

## BIO ADSORBENT SERBUK KAYU NANGKA SEBAGAI PENJERAP ION Pb(II) DARI LARUTAN

Tintin Mutiara<sup>1</sup>, Lucky Wahyu Nuzulia Setyaningsih<sup>1</sup>, Muh. Wahyu Syabani<sup>2</sup>,  
Khairunisa Betariani<sup>1</sup>, Qonita Usthufiya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik, Politeknik ATK Yogyakarta

Email: tintin.mutiara@uii.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini dilaksanakan untuk mempelajari karakteristik bio adsorbent (penjerap) dari serbuk kayu nangka dan meneliti kemungkinannya sebagai penjerap ion logam berat dari larutan. Percobaan adsorpsi dilakukan untuk menghitung kapasitas penjerapan bio adsorbent. Penelitian ini membuktikan bahwa pH larutan mempengaruhi perilaku penjerapan, dengan menaikkan nilai pH dari 2 hingga 4, maka kapasitas penjerapan juga meningkat. pH optimum larutan untuk penjerapan ion Pb(II) ke dalam bio adsorbent adalah pH 4. Model kinetika orde dua cocok untuk menggambarkan proses penjerapan ion Pb(II) ke dalam bio adsorbent. Dari perhitungan model kinetika, diperoleh nilai kapasitas penjerapan pada kesetimbangan adalah 1,91 mg/g. Hasil analisa FTIR menunjukkan bahwa ikatan C-H, gugus karbonil -C=O dan gugus nitril -C≡N memberikan kontribusi pada pengikatan ion Pb(II) di permukaan bio adsorbent.

**Kata Kunci:** Adsorbent, Kayu Nangka, Pb(II), Logam Berat, Serbuk Kayu

### Abstract

This work was conducted to study the characteristics of bio adsorbent of untreated jackfruit wood sawdust and to investigate its possibility as an adsorbent of heavy metals from aqueous solutions. Adsorption experiments were conducted to determine the adsorption capacity of bio adsorbent. This study proved that pH solutions affected on adsorption behaviour, increasing the pH from 2 to 4, also followed by the increase of adsorption capacity of bio adsorbent. The optimum pH solution for the adsorption of Pb(II) ions onto the bio adsorbent was pH 4. Second-order kinetics model was perfectly illustrated the adsorption process of Pb(II) ions onto bio adsorbent. From the calculation based on kinetics model, the value of the adsorption capacity of bio adsorbent at equilibrium was 1,91 mg/g. FTIR spectra indicated that C-H bond, carbonyl group -C=O and nitrile group -C≡N had a significant role in Pb(II) binding to bio adsorbent surface.

**Keywords:** Adsorbent, Heavy Metal, Jackfruit Wood, Pb(II), Sawdust

## 1. PENDAHULUAN

Logam berat adalah logam yang memiliki berat jenis lebih dari 5 g/cm<sup>3</sup> seperti arsenik, kadmium, kromium, tembaga, timbal, merkuri, nikel dan seng mampu mencemari air (Kobielska *et al.*, 2018). Logam tersebut adalah komponen yang tidak dapat diuraikan oleh lingkungan dan cenderung untuk terakumulasi di dalam organisme yang pada akhirnya menimbulkan berbagai macam gangguan dan penyakit (Manzoor *et al.*, 2013). Logam berat sebenarnya dibutuhkan pada proses industri namun pembuangan limbahnya kadang masih

mengandung sejumlah tertentu logam berat yang mampu menjadi ancaman bagi kesehatan manusia dan lingkungan.

Sejumlah metode telah diaplikasikan untuk menghilangkan logam berat dari larutan, meliputi metode presipitasi (Fan *et al.*, 2017), proses menggunakan membran (Zhaoa *et al.*, 2018; Martin *et al.*, 2018; Feng *et al.*, 2018), adsorpsi (Zare *et al.*, 2018), *ion exchange* (Tavakoli *et al.*, 2017), dan lain-lain. Namun, beberapa dari metode tersebut tidak begitu efektif, mahal dan membutuhkan input energi yang besar. Oleh karena itu, kajian untuk menemukan proses baru yang lebih efisien dan murah untuk penghilangan logam berat dari limbah cair masih diperlukan.

