

PEMANFAATAN TONGKOL JAGUNG SEBAGAI ADSORBEN LIMBAH LOGAM BERAT

Nur Rokhati^{1,2*}, Aji Prasetyaningrum¹, Nur 'Aini Hamada², Adi Lamda Cahyo Utomo¹,
Hery Budiarto Kurniawan¹, Imam Husnan Nugroho¹

¹Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto SH Tembalang Semarang, Indonesia

²Membrane Research Center (Mer-C), Laboratorium Terpadu, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto SH Tembalang Semarang

*Email: nur.rokhati@che.undip.ac.id

Abstrak

Logam berat adalah istilah untuk logam-logam seperti Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, dan Zn yang sering berhubungan dengan polusi dan toksisitas. Adsorpsi merupakan metode yang paling sering digunakan untuk menghilangkan ion logam. Tongkol jagung berpotensi menjadi adsorben karena kadar selulosanya yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji performa tongkol jagung sebagai adsorben ion Cr(VI) dan Cd(II). Penelitian dimulai dengan perlakuan awal adsorben dan dilanjutkan dengan proses adsorpsi. Kadar logam berat dihitung dengan metode spektrofotometri. Nilai efisiensi penyerapan Cd(II) meningkat dengan adanya perlakuan awal menggunakan suhu tinggi. Jumlah logam yang terserap semakin banyak seiring dengan lamanya waktu adsorpsi dengan efisiensi penyerapan sebesar 94,76% untuk Cr(VI) dan 83,96% untuk Cd(II). Penambahan jumlah adsorben tongkol jagung juga meningkatkan efisiensi penyerapan logam kromium hingga 82,33% dan kadmium sebesar 83,98%. Sedangkan jumlah ion Cr(VI) yang terserap tidak linear dengan penambahan kecepatan pengadukan. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa tongkol jagung berpotensi digunakan sebagai adsorben ion logam berat dengan efisiensi di atas 80%.

Kata kunci: adsorpsi, kadmium, kromium, tongkol jagung

Abstract

Heavy metal is a term for metals such as Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, and Zn, often associated with pollution and toxicity. Adsorption is the most commonly used method to remove metal ions. Corn cob have the potential to be an adsorbent because of their high cellulose content. This study aimed to examine the performance of corncob as an adsorbent of Cr(VI) and Cd(II) ions. The study began with the pretreatment of the adsorbent and continued with the adsorption process. Heavy metal concentration was calculated by the spectrophotometric method. The value of the absorption efficiency of Cd(II) increased with the pretreatment using high temperature. The amount of metal adsorbed increased with the length of adsorption time with the absorption efficiency of 94.76% for Cr(VI) and 83.96% for Cd(II). The addition of corncob adsorbent also increased the efficiency of chromium metal absorption up to 82.33% and cadmium by 83.98%. Meanwhile, the amount of Cr(VI) ion adsorbed was not linear with increasing stirring speed. Based on the results, it can be concluded that corncob could be used as heavy metal ion adsorbents with an efficiency above 80%.

Keywords: adsorption, cadmium, chromium, corn cob

1. PENDAHULUAN

Logam berat merupakan salah satu jenis polutan yang mungkin terdapat dalam larutan. Hal ini berisiko tinggi bagi lingkungan dan kesehatan manusia karena bersifat toksik dan mudah terakumulasi pada rantai makanan (Li *et al.*, 2018).

Logam berat adalah istilah yang digunakan untuk kelompok logam dan metaloid yang memiliki berat jenis atom lebih dari 6 g/cm³. Umumnya, istilah ini berlaku untuk logam-

logam seperti Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, dan Zn yang sering berhubungan dengan polusi dan toksisitas. Kromium dapat menyebabkan kanker pernapasan, sedangkan kadmium sering dikaitkan dengan efek nefrotoksik dan kerusakan tulang pada tingkat paparan yang tinggi (O'Connell *et al.*, 2008).

