

# **EFISIENSI PENYERAPAN KULIT BUAH ATAP (*Arenga pinnata*) MENGIKAT ION-ION LOGAM KROMIUM DALAM LARUTAN**

Dian Arrisujaya  
Program Studi Kimia FMIPA Universitas Nusa Bangsa Bogor  
Jl. Baru Km 4 Cimanggu Tanah Sareal Bogor 16166  
e-mail : d1anarrisujaya@gmail.com

## **ABSTRACT**

### ***The Adsorption Efficiency of Atap Fruit Shell (*Arenga pinnata* Merr) on remove Chromium Metal Ions from a Solution***

*Arenga pinnata* fruit shell was dried, pulverized, and used for biosorption of Cr(III) and Cr(VI) from a solution. Column experiments were conducted to investigate the affected parameters of pH solution, particle size, chromium metal ion concentration, flow rate and amount of mass biosorbent. The maximum adsorption efficiency of metal ions Cr(III) and Cr(VI), was 47.79% and 41.47% respectively, initial metal ion concentrations of 75-100 mg/L at initial pH of 3 for Cr(VI) and initial pH of 4 for Cr(III) with the particlesize 180 $\mu$ m and flow rate of 1-2 mL/min. Adsorption capacity will increase with increasing the number of mass biosorbent, however adsorption efficiency will decrease. An FTIR examination revealed changes between the natural and heavy metals-loaded biomaterial. Scanning electron micrograph (SEM) also revealed changes in the surface morphology of thebiomass as a result of heavy metal adsorption. Based on these results, it could be concluded that the *Arenga pinnata* was effective in removing heavy metal from aqueous solution and needed consideration for scaled-up application.

*Keywords* : *Arenga pinnata*, heavy metals, biosorption, fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and scanning electron microscope (SEM)

## **ABSTRAK**

Kemampuan penyerapan kulit buah atap (*Arenga pinnata*) terhadap ion logam Cr(III) dan Cr(VI) dalam larutan. Metoda kolom digunakan dalam proses biosorpsi dengan parameter yang mempengaruhi efisiensi penyerapan yaitu pH larutan, ukuran partikel, konsentrasi ion logam, laju alir dan massabiosorben. Efisiensipenyerapan maksimum ion logam Cr(III) dan Cr(VI) oleh kulit buah atap masing-masing adalah 47.79% dan 41.47 % dengan konsentrasi ion logam 75-100 mg/L pada pH 3 untuk Cr(VI) dan pH 4 untuk Cr(III), ukuran partikel biosorben 180 $\mu$ m serta pada laju alir 1-2 mL/menit. Efisiensi penyerapan akanmeningkatdenganpenambahanmassa biosorben, namunkapasitas penyerapannya akan menurun. Analisis FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)digunakan untuk mengetahui membandingkan biomaterial sebelum dan sesudah berikatan dengan ion-ion logam berat.perubahan gugus fungsi pada kulit buah atap dianalisis dengan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*). Sedangkan untuk melihat perubahan permukaan pada kulit buah atap digunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa bahan biomaterial kulit buah atap efektif dalam menyerap logam berat dalam larutan dan biomaterial ini dapat dipertimbangkan untuk skala yang lebih lanjut.

Kata kunci : Buah atap, *Arenga pinnata*, logam massa, biosorpsi, *fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR), dan *scanning electron microscope* (SEM)

## **PENDAHULUAN**

Pada saat ini pencemaran berlangsung di mana-mana dengan laju begitu cepat yang tidak pernah terjadi sebelumnya. Kecenderungan pencemaran akhir-akhir ini salah satunya mengarah kepada meningkatnya penggunaan bahan