Adsorpsi telah terbukti sebagai metode yang tepat untuk pengolahan air. Pada umumnya, air limbah mengandung logam berat dengan konsentrasi yang rendah dan adsorpsi telah terbukti mampu mengolah limbah logam berat dengan konsentrasi yang sangat rendah hingga 1 mg/L (Tripathi dan Ranjan, 2015). Disamping itu, proses adsorpsi membutuhkan biaya yang lebih rendah, desainnya sederhana dan mudah dioperasikan (Jusoha *et al.*, 2007).

Penelitian terbaru mengenai potensi serbuk kayu pada proses penghilangan logam berat dari larutan, diantaranya dilakukan oleh Salazar-Rabago dan Leyva (2016) meneliti mengenai proses adsorpsi ion Pb(II) pada serbuk kayu pinus putih yang telah dimodifikasi dengan asam. Feng dan Zhang (2013) meneliti kemampuan residu *Chinese ephedra* dalam penghilangan ion Pb(II) dari larutan. Bozic *et al.*, (2013) mempelajari kinetika, mekanisme dan proses kesetimbangan adsorpsi ion logam berat oleh serbuk kayu Beech. Selain itu, ekstraksi logam berharga dari limbah industri menggunakan serbuk pinus yang dimodifikasi dengan gugus thiourea dilakukan oleh Losev *et al.*, (2018).

Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, terbukti bahwa serbuk kayu nangka alami memiliki kapasitas penjerapan 30% lebih besar bila dibandingkan dengan serbuk kayu nangka yang dimodifikasi dengan asam asetat, pada konsentrasi ion logam mula-mula 24 ppm (Mutiarra *et al.*, 2018). Pada penelitian ini dilakukan percobaan adsorpsi pada serbuk kayu nangka tanpa modifikasi kimia untuk mengetahui kinetika penjerapan ion Pb(II), pengaruh kecepatan putar dan pH terhadap kapasitas penjerapan.

## 2. METODE PENELITIAN

### Bahan

Serbuk kayu nangka yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari industri penggergajian kayu di daerah Sleman, Yogyakarta. Bahan kimia yang digunakan untuk membuat limbah sintetis adalah  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  dan semua larutan dibuat dengan menggunakan air distilasi sebagai pelarut, sedangkan pH larutan dikendalikan menggunakan NaOH dan HCl.

### Persiapan Bahan Baku

Serbuk kayu nangka yang merupakan limbah industri penggergajian, pertama-tama dihaluskan kembali menggunakan *blender*. Setelah serbuk menjadi lebih halus, serbuk di cuci menggunakan air distilasi untuk memastikan serbuk terbebas dari kotoran. Setelah ditiriskan, serbuk dikeringkan di dalam oven selama 24 jam pada suhu 80 °C. Setelah kering, kemudian serbuk diayak menggunakan saringan 80 mesh untuk mendapatkan serbuk dengan ukuran yang seragam.

### Analisa penjerapan ion Pb(II)

*Pengaruh pH larutan terhadap kapasitas penjerapan.*

Serbuk kayu nangka seberat 0,5 gram dicampur dengan 100 ml larutan Pb(II) dengan konsentrasi dan pH yang telah ditentukan yaitu 2, 3, 4, 5, dan 6. Campuran diaduk dengan kecepatan 250 rpm menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam kemudian didiamkan 24 jam. Sampel diambil untuk dianalisa konsentrasinya menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS).

Untuk menghitung jumlah ion Pb(II) yang terjerap di dalam serbuk kayu nangka, digunakan persamaan berikut:

$$q_e = \frac{(c_o - c_e)V}{w} \quad (1)$$

Efisiensi penjerapan atau *percent removal* (R%) dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$R\% = \frac{(c_o - c_e)}{c_o} \times 100\% \quad (2)$$

dimana kapasitas penjerapan  $q_e$  (mg/g) adalah banyaknya ion Pb(II) yang terjerap pada tiap gram *adsorbent* pada kesetimbangan,  $c_o$  dan  $c_e$  (mg/l) adalah konsentrasi larutan Pb(II) mula-mula dan pada kesetimbangan. V (liter) adalah volume larutan Pb(II) dan W (g) adalah massa *adsorbent*.