Upaya untuk menghilangkan ion logam berat dari limbah industri telah banyak dilakukan seperti dengan pertukaran ion, pemisahan dengan teknologi membran,

koagulasi, dan adsorpsi fisik. Di antara semua metode tersebut, adsorpsi merupakan metode yang paling sering digunakan karena biaya operasinya yang rendah dan prosesnya yang terhitung efisien (Wang *et al.*, 2019).

Secara umum, adsorpsi melibatkan transfer polutan dari larutan ke permukaan luar adsorben, transfer massa internal dari permukaan luar ke pori-pori adsorben dan adsorpsi partikel polutan ke pori aktif adsorben. Laju reaksi secara keseluruhan ditentukan oleh pembentukan film atau difusi intrapartikel atau keduanya. Proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa hal seperti ukuran partikel, pH, konsentrasi logam, konsentrasi ligan, dan ion lain yang terdapat dalam senyawa tersebut (Ahmad *et al.*, 2015).

Adsorben yang ideal untuk adsorpsi polutan harus memiliki integritas mekanik dan struktural yang baik untuk aliran dalam waktu yang lama, kapasitas adsorpsi yang tinggi dengan kecepatan tinggi, memiliki luas permukaan yang besar, dan memiliki kemampuan regenerasi menggunakan pendekatan hemat biaya.

Jenis bahan yang kerap digunakan sebagai adsorben antara lain karbon aktif, zeolit, nanotube karbon, dan polimer. Selain itu, salah satu jenis adsorben yang kerap digunakan adalah selulosa.

Selulosa adalah biopolimer alami terbarukan yang mudah terurai dan tidak beracun. Selulosa bersifat hidrofilik namun tidak larut dalam air, mudah didapat di pasaran dengan kemurnian yang tinggi, serta berharga lebih murah dari kitosan. Pada tanaman, selulosa berada bersama-sama dengan lignoselulosa, hemiselulosa dan lignin. Salah satu aplikasi dari lignoselulosa adalah sebagai adsorben untuk pengolahan air limbah. Berbagai sumber selulosa yang digunakan sebagai adsorben, antara lain serat, daun, akar, cangkang, kulit kayu, sekam, batang, dan biji (Aka *et al.*, 2019; Varghese *et al.*, 2019).

Mayangsari *et al.* (2019) dalam penelitiannya menggunakan limbah daun nanas (*Ananas cosmosus*) untuk proses penjerapan logam Cu dengan waktu proses optimum 90 menit. Ampas tebu juga menjadi salah satu biomassa yang efektif untuk mengurangi kadar Ni^{2+} pada air limbah (Alomá *et al.*, 2012). Jerami barley merupakan limbah pertanian yang mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Dalam penelitian yang dilakukan Pehlivan *et al.*, (2012), jerami barley teresterifikasi asam

sirat digunakan sebagai sorben kationik untuk menghilangkan ion Cu^{2+} .

Tongkol jagung (*Zea mays*) merupakan produk samping dari jagung yang jarang dimanfaatkan. Menurut Wang *et al.* (2011), tongkol jagung mengandung 40-44% selulosa, 31-33% hemiselulosa, 16-18% lignin, dan 3-5% abu. Kadar selulosa yang tinggi ini membuat tongkol jagung berpotensi menjadi salah satu sumber adsorben.

Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efisiensi performa tongkol jagung sebagai adsorben ion logam berat berdasarkan durasi proses adsorpsi, jumlah adsorben, dan kecepatan pengadukan.

2. METODOLOGI

2.1 Bahan dan Alat

Pada penelitian ini digunakan bahan-bahan utama berupa tongkol jagung (*Zea mays*), NaOH, H_2SO_4 , 1,5-diphenylcarbazine (DPC), 5,7-dibromo-8-hydroxyquinoline (DBHQ), etanol, methanol, dan limbah industri pelapisan logam yang mengandung Cr(VI), dan $Cd(NO_3)_2$.

Adapun alat yang digunakan untuk analisis pada penelitian ini adalah spektrofotometer (*Spectronic 20*).