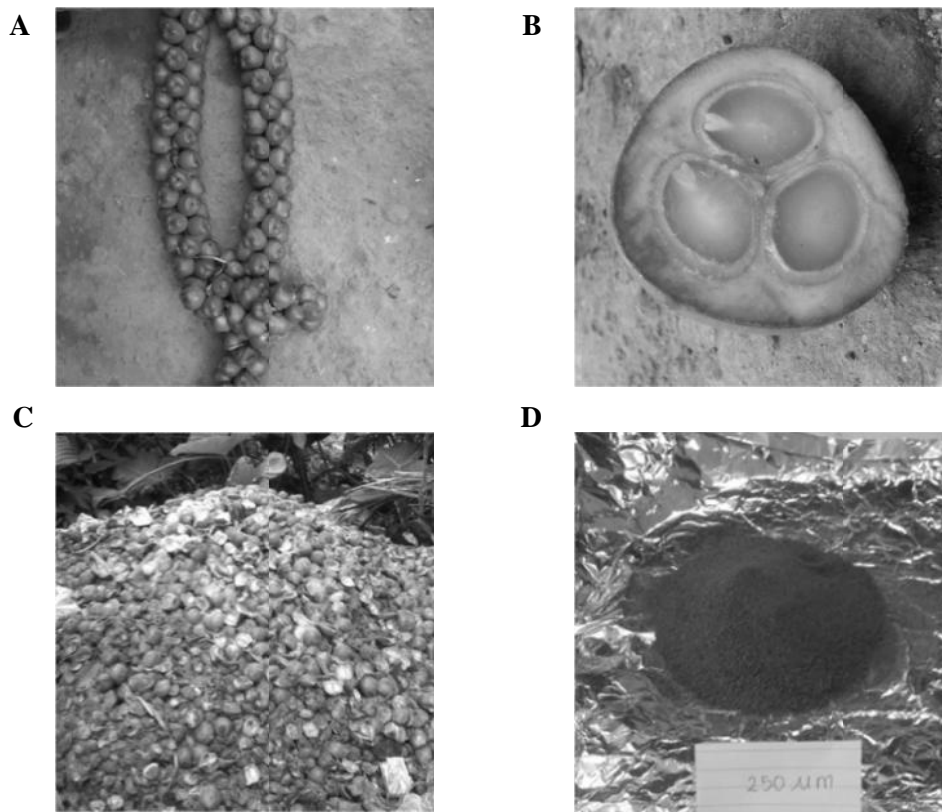
berbahaya beracun (B3) oleh berbagai kegiatan industri dengan pembuangan limbahnya ke lingkungan (Achmad, 2004). Pencemaran perairan oleh logam massa merupakan isu lingkungan yang mendapat perhatian serius (Vasuderan *et al.*, 2003).

Berbagai metoda seperti pengendapan secara kimia, elektrodposisi, pertukaran ion, pemisahan dengan menggunakan membran dan adsorpsi telah digunakan untuk menyerap logam massa. Adsorpsi adalah cara alternatif yang memberikan prospek yang lebih baik, karena metoda ini efektif untuk menyerap logam massa dengan konsentrasi yang sangat sedikit dari buangan limbah. Teknik adsorpsi dengan menggunakan resin polimer telah banyak dijual di pasaran dan digunakan dalam kimia analisis, tetapi harganya relatif mahal.

Karena itu beberapa biomaterial dari limbah hasil pertanian atau pun material biologi lain saat ini sedang diteliti secara intensif. Dan beberapa diantaranya dapat

menjadi alternatif bahan penyerap (biosorpsi) yang mengurangi tingginya konsentrasi logam massa. Bahan penyerap yang terbuat dari limbah hasil pertanian ini sangat efektif dan efisien dengan biaya yang murah.

Mekanisme penyerapan logam massa oleh biomaterial adalah karena pada biomaterial komposisi kandungan kimia yang umum yaitu senyawa selulosa dan lignin. Lignin merupakan senyawa polimer aromatik yang berfungsi untuk membawa air dari akar ke daun dan untuk memproteksi tanaman supaya tidak terdegradasi. Gugus fungsi yang terdapat pada lignin yaitu alkohol, aldehyd, keton, karboksilat, fenol dan eter.



Gambar 1. Buah Atap (*Arenga pinnata*)(A), Bentuk Kulit dan Isi dari Buah Atap(B), Limbah Pertanian Kulit Buah Atap(C), Biomaterial Kulit Buah Atap yang Sudah Dibersihkan dan Dihaluskan(D).

Penelitian tentang penyerapan logam massa telah banyak dikembangkan dalam penggunaan biomaterial belakangan ini. Beberapa tahun terakhir misalnya, penggunaan daun jagung (Babarinde *et al.*, 2006), biomassa seperti alga (Jafari *et al.*, 2012 dan Yalcin *et al.*, 2012), ragi, bakteri (Nagase *et al.*, 2005; Ranjan *et al.*, 2009), lumut (Acar *et al.*, 2005), jamur (Preetha dan Virutaghiri, 2005), asam alginat, selulosa, tanin (Ogata *et al.*, 2004), chitin dan chitosan (Baba *et al.*, 2004 dan Prakash *et al.*, 2011), tin (Gupta *et al.*, 2012), Sukun (Linda *et al.*, 2012), kembang sepatu (Vankar *et al.*, 2011) serta kulit manggis (Zein *et al.*, 2010) dan yang berbasis geomaterial seperti tanah liat dan perlit (Dyer *et al.*, 2004 dan Prakash *et al.*, 2012). Dimana biomaterial ini mudah didapat dan harganya relatif murah. Pengembangan biomaterial limbah pertanian seperti ini menjadi alternatif dalam mengatasi masalah lingkungan.