*Kinetika penjerapan ion Pb(II) ke dalam bio adsorbent serbuk kayu nangka.*

Serbuk kayu nangka seberat 2,5 gram direndam dalam 500 ml larutan Pb(II) dengan konsentrasi dan pH yang telah ditentukan. Campuran diaduk dengan kecepatan 250 rpm. Sampel diambil pada tiap waktu yang ditentukan, kemudian konsentrasinya dianalisa menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS).

Kinetika penjerapan ion Pb(II) dianalisa menggunakan model kinetika Lagergren orde satu dan orde dua. Model kinetika Lagergren orde satu adalah sebagai berikut:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (3)$$

Dengan kondisi batas, saat  $t = 0$  maka  $q_t = 0$  dan saat  $t = t$  maka  $q_t = q_t$ , Persamaan (3) menjadi,

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (4)$$

Dimana  $q_t$  (mg/g) adalah banyaknya ion logam terjerap saat waktu  $t$  (menit) ;  $k_1$  adalah konstanta kecepatan (1/menit) ;  $q_e$  (mg/g) adalah banyaknya ion logam terjerap pada kesetimbangan. Konstanta kecepatan  $k_1$  dapat ditentukan dengan memplotkan nilai  $\ln(q_e - q_t)$  terhadap nilai  $t$ .

Persamaan Lagergren orde dua adalah:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (5)$$

Dengan kondisi batas jika  $t = 0$  maka  $q_t = 0$  dan jika  $t = t$  maka  $q_t = q_t$ . Persamaan 5 menjadi:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (6)$$

Dimana  $k_2$  (g/mg.min) adalah konstanta kecepatan persamaan orde dua. Nilai  $k_2$  dan  $q_e$  diperoleh dari *slope* dan *intercept* grafik  $t/q_t$  terhadap  $t$ .

### **Karakterisasi Serbuk Kayu Nangka**

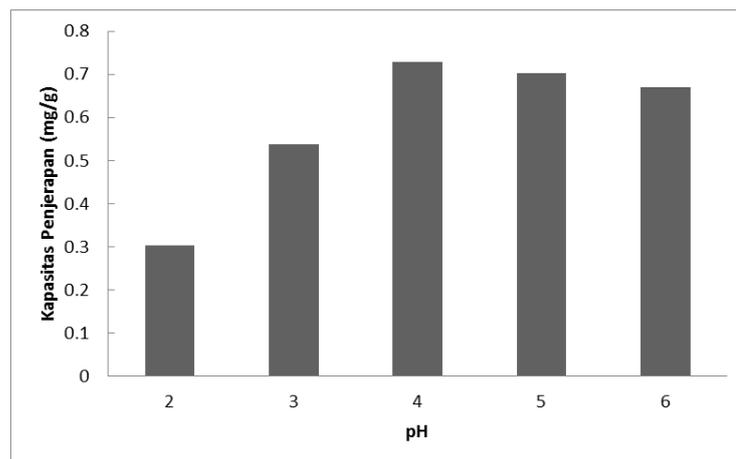
Gugus fungsional diidentifikasi menggunakan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) *spectroscopy*. Spektrum FTIR dari serbuk kayu nangka dicatat pada kisaran panjang gelombang 4000 hingga 400  $\text{cm}^{-1}$  dengan Shimadzu IR Prestige 21 Fourier Transform Infrared Spectroscopy. Spektrum FTIR serbuk kayu nangka sebelum dan sesudah proses penjerapan dibandingkan, untuk mengetahui gugus fungsional yang berhubungan dengan proses penjerapan ion Pb(II) ke dalam serbuk kayu nangka.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Pengaruh pH terhadap kapasitas penjerapan

