

## Biosorpsi Krom Total dalam Limbah Cair Batik dengan Biosorben yang Dikemas dalam Kantong Teh Celup

Sri Lestari<sup>2,3</sup> Sudarmadji<sup>1</sup>, S. Djalal Tandjung<sup>1</sup>, Sri Juari Santosa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Prodi Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada  
Jalan Teknik Utara, Pogung Yogyakarta 55281 email: sudarmadji@ugm.ac.id.

<sup>2</sup> Prodi Kimia Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada

Jalan Pancasila, Yogyakarta 55281 email: sjuari@ugm.ac.id.

<sup>3</sup> Fakultas Biologi, Universitas Jenderal Soedirman

Jalan dr. Suparno 62 Purwokerto 53122 email: srilestari.bio@unsoed.ac.id.

### Abstract

Chromium content on batik wastewater has been reduced by biosorption using cheap, abundant, and easily obtained biosorbent, such as *Sargassum cinereum* and *Pleurotus ostreatus* baglog waste. Biosorbent surface can be expanded by reducing its particle size. However, small size particle very difficult to be applied, but its application can be improved through shape simplification or tea bag packaging. This research aims to obtain the optimum of biosorbent ratio and particle size in chromium adsorption. This experimental research was conducted using Split Plot Design. The obtained data were analyzed using F-test with the significance level of 5%. The result showed that the optimum adsorption percentage was obtained in biosorbent ratio of 3:1 with particle size of 425-675  $\mu\text{m}$  that is 62.69%. Biosorbent packed in the tea bags is effective to removal chromium in batik wastewater.

**Key Words :** batik waste water, biosorption, chromium, tea bag packing, chromium

### Abstrak

Krom dalam limbah cair batik dapat dikurangi dengan metode biosorpsi menggunakan biosorben yang murah, melimpah dan mudah didapat yaitu *Sargassum cinereum* dan limbah baglog *Pleurotus ostreatus*. Kelemahan ukuran partikel yang kecil adalah sulit dipisahkan dari limbah ketika diaplikasikan, sehingga diperlukan sebuah bentuk atau kemasan biosorben yang memudahkan proses aplikasinya yaitu mengemas dalam kantong teh celup. Tujuan penelitian adalah mendapatkan perbandingan komposisi dan ukuran partikel yang optimum menyerap krom total pada limbah cair batik. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan rancangan petak terpisah. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis varian dengan tingkat kesalahan 5%. Hasil penelitian menunjukkan persentase adsorpsi tertinggi terdapat pada perbandingan 3:1  $\mu\text{m}$  sebesar 62.69%. Biosorben yang dikemas dalam kantong teh celup efektif menurunkan krom pada limbah cair batik.

**Kata kunci :** biosorpsi, kantong teh celup, krom, limbah cair batik

### Pendahuluan

Sentra Batik Sokaraja adalah salah satu industri batik rumahan di Kabupaten Banyumas yang berpotensi mencemari lingkungan karena limbahnya dibuang ke Kali Wangan. Limbah cair batik yang dibuang ke Kali Wangan tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat mencemari dan mengganggu kehidupan biota air. Kadar TSS, BOD dan COD Kali Wangan sudah melebihi baku mutu lingkungan berturut-turut yaitu 540.13 mg/L; 540.42 mg/L dan 672.78 mg/L, sedangkan parameter logam berat yang melebihi baku mutu adalah Cd dan Cr yaitu 0.018 mg/L dan 0.231 mg/L (Lestari *et al.*, 2015). Krom dalam limbah cair batik dapat menyebabkan menghambat kerja enzim sitokrom monooksigenase. Penghambatan terhadap kerja enzim tersebut dapat menyebabkan kanker pada biota maupun manusia yang terpapar.

Logam berat dalam limbah cair batik dapat dipisahkan secara biologis melalui proses biosorpsi. Proses biosorpsi adalah pengikatan logam melalui adsorpsi dengan menggunakan organisme inaktif atau mati (Okuo *et al.*, 2006). Keunggulan biosorpsi dalam mengadsorpsi logam

berat pada limbah adalah prosesnya berlangsung cepat, tingkat penyerapannya tinggi dan selektif (Azmat *et al.*, 2007). Biomassa, waktu kontak, jenis dan luas permukaan biosorben berpengaruh terhadap efektifitas biosorpsi (Alam, 2004). Proses biosorpsi banyak diaplikasikan untuk menurunkan konsentrasi logam pada lingkungan maupun limbah.