Kulit Buah Atap merupakan limbah dari industri rumah tangga kolong-kaling yang hanya dibuang dan dijadikan sebagai kompos alami. Namun membutuhkan waktu yang lama untuk menjadikannya kompos. Oleh karena itu, pemanfaatan kulit buah ini sebagai adsorben logam massa, menjadikan kulit buah Atap lebih bermanfaat untuk menyerap logam massa selain dijadikan kompos.

Dalam penelitian ini dipelajari tentang penggunaan kulit buah Atap dalam penyerapan ion logam Cr(III) dan Cr(VI). Telah dilakukan pendekatan dengan melibatkan pengaruh variasi ukuran partikel, pH larutan, kecepatan laju alir dan konsentrasi ion logam serta massa biosorben kulit buah atap. Ion logam diukur dengan menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (*Atomic Absorption Spectrometer/AAS*). Untuk mengetahui perubahan

gugus aktif dari kulit buah atap dianalisis dengan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*). Sedangkan untuk melihat perubahan permukaan biosorben menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*).

## BAHAN DAN METODA

### Perlakuan terhadap Kulit Buah Atap

Kulit Buah Atap (Gambar 1) yang diambil di Puncak Pato-Sumatera Barat, dibersihkan dari batuan dan lumpur yang menempel, dicuci dengan air bersih dan dijemur di udara terbuka. Setelah kering dihaluskan dengan cara ditumbuk dengan alu dan diayak dengan ayakan berdasarkan ukuran partikel yang akan dipakai (150 $\mu$ m, 180 $\mu$ m, 250 $\mu$ m, 425 $\mu$ m). Kulit Buah Atap dengan ukuran tersebut direndam dalam larutan HNO<sub>3</sub> 0,1 M selama 2 jam sambil sesekali diaduk. Hasil rendaman disaring kemudian dicuci dengan aquades. Setelah itu direndam dengan etanol selama 2 jam, kemudian dikeringkan kembali.

### Alat dan Bahan

Semua reagen yang digunakan merupakan produksi dari Merk (Darmstad, Germany). Alat: Field Emission Scanning Electron Microscope/FE-SEM (Inspect F50, FEI Company, USA), Spektrofotometer serapan atom (Raylight WFX-320, BRAIC, China), FTIR (FT/IR-460 Plus, Jasco, Japan), neraca digital (KERN 220-4M, Germany) pH Universal (Merck), blender, kertas saring, dan per-alatan gelas kolom (*i.d* 1 $\times$ 15 cm).

### Pengukuran FTIR Kulit Buah Atap

Sebelum penyerapan: biosorben dipanaskan selama 30 menit dengan tempe-

ratur 50°C. Setelah itu sampel didinginkan dan disimpan dalam desikator, kemudian sampel diukur dengan FTIR. Setelah penyerapan: biosorben kering yang telah digunakan untuk menyerap ion logam disimpan didalam desikator kemudian diukur dengan FTIR.

#### **Pengukuran SEM Kulit Buah Atap**

Sebelum Penyerapan: biomaterial dipanaskan selama 30 menit dengan temperatur 50°C. Setelah itu sampel didinginkan dan disimpan dalam desikator, kemudian sampel diukur dengan FE-SEM. Setelah penyerapan biosorben kering yang telah digunakan untuk menyerap ion logam disimpan didalam desikator kemudian diukur dengan FE-SEM.

#### **Penelitian Biosorpsi Sistem Kolom**

Efisiensi penyerapan dari kulit buah atap diukur melalui memvariasikan beberapa parameter yang diantaranya adalah pH, konsentrasi adsorbat, ukuran partikel dan jumlah massa adsorben. Variasi pH adsorbat adalah: 2,3,4,5,6 dan

8. Sedangkan variasi konsentrasinya 5, 10, 25, 50, 75 dan 100 mg/L. Dengan ukuran partikel adsorben 150, 180, 250 dan 425µm. Massa kulit buah atap berkisar 0,5; 1; 1,5; dan 2 gram.