Gambar 1 menunjukkan pengaruh pH terhadap kapasitas penjerapan *bio adsorbent* serbuk kayu nangka. pH yang ditentukan pada penelitian ini adalah 2, 3, 4, 5 dan 6. Kapasitas penjerapan mengalami peningkatan seiring peningkatan nilai pH pada larutan dengan pH 2 hingga 4. Pada larutan asam kapasitas penjerapan menurun karena pada satu situs aktif yang sama di permukaan serbuk kayu dimana pertukaran ion dapat terjadi, terdapat persaingan antara ion logam dengan proton  $H^+$  (Bozic *et al.*, 2013). Pada pH yang lebih tinggi konsentrasi ion  $H^+$  lebih rendah dan situs aktif mampu untuk melakukan pertukaran alkali dan alkalin dari *adsorbent* dengan ion logam berat dari larutan (Volesky dan Holan, 1995).

Namun, kemampuan penjerapan mulai menurun saat larutan memiliki pH 5 hingga 6. Hal ini terjadi karena pada pH di atas 5, diketahui di dalam larutan terjadi hidrolisis ion  $Pb(II)$  dan terbentuk endapan tak larut timbal hidroksida (Park *et al.*, 1999) yang mempengaruhi kapasitas penjerapan *adsorbent*. Dari percobaan diketahui bahwa pH maksimum untuk penjerapan ion  $Pb(II)$  menggunakan serbuk kayu nangka adalah pH 4, dengan nilai *percent removal* (R%) 93,7%. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian Meena *et al.* (2008) dan Feng dan Zhang (2013) dengan *percent removal* (R%) pada pH 4 masing-masing kurang dari 80%, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa serbuk kayu nangka menunjukkan hasil yang sangat baik dalam menghilangkan kandungan ion  $Pb(II)$  dari larutan.



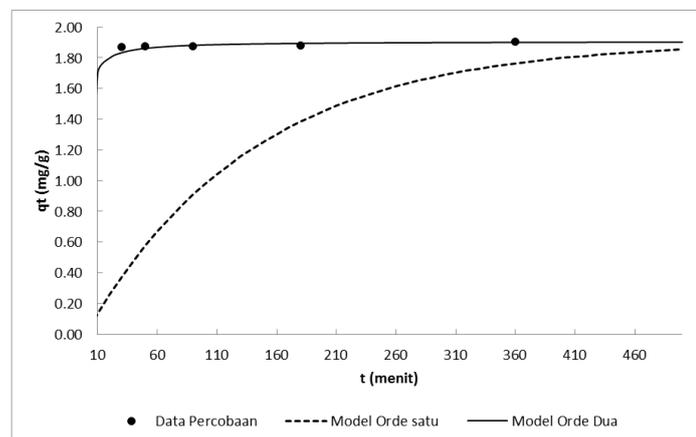
**Gambar 1.** Pengaruh pH terhadap kapasitas penjerapan ion  $Pb(II)$  ke *bio adsorbent* serbuk kayu nangka.

### Kinetika penjerapan ion Pb(II)

Tinjauan kinetika penjerapan menjelaskan kecepatan pengambilan zat terlarut dan membuktikan pengendali kecepatan pengambilan tersebut pada batas muka larutan-padatan, termasuk proses difusi. Mekanisme penjerapan tergantung pada karakter fisika dan kimia *adsorbent* dan proses transfer masa (Metcalf dan Eddy, 2003). Kinetika penjerapan ion Pb(II) pada penelitian ini dimodelkan dengan model kinetika Lagergren orde satu dan orde dua, dengan hasil seperti tersaji pada Gambar 2 dan Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 2 dapat dilihat bahwa model kinetika orde dua dapat mewakili peristiwa penjerapan ion Pb(II) ke dalam *bio adsorbent* serbuk kayu nangka. Model orde dua didasarkan pada asumsi bahwa batasan kecepatan dimungkinkan oleh sorpsi kimia yang melibatkan gaya valensi melalui penggunaan bersama atau pertukaran ion antara ion Pb(II) dengan *adsorbent* (Feng dan Zhang, 2013).