Biosorpsi merupakan teknologi alternatif, sehingga biosorben yang digunakan harus murah dan mudah penyediaannya (Sahmoune, *et al.* 2008). Jenis biosorben yang murah dan keberadaannya melimpah dari spesies alga dan jamur adalah *Sargassum cinereum* dan *Pleurotus ostreatus*. *S. cinereum* mengandung alginat sebagai penukar ion logam berat yang sangat efisien (Rezaee *et al.*, 2006). *P. ostreatus* adalah jenis fungi pelapuk putih (*white rot fungi*) yang mempunyai kemampuan menghilangkan bau, mendegradasi pewarna dan menyerap logam berat (Nasreen *et al.*, 2007). *P. ostreatus* mempunyai nilai ekonomi yang sangat tinggi, sehingga sangat tidak etis jika dimanfaatkan sebagai penyerap logam berat pada limbah.

Namun *P. ostreatus* dapat diperoleh dari limbah medium tanam jamur (*baglog*).

Luas permukaan biosorben yang besar dapat meningkatkan jumlah situs aktif yang tersedia untuk pengikatan ion logam berat (Dutta and Basu, 2012). Luas permukaan biosorben ditentukan oleh ukuran partikel. Metode untuk memperluas permukaan dan mudah dipisahkan dari limbah jika diaplikasikan adalah mengemas biosorben dalam kantong teh celup. Keunggulan biosorben tersebut adalah tidak menimbulkan dampak lanjutan berupa TSS dan sedimentasi.

Tujuan penelitian adalah mendapatkan perbandingan komposisi dan ukuran biosorben yang dikemas dalam kantong teh celup yang optimum dalam mengadsorpsi krom total pada limbah cair batik.

## Metode

Penelitian dilakukan di Laboratorium Lingkungan Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman pada bulan Mei - September 2015. Penelitian dilakukan secara eksperimental. Rancangan yang digunakan adalah Rancangan Petak Terpisah (*Spilt Plot Design*). Perlakuan yang dicobakan yaitu komposisi campuran *S. cinereum* dan limbah baglog *P. ostreatus* sebagai main plot dan ukuran partikel biosorben sebagai sub plot. Campuran *S. cinereum* dan limbah baglog (M) terdiri dari 5 taraf dengan perbandingan yaitu :

M1 = *S. cinereum* : limbah baglog = 1 : 0

M2 = *S. cinereum* : limbah baglog = 3 : 1

M3 = *S. cinereum* : limbah baglog = 1 : 1

M4 = *S. cinereum* : limbah baglog = 1 : 3

M5 = *S. cinereum* : limbah baglog = 0 : 1

sedangkan ukuran partikel biosorben(U) terdiri dari 3 taraf yaitu :

U1 = 425 - 675 $\mu$ m

U2 = 250 - 425  $\mu$ m

U3 = 150 - 250  $\mu$ m

Semua perlakuan dikombinasikan dan diulang 3 kali sehingga diperoleh 45 unit perlakuan.

## Persiapan Biosorben

Biosorben terdiri dari campuran *S. cinereum* dan limbah *baglog P. ostreatus*. *S. cinereum* diambil dari pantai Rancababakan Cilacap Indonesia. Limbah media tanam jamur (*baglog*) diperoleh dari tempat budidaya jamur *P. ostreatus* Pabuaran, Purwokerto, Indonesia. Limbah *baglog* yang digunakan adalah *baglog* yang sudah habis masa panennya. *S. cinereum* dan limbah *baglog* dicuci dengan air deionisasi yang mengalir (Sahmoune, Louhab and Boukhiar, 2008). Biosorben dikeringkan di bawah sinar matahari selama 24 jam, dan dikeringkan dalam oven pada suhu 70<sup>o</sup>C hingga berat konstan. Biosorben kemudian diblender dan diayak. Ukuran partikel

452-672  $\mu$ m adalah biosorben yang lolos pada sieve 20 dan tertahan pada sieve 40. Ukuran partikel 250-425  $\mu$ m adalah biosorben yang lolos pada sieve 40 dan tertahan di sieve 60, sedangkan ukuran partikel 150-250  $\mu$ m adalah biosorben yang lolos pada sieve 60 dan tertahan pada sieve nomor 100. Biosorben diaktivasi pada larutan 0,1 M/L HCl selama 30 menit (setiap 50g biosorben dalam 1 L larutan) (Khorramabadi and Soltani, 2008). Biosorben kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 70<sup>o</sup>C selama 24 jam.

