: a comprehensive and critical review, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol*, *49(23)*, 2155-2219.
- Vijayaraghavan, K., & Yun, Y. (2008). Bacterial biosorbents and biosorption, *Biotechnol. Adv*, *26(1)*, 266-291.
- W. Cao, Z. D. (2011). Removal of sulphate from aqueous solution using modified rice straw, *Carbohydr. Polym*, *85(3)*, 571-577.
- W.S. Carvalho, D. M. (2011). Phosphate adsorption on chemically modified sugarcane bagasse fibres . *Biomass Bioenergy*, *35*, 3913-3919.
- X. Chen, X. C. (2010). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) waste as an adsorbent for phosphorus removal from swine wastewater. *Bio Technol*, *101(23)*, 9025-9030.
- X. Liu, L. Z. (2015). Removal of phosphate anions using the modified chitosan beads: adsorption kinetic, isotherm and mechanism studies. *Powder Technol*, *227*, 112-119.
- X. Wang, Z. L. (2015). Removing phosphorus from aqueous solutions using lanthanum modified pine needles. *10(12)*, 1-16.
- X. Xu, B. G. (2009). Adsorption of phosphorus from aqueous solutions onto modified wheat residue: characteristics, kinetic and column studies. *Colloids Surf. B Biointerfaces* , *70(1)*, 46-52.
- X. Xu, B. G. (2010). Preparation of agricultural by-product based anion exchanger and its utilization for nitrate and phosphate removal. *Bio Technol*, *101(22)*, 8558-8564.

- X. Yuan, C. B. (2015). Phosphate adsorption characteristics of wasted low-grade iron ore with phosphorus used as natural adsorbent for aqueous solution. *Desalination Water Treat*, 54(11), 3020-3030.
- X.P. Liao, Y. D. (2006). Adsorption behavior of phosphate on metal-ions-loaded collagen fiber. *Ind. Eng. Chem. Res*, 45(11), 3896-3901.
- Y.S. Ho, J. N. (2000). Kinetic of pollutant sorption by biosorbents review, . *Separ. Purif. Rev*, 92(2), 189-232.
- Z. Yi, X. S. (2013). Phosphorus removal from domestic sewage by adsorption combined photocatalytic reduction with red mud . *Desalination Water Treat*, 51, 7130-7136.