2.2 Analisa Kadar Logam Awal Limbah

Pengukuran kadar logam mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Onchoke dan Sasu (2016), Podgaiskyte dan Vaitiekunas (2009), dan Wiryawan *et al.* (2018). Kadar logam dihitung dengan kurva standar.

Larutan standar dibuat dengan konsentrasi logam 0, 1, 2, 3, dan 4 ppm. Untuk larutan standar Cr(VI), digunakan larutan DPC yang dibuat dengan melarutkan 250 mg DPC dalam 50 ml metanol. Larutan DPC dan 0,2 N H_2SO_4 ditambahkan pada sampel standar hingga terjadi perubahan warna.

Larutan DBHQ 0,0033 M dibuat dengan melarutkan DBHQ bubuk dalam etanol. Satu ml dari larutan tersebut kemudian ditambahkan dengan sampel 1 ml Cd(II) dan 0.5 ml H_2SO_4 0.0005 M. Setelah 1 menit, 5 ml etanol ditambahkan ke dalam larutan.

Absorbansi larutan kemudian diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 540 nm untuk logam kromium dan 396 nm untuk logam kadmium. Kurva standar dibuat dari data absorbansi menggunakan persamaan regresi.

2.3 Perlakuan Awal

Tongkol jagung yang akan digunakan dicuci terlebih dahulu, kemudian dipotong dadu dengan panjang sisi 1 cm. Setelah tongkol jagung dikeringkan, ditimbang sebanyak 10 gram dan direndam dalam larutan NaOH 0,1 N selama 4 jam pada suhu 28°C dan 90°C.

2.4 Prosedur Adsorpsi Logam

Proses adsorpsi dimulai dengan memasukkan tongkol jagung yang sudah dipotong dadu sepanjang 1 cm dengan berat yang bervariasi antara 2 hingga 5 gr yang sudah diberikan perlakuan awal pada suhu 90°C ke dalam dua wadah. Masing-masing wadah berisi 100 ml, dimana salah satu wadahnya mengandung Cr(VI) sebanyak 6,739 ppm dan pada yang lainnya terdapat 10 ppm Cd(NO₃)₂.

Kemudian dilakukan proses pengadukan dengan kecepatan yang divariasikan antara 100 hingga 700 rpm dan dilakukan selama 10 hingga 55 menit.

2.5 Analisis Kadar Logam

Setelah proses adsorpsi selesai, 5 ml larutan diambil untuk diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 540 nm dan 396 nm. Kadar logam dihitung berdasarkan kurva standar yang sudah dibuat.

2.6 Perhitungan Efisiensi Proses Adsorpsi

Untuk mengkaji performa proses adsorpsi, efisiensi proses dihitung menggunakan persamaan berikut

$$Efisiensi (%) = \left(1 - \frac{C_1}{C_0}\right) \times 100\% \quad (1)$$

dengan

C₀ : Kadar logam awal

C₁ : Kadar logam setelah proses adsorpsi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Perlakuan Awal pada Proses Adsorpsi Logam

Untuk mengetahui pengaruh perlakuan awal terhadap proses adsorpsi logam, dilakukan proses adsorpsi larutan yang mengandung Cd(NO₃)₂ menggunakan tongkol jagung yang direndam dalam keadaan basa dan tongkol jagung tanpa perendaman. Hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Efisiensi penyerapan logam pada berbagai perlakuan awal

| Suhu Operasi | Efisiensi (%) |
|----------------------|---------------|
| Tanpa perlakuan awal | 19,61 |
| 28°C + NaOH | 29,07 |
| 90°C + NaOH | 36,16 |

Berdasarkan Tabel 1, keadaan basa secara signifikan meningkatkan nilai efisiensi penyerapan logam berat. Proses pada perlakuan awal dengan NaOH ini disebut delignifikasi. Delignifikasi adalah proses penghilangan lignin dari bahan yang mengandung lignoselulosa. Nukleofil OH yang terdapat di larutan NaOH mampu mendegradasi lignin sehingga meningkatkan kadar selulosa. Proses delignifikasi juga mampu mengurangi kandungan hemiselulosa karena hemiselulosa mudah larut dalam keadaan basa. Ikatan yang terputus pada proses ini adalah ikatan hidrogen yang menghubungkan lignin dengan selulosa serta antara lignin dan hemiselulosa yang berupa gugus eter maupun ester (Kusumawardani *et al.*, 2018)