## Pembuatan Biosorben dalam kantong teh celup

Biosorben ditimbang sebanyak 500 mg dengan komposisi sesuai perlakuan. Biosorben dibungkus kertas teh celup ukuran 4 x 6 cm. Biosorben yang dikemas dalam kantong teh celup siap digunakan.

## Persiapan limbah cair batik

Limbah cair batik diambil dari Sentra Batik Sokaraja di Dusun Kauman, Desa Sokaraja Kulon Kecamatan Sokaraja, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah. Limbah cair yang digunakan adalah sisa pewarnaan dan pencelupan. Limbah diambil dari 4 industri rumahan yang berbeda dengan pertimbangan adanya perbedaan jenis pewarna yang digunakan. Keempat jenis limbah kemudian dicampur dan pH awal limbah diatur menjadi 8.

## Percobaan biosorpsi skala laboratorium

Erlenmeyer volume 250 mL disediakan sebanyak 45 buah, masing-masing diisi dengan 100 mL limbah cair batik. Setiap erlenmeyer ditambahkan 1 buah biosorben yang dikemas dalam kantong teh celup dengan komposisi dan ukuran partikel sesuai perlakuan. Erlenmeyer ditutup dengan paraffin dan dihomogenkan dalam shaker inkubator dengan kecepatan 175 rpm pada suhu 25<sup>o</sup>C selama 1 jam.

## Ekstraksi Limbah Cair Batik

Limbah cair batik dipisahkan dari biosorben, kemudian diambil 50 ml dan ditambahkan 5 mL HNO<sub>3</sub> pekat dan 2 mL HCl 20%. Larutan dipanaskan dengan *hot plate* pada suhu 180<sup>o</sup>C hingga tersisa 10-20 mL. Larutan disaring dengan kertas Whatman No. 42, kemudian filtrat diencerkan dengan aquades hingga 50 mL. Filtrat diukur absorbansi Cr dengan alat AAS dengan panjang gelombang 357 nm (Herlich, 1991).

## Metode Analisis

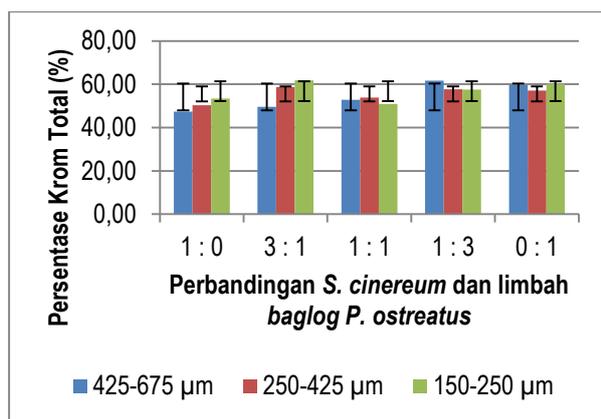
Data yang diperoleh berupa persentase adsorpsi Cr total dianalisis dengan menggunakan uji F dengan tingkat kepercayaan 95% untuk mengetahui adanya pengaruh antar perlakuan kemudian dilanjutkan dengan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) untuk mengetahui campuran *S. cinerium* dan limbah *baglog* dan ukuran partikel

yang paling optimum dalam mengadsorpsi Cr total.

**Hasil dan Pembahasan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, pada kondisi optimum adsorpsi yaitu pH awal limbah cair batik 8 dan waktu kontak 1 jam, absorbansi AAS memperlihatkan adanya perbedaan jumlah konsentrasi krom pada limbah cair batik sebelum dengan sesudah perlakuan. Besarnya krom yang teradsorpsi pada perlakuan biosorben yang dikemas dalam kantong teh celup berbeda-beda, tergantung pada perbandingan dan ukuran partikel. Konsentrasi krom total limbah cair batik sebelum biosorpsi di Sentra Batik Sokaraja berkisar 0,1407 – 0,3485 mg/L dengan rata-rata 0,1893 mg/L. **Gambar 1.** menunjukkan bahwa persentase adsorpsi krom total tertinggi sebesar 62,69% dari konsentrasi awal 0,744 mg/L menjadi 0,156 mg/L terdapat pada perbandingan biosorben 3:1 dengan ukuran partikel 150-250µm dan persentase terendah sebesar 47,36% dari konsentrasi awal 0,165 mg/L menjadi 0,075 mg/L terdapat pada perbandingan biosorben 1:0 dengan ukuran partikel 425-675 µm.