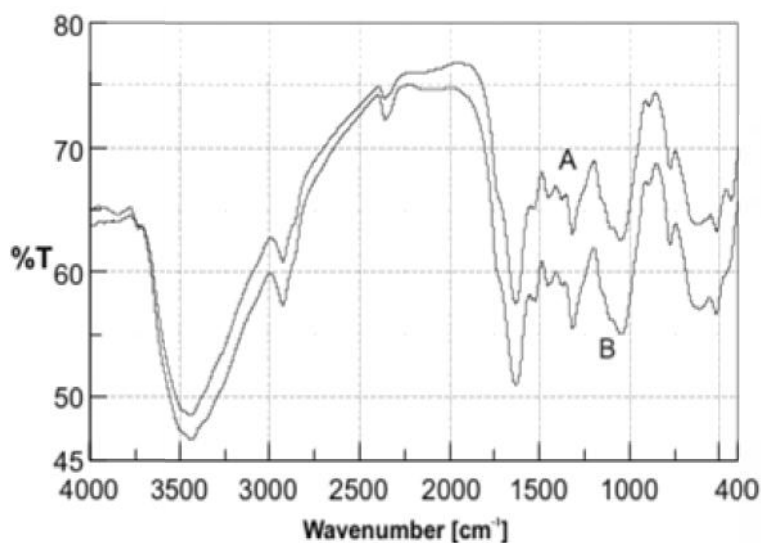
Kolom yang digunakan dalam penyerapan logam kromium berukuran panjang 15 cm dengan diameter 1 cm. Serbuk kulit buah atap dimasukkan ke dalam kolom kemudian ditambahkan 20 mL larutan logam Cr(III) kedalam kolom dengan kecepatan laju alir 1 mL/menit. Perlakuan yang sama untuk larutan logam Cr(VI).

#### **Evaluasi Data**

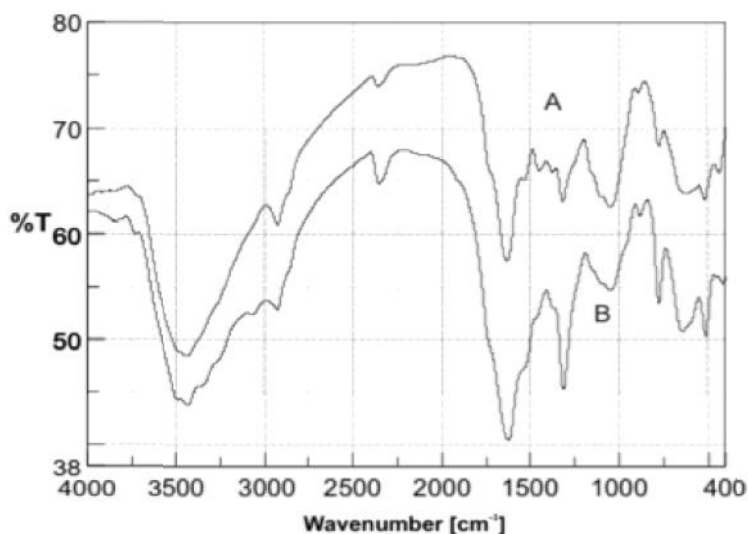
Untuk mengetahui efisiensi penyerapan ion logam Cr(III) dan Cr(VI) oleh Kulit Buah Atap dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\%$$

Ket: E :Efisiensi penyerapan (%);  
 Ci: konsentrasi awal ion logam (mg/L);  
 Cf: konsentrasi akhir(mg/L);



Gambar 2. Spektrum FTIR Kulit Buah Atap Sebelum (A) dan Sesudah (B) Penyerapan Ion Cr(III)



Gambar 3. Spektrum FTIR Kulit Buah Atap (*Arenga pinnata*) Sebelum (A) dan Sesudah (B) Penyerapan Ion Logam Cr(VI)

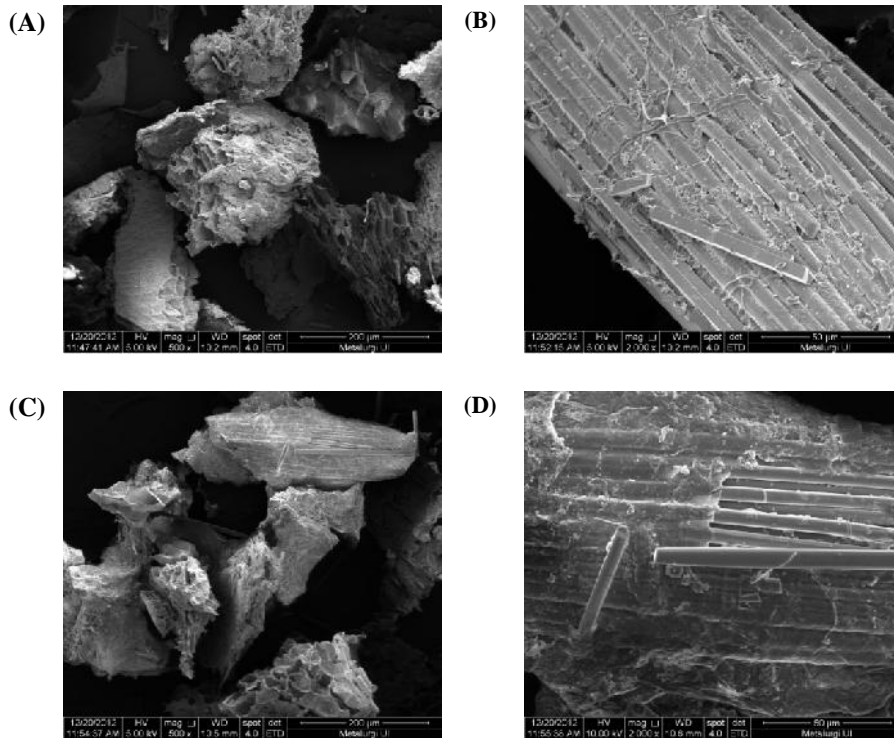
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Gugus Fungsi dari Kulit Buah Atap