Dari model kinetika orde dua dapat diketahui nilai kapasitas penjerapan pada kesetimbangan yaitu 1,91 mg/g dan waktu optimum penjerapan adalah 360 menit. Setelah itu kapasitas penjerapan masih mengalami peningkatan namun nilainya sangat kecil yaitu kurang dari  $10^{-3}$  mg/g.



**Gambar 2.** Model kinetika Lagergren orde satu dan orde dua penjerapan ion Pb(II) dalam serbuk kayu nangka. Massa serbuk kayu 2,5 gram, konsentrasi ion Pb(II) mula-mula 10,4 mg/L, dan volume larutan 500 mL.

**Tabel 1.** Nilai parameter model kinetika Lagergren orde satu dan orde dua penjerapan ion Pb(II) dalam serbuk kayu nangka

<i>Bio adsorbent</i>	$q_e$ (mg/g)	Model orde satu		Model orde dua	
		$k_1$ (1/min)	SSE	$k_2$ (g/mg.min)	SSE
Serbuk kayu nangka	1,91	0,0072	5,1413	0,435	0,0033

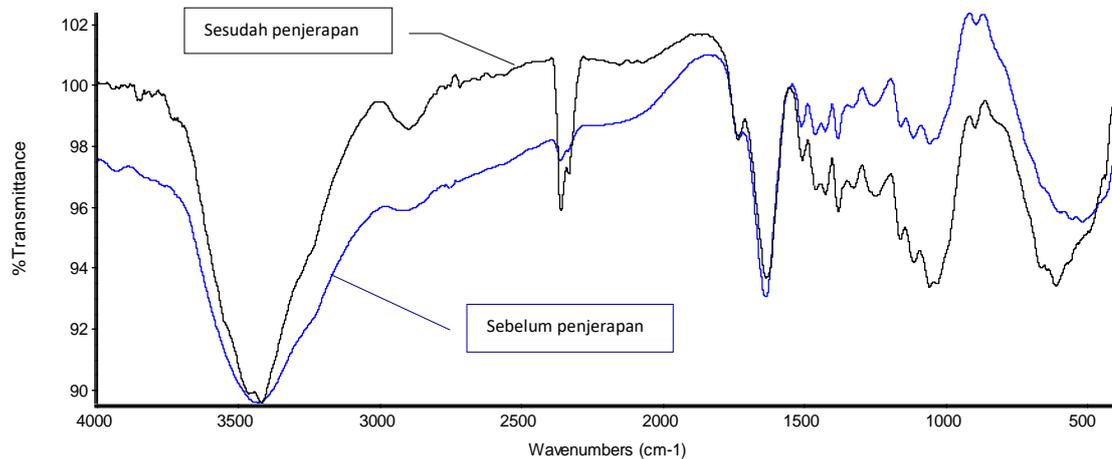
### Spektrum FTIR

Spektrum infra merah serbuk kayu nangka alami dengan serbuk kayu nangka dengan kandungan ion Pb(II) diperoleh dengan menggunakan Shimadzu IR Prestige 21 Fourier Transform Infrared Spectroscopy. Spektroskopi infra merah adalah salah satu teknik spektroskopi yang umum digunakan untuk komponen organik dan anorganik. Gambar 3 menunjukkan sejumlah puncak absorpsi yang menandakan keberadaan gugus-gugus fungsional yang dimiliki oleh serbuk kayu nangka. Pada Gambar 3 dibandingkan antara puncak absorpsi yang dimiliki oleh serbuk kayu nangka sebelum dengan serbuk kayu nangka setelah proses penjerapan ion Pb(II).