Berdasarkan hasil analisis varian, persentase adsorpsi krom total dengan perlakuan perbandingan biosorben dan interaksi antara perbandingan dan ukuran partikel biosorben menunjukkan hasil tidak berbeda nyata, sedangkan perlakuan ukuran partikel menunjukkan berbeda nyata (**Tabel 1.**) sedangkan rerata persentase adsorpsi krom total pada berbagai ukuran partikel menunjukkan tidak berbeda nyata (**Tabel 2.**).



**Gambar 1.** Persentase adsorpsi Krom total pada limbah cair batik dengan biosorben yang dikemas dalam kantong teh celup pada perbandingan dan ukuran partikel berbeda

**Tabel 1.** Analisis varian adsorpsi Cr Total pada limbah cair batik dengan biosorben yang dikemas dalam kantong teh celup pada perbandingan dan ukuran partikel berbeda

Sumber Ragam	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F hitung	Ftabel	
					0.05	0.01
Perlakuan	14	1.135,604	81,115	1,165 <sup>ns</sup>	3,23	5,56
Kelompok	2	9,943	4,972	0,071 <sup>ns</sup>	4,46	8,65
Komposisi	4	568,588	142,147	2,041 <sup>ns</sup>	3,64	7,01
Galat a	8	557,073	69,634			
Ukuran Partikel	2	41,870	20,935	3,813*	3,49	5,85
Interaksi	8	332,263	41,533	1,108 <sup>ns</sup>	2,45	3,56
Galat b	20	109,818	5,491			
Total	44	3.395,159				

Keterangan : ns= non signifikan; \*= berbeda nyata

**Tabel 2.** Rerata uji BNT ukuran partikel yang mengadsorpsi Cr total

Ukuran Partikel (µm)	Adsorpsi Krom Total (%)
150-250	54,395a
250-425	55,512a
425-625	56,756a

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda berdasarkan BNT pada tingkat kepercayaan 95%

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa persentase adsorpsi pada perbandingan biosorben 1:0 dan 3:1 terus meningkat mulai dari ukuran partikel 425-675 µm hingga 150-250 µm. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar permukaan biosorben semakin besar kapasitas adsorpsi. Persentase adsorpsi pada perbandingan biosorben 1:1 meningkat hingga ukuran partikel 250-425 µm kemudian menurun pada ukuran partikel 150-250 µm. Penurunan tersebut disebabkan ukuran partikel 150-250 µm lebih kecil dibandingkan pori-pori kantong teh celup sehingga , banyak biosorben yang lolos dari kantong teh celup. Hal tersebut menyebabkan gugus aktif yang tersedia untuk mengikat krom berkurang. Demikian juga halnya pada perbandingan biosorben 1:3 yang persentase adsorpsinya terus menurun dari ukuran partikel 425-675 µm hingga 150-250 µm. Persentase adsorpsi pada perbandingan biosorben 0:1 menurun pada ukuran partikel 250-425 µm. Persentase adsorpsi krom menggunakan biosorben 300 mg *S. cinereum* yang dipotong ukuran 1 cm sebesar 17,22% (Lestari *et al.*, 2008). Ukuran partikel 425-675 µm memiliki persentase adsorpsi lebih tinggi dibanding ukuran partikel 1 cm. Adsorpsi Zn pada limbah cair batik menggunakan limbah baglog *P. ostreatus* pada bobot 25 g sebesar 62,40% (Kartikasari *et al.*, 2012). Biomassa yang digunakan dalam penelitian adalah 500 mg dengan ukuran partikel 425-675 µm memiliki persentase adsorpsi hampir sama dengan berat biomassa 25 g utuh. Hal tersebut menunjukkan bahwa ukuran partikel kecil dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi.