Dari semua spektrum FTIR untuk ion-ion logam {Cr(III) dan Cr(VI)} telah terjadi ikatan antara gugus fungsi O–H (alkohol) pada panjang gelombang 3300-3600  $\text{cm}^{-1}$ , gugus fungsi O–H (asam) pada panjang gelombang 2400-3000  $\text{cm}^{-1}$ , C–O pada panjang gelombang 1000-1300  $\text{cm}^{-1}$  dan ikatan C–C pada panjang gelombang 1300-3300  $\text{cm}^{-1}$ , serta gugus fungsi C=O (asam) pada panjang gelombang 1650-1800  $\text{cm}^{-1}$ . Sedangkan untuk logam Cr(VI) terjadi pada gugus fungsi R-NH<sub>2</sub> pada panjang gelombang 3400  $\text{cm}^{-1}$  biasanya lebih tajam dari gugus fungsi O–H. Spektrum FTIR disajikan pada Gambar 2 dan 3 terlihat telah terjadi pergeseran spektrum sebelum dan sesudah yang menandakan telah terjadi interaksi antara gugus-gugus fungsi yang terkandung dalam kulit buah atap dengan ion-ion logam Cr(III) dan Cr(VI).

### Foto FE-SEM Kulit Buah Atap

FE-SEM (FieldEmission Scanning Electron Microscope) digunakan untuk melihat apakah ion logam sudah terikat pada permukaan Kulit buah atap (*Arenga pinnata*). Pada pembesaran 100X keadaan sebelum penyerapan gugus-gugus fungsi pada kulit buah atap (*Arenga pinnata*) ditunjukkan dengan adanya banyak cahaya. Sedangkan setelah penyerapan cahayanya berkurang yang menandakan bahwa gugus-gugus fungsi telah berikatan dengan logam massa. Pembesaran 5000X FE-SEM dari kulit buah atap terjadinya pelapisan permukaan setelah penyerapan. Dimana permukaannya seperti dilapisi oleh logam massa. Gambar 4. merupakan foto FE-SEM kulit buah atap yang berinteraksi dengan larutan logam Cr(III).



Gambar 4. FE-SEM dari Kulit Buah Atap pada Pembesaran 500X (A), 2000X (B) dan Setelah Penyerapan Logam Cr(III) pada Pembesaran 500 X (C) dan 2000X (D)

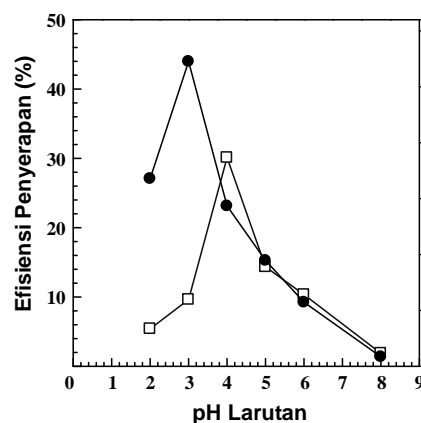
### Efisiensi Penyerapan Ion Logam Cr(III) dan Cr(VI) oleh Biosorben dari Kulit Buah Atap

#### pH Adsorbat

Dari Gambar5. diketahui bahwa pH optimum untuk logam Cr(III) yaitu pada pH 4, dengan efisiensi penyerapan 30,11%. Hasil yang hampir sama untuk pengaruh pH juga dilaporkan oleh para peneliti lain (Yalcin *et al.*, 2012 dan Prakash *et al.*, 2011) dimana pengaruh pH untuk logam kation pada pH 3-6.

Sedangkan untuk logam Cr(VI) pada pH 3 dengan efisiensi penyerapan sebesar 43,98%. Biosorpsi ion logam tergantung pada protonasi gugus fungsi pada permukaan biosorben. Logam Cr(VI) merupakan anion, sedangkan logam lain merupakan kation. Penyerapan optimum logam Cr(VI) pada pH rendah telah banyak

diteliti sebelumnya dimana pH optimum berkisar antara 1,5–3 (Al Othman *et al.*, 2011; Al Othman *et al.*, 2012; Gupta *et al.*, 2012; Baykal *et al.*, 2012; Ranjan *et al.*, 2009 serta Linda *et al.*, 2012).