Analisa FTIR menunjukkan puncak pada panjang gelombang  $3431\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan keberadaan gugus hidroksil  $-\text{OH}$  dan amina  $-\text{NH}$ . Puncak pada  $2362\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus nitril  $-\text{C}\equiv\text{N}$ . Puncak di  $1636\text{ cm}^{-1}$  mewakili gugus  $-\text{C}=\text{O}$  yang mungkin berasal dari gugus karboksil atau gugus ester. Puncak pada  $1510\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan keberadaan gugus karbonil  $-\text{C}=\text{O}$ , puncak pada  $1426\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus  $\text{CH}_3$ , puncak di  $1380\text{ cm}^{-1}$  menandakan vibrasi  $\text{NO}_2$ , puncak pada  $1256\text{ cm}^{-1}$  menandakan keberadaan  $\text{SO}_3$ , puncak pada  $1058\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya C-O dari polisakarida, dan puncak pada  $517\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan gugus  $-\text{CN}$ .

Terdapat pergeseran puncak antara serbuk kayu nangka alami dan serbuk kayu nangka yang mengandung ion Pb(II), menandakan peran gugus-gugus fungsi dalam pengikatan ion Pb(II) di permukaan serbuk kayu. Munculnya puncak pada panjang gelombang  $2900\text{ cm}^{-1}$  gugus fungsional C-H dari golongan metil dan metilena dan muncul puncak pada  $1735\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan adanya  $-\text{C}=\text{O}$  dari gugus karboksilat. Selain itu, intensitas puncak gelombang mengalami peningkatan setelah proses penjerapan yaitu pada panjang gelombang  $2360$  dan  $1510\text{ cm}^{-1}$  yang menandakan keberadaan gugus nitril  $-\text{C}\equiv\text{N}$  dan gugus karbonil  $-\text{C}=\text{O}$ . Berdasarkan analisa spektrum FTIR dapat diketahui bahwa gugus fungsional yang

berperan pada proses penjerapan ion logam Pb(II) oleh serbuk kayu nangka adalah ikatan C–H dari golongan metil dan metilena, gugus karbonil –C=O dan gugus nitril –C≡N yang ditandai dengan kemunculan puncak baru dan peningkatan intensitas. Gugus fungsi C–H dan C=O umum terdapat pada material tanaman yang kaya akan selulosa (Losev *et al.*, 2018), dan terutama gugus fungsi C=O dan CN terlibat pada proses biosorpsi (Vinodhini dan Das, 2009).