Penurunan kemampuan adsorpsi Cr total pada ukuran partikel 150-250  $\mu\text{m}$  disebabkan oleh situs aktif telah jenuh dengan ion krom sehingga penambahan luas permukaan biosorben tidak meningkatkan adsorpsi krom total karena proses desorpsi. Desorpsi terjadi diakibatkan oleh sisi aktif atau rongga-rongga kosong telah terisi seluruhnya atau telah jenuh sehingga tidak mampu lagi melakukan adsorpsi (Bina *et al.*, 2006; Hammains *et al.*, 2007). Satu situs aktif yang terdapat pada permukaan biosorben hanya dapat mengikat satu ion krom pada limbah cair batik. Sheng *et al.*, (2004); Chen *et al.*, (2005) menyatakan bahwa adsorpsi pada lapisan tunggal hanya akan menyediakan satu situs aktif untuk satu molekul. Proses adsorpsi logam berat oleh *S. cinereum* dan limbah *baglog* terjadi karena adanya interaksi antara situs yang bermuatan negatif yang terdapat pada dinding sel berupa fosfodiester, karboksilat, fosfat, thiolat dan gugus amida dengan ion krom pada limbah cair batik yang bermuatan positif.

Penurunan adsorpsi krom total diduga juga disebabkan berkurangnya biomassa yang tersedia karena sebagian besar perlakuan pada ukuran partikel 150-250  $\mu\text{m}$  lolos dari kantung teh celup. Hal tersebut sesuai dengan berkurangnya biomassa akhir pada ukuran partikel 150-250  $\mu\text{m}$  yaitu 438.33 mg. Volesky and Holan, (1995) mengemukakan bahwa biomassa berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi. Kapasitas adsorpsi akan terus meningkat dengan bertambahnya biomassa hingga titik jenuh.

**Tabel 1.** menunjukkan bahwa perbandingan biosorben dan interaksi tidak berpengaruh terhadap adsorpsi krom total sedangkan ukuran partikel berpengaruh terhadap adsorpsi krom total. Proses adsorpsi adalah proses pengikatan logam pada dinding atau permukaan biosorben. Situs aktif biosorben bertanggung jawab terhadap besarnya kapasitas adsorpsi. Situs aktif biosorben dapat diperbanyak dengan memperbesar luas permukaan. Permukaan biosorben semakin luas dengan ukuran partikel yang kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa besarnya adsorpsi krom total pada limbah cair batik sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel.

Rerata persentase adsorpsi krom total pada berbagai ukuran partikel menunjukkan bahwa ukuran partikel 425-625  $\mu\text{m}$  mengadsorpsi krom total terbaik yaitu sebesar 56,756% (**Tabel 2**). Ukuran partikel berpengaruh terhadap jumlah situs aktif yang mengikat logam, semakin banyak situs aktif maka akan semakin banyak ion logam berat yang teradsorpsi sampai pada suatu titik jenuh tertentu (Al-Qodah, 2006; Montazer-rahmati *et al.*, 2011) Ukuran partikel 150-250  $\mu\text{m}$  merupakan ukuran partikel terkecil yang dicobakan, namun hasil penelitian tidak menunjukkan adsorpsi yang tinggi karena biosorben dalam kantung teh celup lolos atau

keluar melewati pori kantung teh celup sehingga mengurangi jumlah situs aktif yang tersedia. Selain itu, kemasan teh celup membuat biosorben menggumpal ketika dikontakkan dengan limbah cair, sehingga ada kemungkinan situs aktif bagian dalam tidak dapat berikatan dengan ion krom dalam limbah cair batik. Situs aktif yang berikatan dengan logam hanya bagian permukaan saja. Adsorpsi logam berat menggunakan rumput laut (*seaweed*) sangat dipengaruhi oleh jumlah biomassa biosorbennya (Rezaee *et al.*, 2006).

## Simpulan

Perbandingan biosorben yang optimum dalam mengadsorpsi krom total pada limbah cair batik adalah 3:1 dengan ukuran partikel 425-675  $\mu\text{m}$ . Biosorben yang dikemas dalam kantung teh celup efektif meskipun terjadi penggumpalan pada saat kontak dengan limbah cair batik. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengkaji biomassa optimal agar tidak menggumpal dalam kantung teh celup.