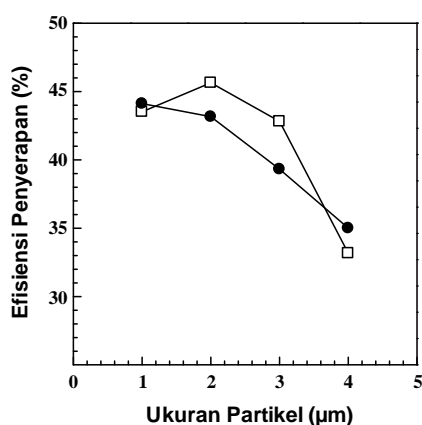


Gambar 5. Pengaruh pH Larutan Ion Logam Cr<sup>3+</sup> ( ) dan Cr<sup>6+</sup> ( ) terhadap Efisiensi Penyerapan pada Kulit Buah Atap

Pada pH rendah penyerapan ion logam rendah dapat dikaitkan pada kompetisi yang terjadi antara kation logam dengan  $H^+$  untuk teradsorpsi pada sisi aktif kulit buah atap. Kulit buah atap mengandung heteropolisakarida kompleks yang dapat memberikan gugus amino, karboksil, dan sulfat. Pada pH rendah, gugus fungsi terprotonasi dan membatasi penyerapan logam karena terjadi kompetisi dengan  $H^+$ . Seiring dengan peningkatan pH, gugus fungsi seperti amino, fosfat, dan gugus karboksil akan terbuka dan membawa muatan negatif sehingga ion logam akan teradsorpsi (Prakas *et al.*, 2011).

### Ukuran Partikel

Efisiensi penyerapan ion logam Cr(III) dan Cr(VI) dipengaruhi oleh ukuran partikel, dimana hal ini berhubungan dengan luas permukaan. Semakin kecil ukuran partikel, akan semakin besar luas permukaan dan semakin banyak interaksi pada permukaan partikel dengan gugus fungsi hidroksil, amino, ester, karboksil dan eter, mengakibatkan meningkatnya efisiensi penyerapan.



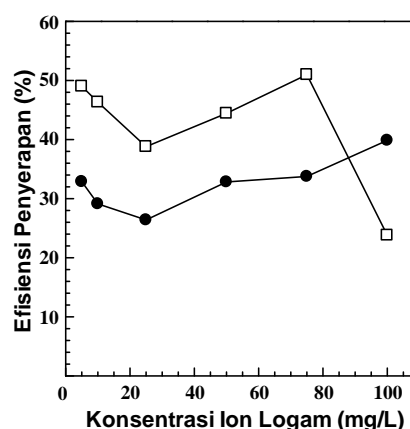
Gambar 6. Pengaruh Ukuran Partikel Kulit Buah Atap (1 = 150 µm, 2 = 150 – 180 µm, 3 = 180 – 250 µm, 4 = 250 – 425 µm) terhadap Penyerapan Ion Logam  $Cr^{+3}$  ( ) dan  $Cr^{+6}$  ( ).

Diamati pada Gambar 6. bahwa efisiensi penyerapan meningkat dengan penurunan ukuran partikel biosorben. Peristiwa adsorpsi adalah fenomena permukaan, sehingga tingkat penyerapan berhubungan erat dengan luas permukaan. Oleh sebab itu, semakin kecil ukuran partikel, semakin besar penyerapan yang akan terjadi, karena ion-ion akan menembus ke pori-pori dalam partikel. (Al Othman *et al.*, 2012); (Vankar *et al.*, 2011).

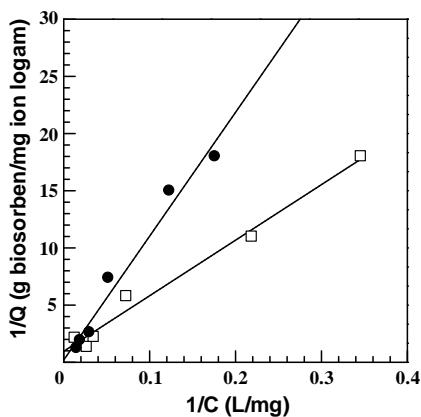
### Konsentrasi Ion Logam

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa efisiensi penyerapan optimum ion logam Cr(VI) pada konsentrasi 100 mg/L, sedangkan ion logam Cr(III) optimum penyerapan pada konsentrasi 75mg/L.