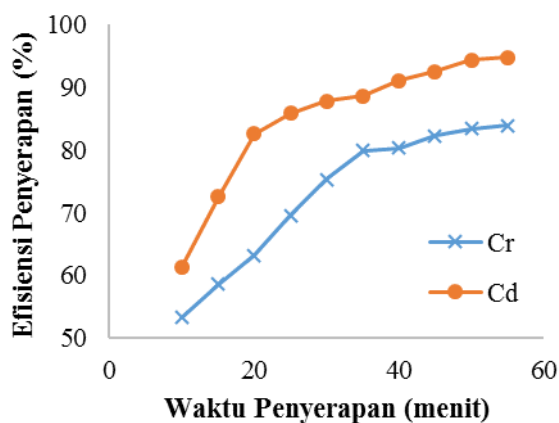
Peningkatan efisiensi juga disebabkan oleh adanya kemungkinan penambahan gugus fungsi selama reaksi termokimia dengan NaOH. Serta bertambahnya luas permukaan yang mampu meningkatkan kapasitas serapan logam dari adsorben tongkol jagung (Asadi *et al.*, 2008). Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Jamshaid *et al.*, 2017) yang menyimpulkan bahwa perlakuan alkali memiliki kapasitas adsorpsi tertinggi (alkali > pemanasan > tanpa dimodifikasi > asam).

Nilai efisiensi penyerapan Cd(II) pada suhu 90°C yang lebih tinggi menunjukkan bahwa terdapat energi aktivasi yang lebih besar untuk interaksi kimiawi antara ion logam dan situs aktif tongkol jagung (Kumar *et al.*, 2018).

Maka dari itu, keadaan basa dan tingginya suhu pada perlakuan awal akan menyebabkan proses degradasi yang semakin sempurna, menghasilkan selulosa yang semakin murni, dan tercapainya proses adsorpsi yang lebih optimum.

3.2 Pengaruh Durasi Proses Adsorpsi Terhadap Efisiensi Penyerapan Logam

Adsorpsi pada sampel yang mengandung logam dilakukan selama 10 hingga 55 menit dengan perlakuan awal pada suhu 90°C untuk mengetahui pengaruh waktu penyerapan. Hasil penelitian tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Profil efisiensi penyerapan logam pada berbagai waktu adsorpsi

Berdasarkan Gambar 1, jumlah Cr(VI) dan Cd(II) yang terserap semakin banyak seiring dengan lamanya waktu adsorpsi. Pada menit ke-55, efisiensi penyerapan Cr(VI) mencapai 83,96% sedangkan untuk logam Cd(II) mencapai 94,76%.

Selulosa terdiri dari unit berulang β -D-glukopiranososa yang secara kovalen dihubungkan oleh fungsi asetal antara gugus OH ekuator pada atom karbon (C4) dan atom karbon (C1), oleh karena itu dinamakan β -1,4-glukan. Akibatnya, selulosa memiliki polimer rantai linier yang luas dengan gugus hidroksil dalam jumlah besar (tiga gugus per unit glukosa anhidrat) (Ahmad *et al.*, 2015).

Gugus hidroksil pada selulosa membuat adsorben bersifat polar. Sehingga selulosa lebih kuat mengadsorpsi zat yang bersifat polar dari pada zat yang kurang polar (Kusumawardani *et al.*, 2018). Pada proses adsorpsi, ion logam berat bermigrasi dari larutan ke permukaan adsorben tongkol jagung, kemudian ion logam tersebut teradsorpsi akibat adanya gaya van der Waals. Sehingga, interaksi elektrostatik terjadi ketika ion Cr(VI) dan Cd(II) berdekatan dengan sisi adsorben (Liu *et al.*, 2015).