**Gambar 3.** Perbandingan spektrum infra merah serbuk bio *adsorbent* kayu nangka sebelum dan setelah proses penjerapan

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa *bio adsorbent* dari serbuk kayu nangka dapat menjadi *adsorbent* yang efektif dalam menyerap ion logam Pb(II) dari larutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH larutan berperan penting pada penjerapan ion Pb(II), pada pH 2 hingga 4 kapasitas penjerapan naik seiring dengan kenaikan nilai pH, namun kemampuan penjerapan mengalami penurunan pada pH larutan 5 hingga 6. Kinetika penjerapan ion Pb(II) ke dalam *bio adsorbent* serbuk kayu nangka terwakili dengan baik oleh model kinetika orde dua dengan persamaan:  $\frac{t}{q_t} = \frac{1}{1,582} + \frac{1}{1,91}t$ , dengan nilai SSE sebesar 0,0033. Analisa FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsional yang berperan pada proses penjerapan ion Pb(II) oleh serbuk kayu nangka. Dari spektrum infra merah diketahui bahwa ikatan C–H dari golongan metil dan metilena, gugus karbonil –C=O dan gugus nitril –C≡N memberikan kontribusi pada pengikatan ion Pb(II) di permukaan *bio adsorbent*.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Bozic, D., Gorgievski, M., Stankovic, V., Strbac, N., Serbula, S., Petrovic, N., (2013), Adsorption of heavy metal ions by beech sawdust – Kinetics, mechanism and equilibrium of the process, *Ecological Engineering*, 58, pp. 202–206.
- Fan, Hong-Lei, Zhou, Shao-Feng, Jiao, Wei-Zhou, Qi Gui-Sheng, Liu, You-Zhi, (2017), Removal of heavy metal ions by magnetic chitosan nanoparticles prepared continuously via high-gravity reactive precipitation method, *Carbohydrate Polymers*, 174, pp. 1192-1200.
- Feng, Q., Wu, D., Zhao, Y., Wei, A., Wei, Q., Fong, H., (2018), Electrospun AOPAN/RC blend nanofiber membrane for efficient removal of heavy metal ions from water, *Journal of Hazardous Materials*, 344, pp. 819-828.
- Feng, N. and Zhang, F., (2013), Untreated Chinese ephedra residue as biosorbents for the removal of  $Pb^{2+}$  ions from aqueous solutions, *Procedia Environmental Sciences*, 18, pp. 794–799.
- Jusoha, A., Lam, S.S., Noraaini, A., Noor, M.J.M.M., (2007), A simulation study of the removal efficiency of granular activated carbon on cadmium and lead, *Desalination*, 206, pp. 9–16.
- Kobielska P.A., Howarth A.J., Farha O.K., Nayak S., (2018), Metal–organic frameworks for heavy metal removal from water, *Coordination Chemistry Reviews*, 358, pp. 92–107.
- Losev, V.N., Elsufiev, E.V., Buyko, O.V., Trofimchuk, A.K., Horda, R.V., Legenchuk, O.V., (2018), Extraction of precious metals from industrial solutions by the pine (*Pinus sylvestris*) sawdust-based biosorbent modified with thiourea groups, *Hydrometallurgy*, 176, pp. 118–128.
- Manzoor Q., Nadeem, R., Iqbal, M., Saeed, R., Ansari, T.M., (2013), Organic acids pretreatment effect on *Rosa bourbonia* phyto-biomass for removal of Pb(II) and Cu (II) from aqueous media, *Bioresource Technology*, 132, pp. 446–452.
- Martin, D.M., Faccinia, M., García, M.A., Amantia, D., (2018), Highly efficient removal of heavy metal ions from polluted water using ion-selective polyacrylonitrile nanofibers, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(1), pp. 236-245.
- Meena, A.K., Kadirvelu, K., Mishra, G.K., (2008), Adsorptive removal of heavy metals from aqueous solution by treated sawdust (*Acacia arabica*), *Journal of Hazardous Materials*, 150, pp. 604–611
- Metcalf dan Eddy, 2003. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, fourth edition, McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.

- Mutiara, T., Karisa, P.C., Mujahidah, I., (2018), Acid modified jackfruit wood sawdust as biosorbent for the removal of Fe(II) from aqueous solutions, MATEC Web of Conferences, 154, pp. 01019.
- Park, J.Y., Jeon, C., Yoo, Y.J., (1999), Journal of Microbiology Biotechnology, 9, pp. 650.
- Salazar-Rabago, J.J. and Leyva-Ramos, R., (2016), Novel biosorbent with high adsorption capacity prepared by chemical modification of white pine (*Pinus durangensis*) sawdust. Adsorption of Pb(II) from aqueous solutions, Journal of Environmental Management, 169, pp. 303-312.
- Tavakoli, O., Goodarzi, V., Saeb, M.R., Mahmoodi, N.M., Borja, R., (2017), Competitive Removal of Heavy Metal Ions from Squid Oil Under Isothermal Condition by CR11 Chelate Ion Exchanger, Journal of Hazardous Materials, 334, pp. 256-266.
- Tripathi, A., and Ranjan, M.R., (2015), Heavy Metal Removal from Wastewater Using Low Cost Adsorbents, Journal of Bioremediation & Biodegradation, 6, pp. 6.
- Vinodhini, V. and Das, N., (2009), Mechanism of Cr (VI) Biosorption by Neem Sawdust, American-Eurasian Journal of Scientific Research, 4 (4), pp. 324-329.
- Volesky, B., Holan, Z.R., (1995), Biosorption of heavy metals, Biotechnology Prog., 11, pp. 235–250.
- Zare, E.N., Motahari, A., Sillanpää, M., (2018), Nanoadsorbents based on conducting polymer nanocomposites with main focus on polyaniline and its derivatives for removal of heavy metal ions/dyes: A review, Environmental Research, 162, pp. 173-195.
- Zhao, X. and Liu, C. (2018), Efficient removal of heavy metal ions based on the optimized dissolution-diffusion-flow forward osmosis process, Chemical Engineering Journal, 334, pp. 1128-1134.