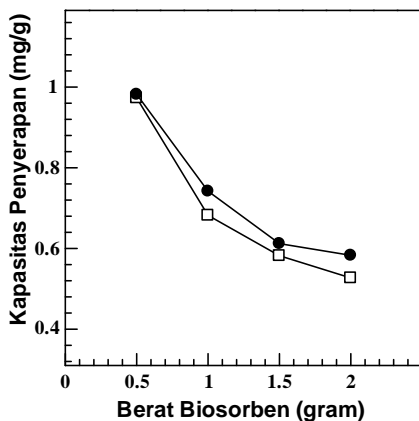
Hubungan antara konsentrasi ion logam dengan kapasitas penyerapan digunakan Langmuir isotherm. Kurva Langmuir isotherm dari ion logam yang diserap oleh kulit buah atap (*Arenga pinnata*) bisa dilihat pada Gambar 8. Kurva ini menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi ion logam maka semakin besar kapasitas penyerapan.



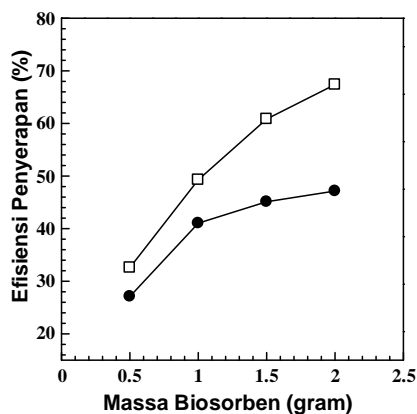
Gambar 7. Pengaruh Konsentrasi Larutan Ion Logam  $Cr^{+3}$  ( ) dan  $Cr^{+6}$  ( ) terhadap Efisiensi Penyerapan pada Kulit Buah Atap



Gambar 8. Kurva Linearitas Langmuir untuk Penyerapan Ion Logam Cr<sup>3+</sup> (●) dan Cr<sup>6+</sup> (□)



Gambar 8. Pengaruh Massa Biosorben terhadap Kapasitas Penyerapan Ion Logam Cr<sup>3+</sup> (●) dan Cr<sup>6+</sup> (□).



Gambar 8. Pengaruh Massa Biosorben terhadap Efisiensi Penyerapan Ion Logam Cr<sup>3+</sup> (●) dan Cr<sup>6+</sup> (□).

### Massa Biosorben

Efisiensi penyerapan didapatkan meningkat dengan bertambahnya massa biosorben. Disisi lain pengaruh massa biosorben kulit buah atap pada kapasitas penyerapan logam per satuan massa biosorben menurun dengan meningkatnya massa biosorben. Ini dikarenakan pada massa biosorben tertinggi luas permukaan juga meningkat. (Vankar *et al*, 2011). Pada Gambar 10. dapat dilihat peningkatan efisiensi penyerapan dan penurunan kapasitas penyerapan kulit buah atap terhadap massa biosorben. Hasil yang sama dilaporkan oleh Onwuka (2011) dimana kapasitas penyerapan menurun jika massa biosorben diperbesar.

### KESIMPULAN

Kulit buah atap (*Arenga pinnata*) efektif digunakan sebagai bahan penyerap logam massa {Cr(III), Cr(VI)} dalam larutan melalui mekanisme adsorpsi. Ini ditandai dengan besarnya efisiensi penyerapan berdasarkan beberapa faktor, yaitu: pH larutan, ukuran partikel, konsentrasi ion logam, laju alir dan massa biosorben. Efisiensi penyerapan ion logam Cr(III) dan Cr(VI) pada kondisi optimum masing-masing adalah: 47.79% dan 41.47 %. Untuk penelitian selanjutnya biomaterial ini dapat ditingkatkan kapabilitas penyerapannya seperti penggunaan katalis dan memodifikasi gugus fungsi biosorben untuk mempertinggi efisiensi penyerapannya.