Interaksi gugus hidroksil dengan ion Cr(VI) dan Cd(II) juga dapat terjadi melalui pembentukan kompleks koordinasi. Atom oksigen pada gugus hidroksil memiliki pasangan elektron bebas yang akan menempati orbital kosong pada ion logam terbentuk suatu senyawa atau ion kompleks (Kusumawardani *et al.*, 2018).

Fenomena yang terjadi pada penelitian ini sesuai dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa penyerapan Cd(II)

berlangsung paling signifikan pada 90 menit pertama (Aka *et al.*, 2019).

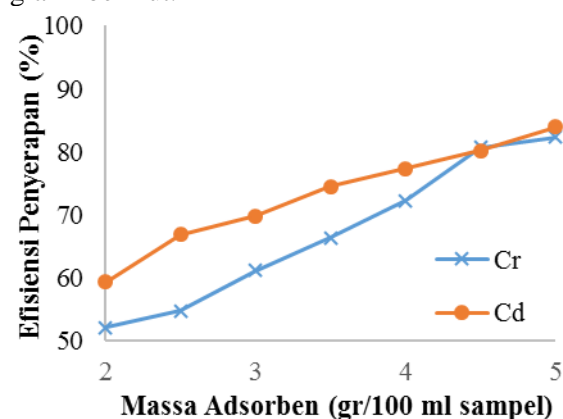
Mekanisme penyerapan logam sering kali berkaitan dengan reaksi kimia antara gugus fungsi pada sorben dan ion logam, atau reaksi pertukaran kation karena kapasitas penukar kation yang tinggi dari sorben (Hokkanen *et al.*, 2016).

Reaktivitas kimia merupakan fungsi dari reaktivitas donor yang tinggi dari gugus OH. Struktur molekul ini memberi selulosa sifat karakteristik hidrofilisitas dan penguraian.

Namun dapat dilihat pula bahwa laju adsorpsi logam meningkat secara signifikan pada 25 menit pertama dan melambat di waktu selanjutnya. Hal ini dapat disebabkan oleh difusi yang cepat dari ion logam ke permukaan luar dan konsentrasi yang lebih besar di situs aktif pada awal waktu penyerapan, diikuti oleh difusi pori yang lambat serta tersaturasinya situs aktif (Kumar *et al.*, 2018).

3.3 Pengaruh Jumlah Adsorben Terhadap Efisiensi Penyerapan Logam

Adsorpsi pada sampel yang mengandung kromium dan kadmium pada berbagai rasio massa tongkol jagung dan volume sampel dilakukan untuk mengetahui pengaruh berat adsorben. Hasil penelitian dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 2. Profil efisiensi penyerapan logam pada berbagai massa tongkol jagung

Berdasarkan hasil penelitian, jumlah massa adsorben berbanding lurus dengan jumlah logam berat yang terserap. Pada penggunaan 5 gr tongkol jagung, efisiensi penyerapan ion logam kromium mencapai 82,33% dan pada ion logam kadmium mencapai 83,98%. Apabila massa tongkol jagung bertambah, luas permukaan adsorben akan semakin besar pula.

Sehingga laju adsorpsi meningkat akibat bertambahnya sisi aktif dari adsorben tongkol jagung dan efisiensi penyerapan Cr(VI) dan Cd(II) akan semakin tinggi (Guiza, 2017; Liu *et al.*, 2015).

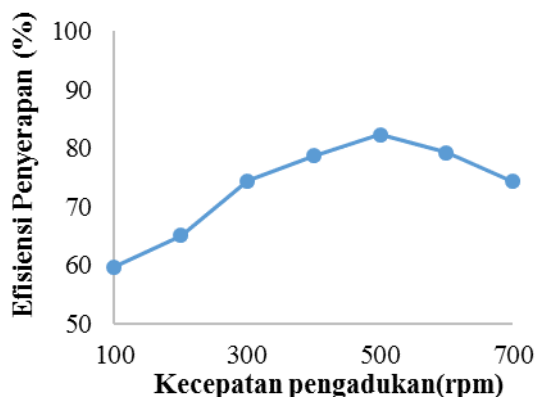
Adsorpsi pada adsorben berbasis selulosa dikendalikan oleh beberapa hal seperti gaya van der Waals, hidrofobisitas, ikatan hidrogen, polaritas, dan interaksi sterik. Dalam adsorpsi fisik, adsorbat (logam berat) terakumulasi pada permukaan adsorben oleh interaksi yang disebutkan di atas (Hokkanen *et al.*, 2016)