## Daftar Referensi

- Al-Qodah, Z. (2006) 'Biosorption of heavy metal ions from aqueous solutions by activated sludge', *Desalination*, 196, pp. 164–176.
- Alam, Z. (2004) 'Biosorption of Basic Dye Using Sewage Treatment Plant Biosolid', *Biotechnology*, 3(2), pp. 200–2004.
- Azmat, R., Uzma and Uddin, F. (2007) 'Biosorption of Toxic Metals from Solid Sewage Sludge by Marine Green Algae', *Asian Journal of Plant Sciences*, 6(1), pp. 42–45.
- Bina, B. et al. (2006) 'Biosorption and Recovery of Copper and Zinc from Aqueous Solutions by Nonliving Biomass of Marine Brown Algae of *Sargassum Sp.*', *Pakistan Journal of Biological Science*, 9(8), pp. 1525–1530.
- Chen, X. C. et al. (2005) 'Biosorption of copper ( II ) and zinc ( II ) from aqueous solution by *Pseudomonas putida CZ1*', *Colloids and Surface*, 46, pp. 101–107. doi: 10.1016/j.colsurfb. 2005.10.003.
- Dutta, Monal and Basu, J. K. (2012) 'Statistical Optimization for the Adsorption of Acid Fuchsin onto the Surface of Carbon Alumina Composite Pellet : an Application of Response Surface Methodology', *Journal of Environmental Science and Technology*, 5(1), pp. 42–53.
- Hammains, A. et al. (2007) 'Biosorption of Heavy Metals by Activated Sludge and Their

- Desorption Characteristics', *Journal of Environment Management*, 84, pp. 419–426. doi: 10.1016/j.jenvman.2006.06.015.
- Herlich, K. (1991) *Official Methods of Analysis*. Virginia USA: AOAC.
- Kartikasari, T. H., Lestari, S. and Dewi (2012) 'Adsorpsi Zn dan dekolerasi limbah batik menggunakan limbah baglog *Pleurotus ostreatus* dengan sistem inkubasi dan volume limbah batik berbeda', *Biosfera*, 29(3), pp. 167–173.
- Khorramabadi, G. S. and Soltani, R. D. C. (2008) 'Evaluation of the Marine Algae *Gracilaria salicornia* and *Sargassum* sp. for the Biosorption of Cr (VI) from Aqueous Solutions', *Journal of Applied Sciences*, 8(11), pp. 2163–2167.
- Lestari, S. et al. (2015) 'Kajian Kualitas Air Kali Wangan yang Tercemar Limbah Cair Batik', in *Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan*. Semarang, pp. 553–556.
- Lestari, S., Hernayanti and Insan, A. I. (2008) 'Biosorpsi Krom Hexavalen (CrVI) menggunakan rumput laut *Sargassum* sp. dalam skala laboratorium', *Biosfera*, 25(3), pp. 129–134.
- Montazer-rahmati, M. M. et al. (2011) 'Kinetics and equilibrium studies on biosorption of cadmium, lead, and nickel ions from aqueous solutions by intact and chemically modified brown algae', *Journal of Hazardous Materials*. Elsevier B.V., 185(1), pp. 401–407. doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.09.047.
- Nasreen, Z., Rukhsana, B. and Tasnim, K. (2007) 'Decolorization of Textile Dyes and Their Effluents Using White Rot Fungi', *Mycopath*, 5(1), pp. 49–52.
- Okuo, J. M., Sanni, S. B. and Aigbedio, S. . (2006) 'Selective Biosorption of Heavy Metal Ions from Aqueous Solutions by Pre-Treated Nigerian Fresh Water Algae', *Trends in Applied Sciences Research*, 1(1), pp. 83–90.
- Rezaee, A. et al. (2006) 'Biosorption of Mercury by Biomass of Filamentous Algae *Spirogyra* Species', *Journal of Biological Sciences*, 6(4), pp. 695–700.
- Sahmoune, M. N., Louhab, K. and Boukhiar, A. (2008) 'The Adsorption of Chromium from Aqueous Solution Using Dead Biomass', *Environment Research Journal*, 2(5), pp. 254–260.
- Sheng, P. X. et al. (2004) 'Sorption of lead, copper, cadmium, zinc, and nickel by marine algal biomass: characterization of biosorptive capacity and investigation of mechanisms', *Journal of Colloid and Interface Science*, 275, pp. 131–141. doi: 10.1016/j.jcis.2004.01.036.
- Volesky, B. and Holan, Z. R. (1995) 'Biosorption of heavy metals.', *Biotechnology progress*, 11(3), pp. 235–250. doi: 10.1021/bp00033a001.