### DAFTAR PUSTAKA

Achmad, R. 2004. *Kimia Lingkungan*. ANDI Yogyakarta, Yogyakarta

Acar, O., S. Ozvatan, M. Ilim. 2005. Determination of cadmium, copper,



- iron, manganese, lead and zinc in lichens and botanic samples by electrothermal and flame atomic absorption spectrometry. *Turk. J. Chem.* 29: 335-344.
- Al Othman Z. A., M. Naushad, R. Ali. 2012. Kinetic, equilibrium isotherm and thermodynamic studies of Cr(VI) adsorption onto lowcost adsorbent developed from peanut shell activated with phosphoric acid. *Environ Sci. Pollut Res.* DOI 10.1007/s11356-012-1259-4
- Al Othman Z. A., A. Hashem, M. A. Habila. 2011. Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic Studies of Cadmium (II) Adsorption by Modified Agricultural Wastes. *Molecules.* 16: 10443-10456
- Baba Y., Y. Aoya, O. Kaoru, S. Nakamura. 2004. Adsorbitive Removal of Heavy Metals on Chitosan Derivatives with Phosphonyl and Pyridyl Groups. *Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering congress program and abstracts.* pp.998-. Vol. 2004.
- Babarinde N.A.A., J.O Babalola, R.A. Sanni. 2006. Biosorption of lead ions from aqueous solution by maize leaf. *Inter-national Journal of Physical Sciences.* Vol. 1, 023-026.
- Baykal T., I. A. Erkaya, A. U. Udoh, D. Yalcin, A. Akbulut, G. Bayramoglu, M. Y. Arica. 2012. Biosorption of Cr(VI) by free and immobilized *Pediastrum boryanum* biomass: equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies. *Environ Sci. Pollut Res.* 19:2983–2993
- Dyer, A., S. Tangkawanit, K. Rangriwatananon. 2004. Exchange diffusion of  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  into analcime synthesized from perlite. *Microporous and Mesoporous Materials.* 75: 273–279.
- Gupta V. K., D. Pathania, S. Agarwal, S. Sharma. 2012. Removal of Cr(VI) onto *Ficus carica* biosorbent from water. *Environ Sci. Pollut Res.* DOI 10.1007/s11356-012-1176-6
- Jafari N., Z. Senobari. 2012. Removal of Pb (II) ion from aqueous solution by *Cladophora rivularis* (Linnaeus) hoek. *The Scientific World Journal,* vol. 2012
- Linda B., L. Lim, N. Priyantha, D. T. B. Tennakoon, M. K. Dahri. 2012. Biosorption of cadmium(II) and copper(II) ions from aqueous solution by core of *Artocarpus odoratissimus*. *Environ Sci. Pollut Res.* 19:3250–3256
- Nagase, H., D. Inthorn, A. Oda, J. Nishimura, Y. Kajiwara, M. Park, K. Hirat, K. Miyamoto. 2005. Improvement of selective removal of heavy metals in cyanobacteria by NaOH treatment., *J. Bioscience and Bioengineering.* 99 (4): 372-377.
- Ogata, T., Y. Nakano. 2004. Novel Recovery System of gold from aqueous solutions using a tannin gel, *Asian Pacific Con-federation of Chemical Engineering congress program and abstracts,* Vol. 2004, pp.666-.
- Onwuka, J. C., V. O. Ajibola, J. A. Kagbu, A. J. Manji. 2011.

- Biosorption of Cr(VI) and Co(II) ions from Synthetic Wastewater using Dead Biomass of Fresh Green Algae *Cosmarium panamense*. *Scholars Research Library*. 3(6): 191-207.
- Prakash N., P. N. Sudha., N. G. Renganathan. 2011. Copper and cadmium removal from synthetic industrial wastewater using chitosan and nylon 6. *Environ Sci. Pollut Res*. 19: 2930-2941.
- Prakash N., S. Latha., P. N. Sudha., N. G. Renganathan. 2012. Influence of clay on the adsorption of heavy metals like copper and cadmium on chitosan. *Environ Sci. Pollut Res*.
- Preetha, B., T. Virutaghiri. 2005. Biosorption of zinc (II) by *Rhizopus arrhizus*: equilibrium and kinetic modelling, *African Journal of Biotechnology*. 4 (6): 506-508.
- Ranjan D., P. Srivastava, M. Talat, S. H. Hasan. 2009. Biosorption of Cr(VI) from Water Using Biomass of *Aeromonas hydrophila*: Central Composite Design for Optimization of Process Variables. *Appl. Biochem Biotechnol* .158:524–539
- Vankar P. S., R. Sarswat, R. Sahu. 2012. Biosorption of Zinc Ions from Aqueous Solutions onto Natural Dye Waste of Hibiscus rosa sinensis: Thermodynamic and Kinetic Studies. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 31, No.1
- Vasudaran P., V. Padmavathy, S.C. Dhingra. 2003. Kinetics of biosorption of cadmium on Baker's yeast. *Bioresour. Technol*. 89 (3): 281-287.
- Yalcin S., S. Sezer., R. Apak. 2012. Characterization and lead(II), cadmium(II), nikel(II) biosorption of dried marine brown macro algae *Cytoseria barbata*. *Environ Sci. Pollut Res*. 19: 3118-3125.
- Zein. R., R. Suhaili, F. Earnestly, Indrawati, E. Munaf. 2010. Removal of Pb(II), Cd(II) and from aqueous solution using *Garcinia mangostana* L. fruit shell. *J. Hazardous Materials*. 181: 52-56.