3.4 Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Efisiensi Penyerapan Logam

Kecepatan pengadukan dari 100 rpm hingga 700 rpm dilakukan pada proses adsorpsi logam kromium dengan perlakuan awal pada suhu 90°C. Hasil percobaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

Jumlah Cr(VI) terserap yang tidak linear seiring dengan meningkatnya kecepatan pengadukan mengindikasikan bahwa laju adsorpsi bergantung pada derajat agitasi.

Pada kecepatan pengadukan dari 100 ke 500 rpm, nilai efisiensi penyerapan Cr(VI) terus meningkat hingga 82,33%. Pengadukan yang semakin cepat meningkatkan mobilitas antar molekul sehingga laju adsorpsi semakin tinggi. Namun pada pengadukan di atas 500 rpm, yaitu 600 dan 700 rpm, jumlah logam kromium yang terserap menurun dengan efisiensi penyerapan sebesar 74,28%. Hal ini disebabkan oleh desorpsi yang terjadi akibat gerak antar molekul yang terlalu cepat (Liu *et al.*, 2015).



Gambar 3. Profil efisiensi penyerapan logam pada berbagai kecepatan pengadukan

4. KESIMPULAN

Tongkol jagung dapat digunakan sebagai adsorben ion logam berat. Adapun kondisi

optimum untuk mencapai efisiensi di atas 80% adalah dengan melakukan perlakuan awal pada suhu 90°C serta proses adsorpsi yang dilakukan selama 55 menit dengan jumlah tongkol jagung sebanyak 5gr/100ml dengan kecepatan pengadukan 500 rpm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Kimia, Universitas Diponegoro yang telah memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, M., Ahmed, S. and Ikram, S. (2015), "Adsorption of heavy metal ions: Role of chitosan and cellulose for water treatment Saiqa Ikram Jamia Millia Islamia ADSORPTION OF HEAVY METAL IONS: ROLE OF CHITOSAN AND CELLULOSE FOR WATER TREATMENT", *International Journal of Pharmacognosy*, Vol. 2 No. 6, pp. 280–289.

Aka, E.C., Nongbe, M.C., Ekou, T., Ekou, L., Coeffard, V. and Felpin, F.X. (2019), "A fully bio-sourced adsorbent of heavy metals in water fabricated by immobilization of quinine on cellulose paper", *Journal of Environmental Sciences (China)*, Vol. 84, pp. 174–183.

Alomá, I., Martín-Lara, M.A., Rodríguez, I.L., Blázquez, G. and Calero, M. (2012), "Removal of nickel (II) ions from aqueous solutions by biosorption on sugarcane bagasse", *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, Vol. 43 No. 2, pp. 275–281.

Asadi, F., Shariatmadari, H. and Mirghaffari, N. (2008), "Modification of rice hull and sawdust sorptive characteristics for remove heavy metals from synthetic solutions and wastewater", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 154 No. 1–3, pp. 451–458.

Guiza, S. (2017), "Biosorption of heavy metal from aqueous solution using cellulosic waste orange peel", *Ecological Engineering*, Elsevier B.V., Vol. 99, pp. 134–140.

Hokkanen, S., Bhatnagar, A. and Sillanpää, M. (2016), "A review on modification methods to cellulose-based adsorbents to improve adsorption capacity", *Water Research*, Vol. 91, pp. 156–173.

- Jamshaid, A., Hamid, A., Muhammad, N., Naseer, A., Ghauri, M., Iqbal, J., Rafiq, S., *et al.* (2017), "Cellulose-based Materials for the Removal of Heavy Metals from Wastewater - An Overview", *ChemBioEng Reviews*, Vol. 4 No. 4, pp. 240–256.
- Kumar, R., Sharma, R.K. and Singh, A.P. (2018), "Removal of organic dyes and metal ions by cross-linked graft copolymers of cellulose obtained from the agricultural residue", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Elsevier B.V., Vol. 6 No. 5, pp. 6037–6048.
- Kusumawardani, R., Anita Zaharah, T. and Destiarti, L. (2018), "Adsorpsi Kadmium(li) Menggunakan Adsorben Selulosa Ampas Tebu Teraktivasi Asam Nitrat", *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, Vol. 7 No. 3, pp. 75–83.
- Li, J., Wang, X., Zhao, G., Chen, C., Chai, Z., Alsaedi, A., Hayat, T., *et al.* (2018), "Metal-organic framework-based materials: Superior adsorbents for the capture of toxic and radioactive metal ions", *Chemical Society Reviews*, Royal Society of Chemistry, Vol. 47 No. 7, pp. 2322–2356.
- Liu, L., Gao, Z.Y., Su, X.P., Chen, X., Jiang, L. and Yao, J.M. (2015), "Adsorption removal of dyes from single and binary solutions using a cellulose-based bioadsorbent", *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, Vol. 3 No. 3, pp. 432–442.
- Mayangsari, N.E., Apriani, M. and Veptiyan, E.D. (2019), "Pemanfaatan Daun Nanas sebagai adsorben Logam Berat", *Journal of Research and Technology*, Vol. 5 No. 2, pp. 129–138.
- O'Connell, D.W., Birkinshaw, C. and O'Dwyer, T.F. (2008), "Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose: A review", *Bioresource Technology*, Vol. 99 No. 15, pp. 6709–6724.
- Onchoke, K.K. and Sasu, S.A. (2016), "Determination of Hexavalent Chromium (Cr(VI)) Concentrations via Ion Chromatography and UV-Vis Spectrophotometry in Samples Collected from Nacogdoches Wastewater Treatment Plant, East Texas (USA)", *Advances in Environmental Chemistry*, Vol. 2016 No. Iii, pp. 1–10.
- Pehlivan, E., Altun, T. and Parlayici, S. (2012), "Modified barley straw as a potential biosorbent for removal of copper ions from aqueous solution", *Food Chemistry*, Elsevier Ltd, Vol. 135 No. 4, pp. 2229–2234.
- Podgaiskyte, V. and Vaitiekunas, P. (2009), "Determination of cadmium in a municipal sewage sludge based compost by spectrophotometric method", *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, Vol. 17 No. 4, pp. 219–225.
- Varghese, A.G., Paul, S.A. and Latha, M.S. (2019), "Remediation of heavy metals and dyes from wastewater using cellulose-based adsorbents", *Environmental Chemistry Letters*, Springer International Publishing, Vol. 17 No. 2, pp. 867–877.
- Wang, J., Liu, M., Duan, C., Sun, J. and Xu, Y. (2019), "Preparation and characterization of cellulose-based adsorbent and its application in heavy metal ions removal", *Carbohydrate Polymers*, Elsevier Ltd., Vol. 206, pp. 837–843.
- Wang, L., Yang, M., Fan, X., Zhu, X., Xu, T. and Yuan, Q. (2011), "An environmentally friendly and efficient method for xylitol bioconversion with high-temperature-steaming corncob hydrolysate by adapted *Candida tropicalis*", *Process Biochemistry*, Elsevier Ltd, Vol. 46 No. 8, pp. 1619–1626.
- Wiryawan, A., Suntari, R., Kusuma, Z., Retnowati, R. and Burhan, Ryp. (2018), "Method of analysis for determination of the chromium (Cr) species in water samples by spectrophotometry with diphenylcarbazine", *Journal of Environmental Engineering and Sustainable Technology*, Vol. 5 No. 01, pp. 37–46.