

**PEMANFAATAN BIOMASSA DAUN PECAH BELING  
(*Strobilanthes crispus*) TERMODIFIKASI TANIN SEBAGAI  
SORBEN UNTUK LOGAM ORGANOLEAD**

**BIOMASS UTILIZATION OF TANNINS MODIFIED PECAH  
BELING LEAVES (*Strobilanthes crispus*) AS SORBENT FOR  
ORGANOLEAD METALS**

**<sup>1\*</sup> Agung Budiraharjo, dan <sup>2</sup>Sukandar**

<sup>1,2</sup>. Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl Ganesha 10 Bandung 40132

<sup>\*1</sup>budiraharjo.agung@gmail.com, dan <sup>2</sup>sukandar11@gmail.com

**Abstrak:** *Pb-organik atau senyawa organolead merupakan logam turunan dari Pb yang tingkatan toksisitasnya empat kali lebih tinggi dibandingkan dengan senyawa logam Pb murni dan Pb ionik. Dalam penelitian ini, modifikasi tannin dari biomassa daun *Strobilanthes crispus* dimanfaatkan sebagai biosoben untuk mengurangi konsentrasi senyawa organolead. Biosorben yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga jenis: biosorben dari biomassa tanpa perlakuan (BTP), biosorben polimerisasi dari biomassa daun (BDP), dan biosorben polimerisasi ekstrak tannin dari biomassa (BEP). y Scanning Electron Microscopy (SEM), kadar air, kadar abu, kadar volatil, dan kadar karbon terikat dilakukan untuk menentukan karakteristik fisik dan kimia biosorben yang dibandingkan dengan SNI 06-3730 dan SII 0258-79. Untuk memperkirakan kapasitas penyerapan logam organolead, maka dilakukan percobaan secara sistem batch, dengan parameter yang mempengaruhi proses adsorpsi terdiri dari variasi ukuran biosorben, dosis biosorben, waktu kontak, serta konsentrasi awal limbah artifisial organolead. Mekanisme penyerapan organolead dianalisis melalui uji isoterm adsorpsi berdasarkan model Langmuir dan model Freundlich)*

**Kata kunci:** *organolead, biosorpsi, pecah beling (*Strobilanthes crispus*), polimerisasi tannin*

**Abstract :** *Organic-Pb or organolead compound is a derivative of Pb metal which have toxicity levels four times higher than the pure metal Pb and Pb ionic. In this research, the modification of tannin from the *Strobilanthes crispus* leaves biomass was utilized as an adsorbent material for the removal of organolead from artificially contaminated solution. Biosorbent used in this study consists of three types: biosorbent from biomass without treatment (BTP), biosorbent treatment polymerization from the biomass (BDP), and biosorbent treatment polymerization from the tannin extract from biomass (BEP). The Scanning Electron Microscopy (SEM), moisture content, ash content, volatile content, and fixed carbon content was conducted to determine the physical and chemical characteristics of biosorbent compared to SNI 06-3730 and SII 0258-79. Batch experiments were used to predict the adsorption capacity of lead ion. Different parameters affecting the adsorption process were tested including initial adsorbent particle size, adsorbent dose, contact time and adsorbate dose. The adsorption process of organolead was tested with Langmuir and Freundlich model.*

**Key words:** *organolead, biosorption, pecah beling leaves, polymerization of tannin*

## PENDAHULUAN

Salah satu limbah yang berbahaya adalah limbah dari senyawa logam berat timbal (Pb). Timbal merupakan satu unsur logam berat yang lebih tersebar luas dibanding kebanyakan logam toksik lainnya yang berasal dari beberapa industri seperti industri pembuatan baterai, industri pembuatan kabel listrik, industri pewarna cat (*antifouling cat*) (Rees et al., 2014), dan gas landfill (Ilgen et al., 2007 dan Selatnia et al., 2004). Senyawa Pb-organik atau organolead merupakan senyawa organometal turunan dari logam Pb yang tingkat toksisitasnya empat kali lebih tinggi dibandingkan dengan senyawa logam Pb murni dan Pb ionik karena ketika senyawa *organolead* dilepaskan pada lingkungan akan terjadi reaksi dealkilasi yang menyebabkan senyawa

*organolead* tingkat toksisitasnya lebih tinggi (Gallet dan Winter, 2002, dalam Andreotolla et al., 2008). Senyawa *organolead* dapat terbentuk dari proses metilasi secara biologis dan kimia dari senyawa Pb anorganik dalam lingkungan perairan (Singare et al., 2012). Toksisitas spesies-spesies alkil-lead semakin menurun dengan berkurangnya jumlah alkil yang terkait pada logam timbal,  $R_4Pb > R_3Pb+ > R_4Pb^{2+} > Pb^{2+} > Pb$  (dengan R adalah gugus metil atau etil), tetapi bentuk ioniknya lebih lama berada dalam lingkungan.

Proses adsorpsi merupakan proses pengolahan dari logam berat yang diharapkan dapat mengambil ion-ion logam berat dari limbah logam *organolead* tersebut. Terdapat dua metoda adsorpsi, yaitu adsorpsi secara fisik dan adsorpsi secara kimia (Notodarmojo, 2005). Kedua metoda ini terjadi ketika molekul dalam fase cair melekat pada permukaan padat sebagai gaya tarik menarik pada permukaan zat padat (adsorben) untuk mengatasi energy kinetik molekul pencemar pada fase cair (adsorbat) (Kurniawan dan Notodarmojo, 2010). Teknik ini lebih menguntungkan daripada teknik yang lain dilihat dari segi biaya yang tidak begitu besar serta tidak adanya efek samping zat beracun (Blais *et al.*, 2000). Metode adsorpsi umumnya berdasar interaksi ion logam dengan gugus fungsional yang ada pada permukaan adsorben melalui interaksi pembentukan kompleks dan biasanya terjadi pada permukaan padatan yang kaya gugus fungsional seperti -OH, -NH, -SH dan -COOH (Stum dan Morgan, 1996 dalam Puwaningsih, 2009).

Proses biosorpsi digunakan untuk menggambarkan proses non-metabolisme pengikatan logam dimediasi biomassa hidup atau mati (Suryan dan Ahluwalia, 2012). Biosorben ini memiliki kemampuan sorpsi yang dapat dimanfaatkan untuk menyisihkan kandungan logam Pb, Ni dan Cr. Ion logam berat seperti Pb, Ni, dan Cr. yang non-biodegradable, dapat menjadi racun dan karsinogenik bahkan pada konsentrasi yang rendah, oleh karena itu, biasanya menimbulkan ancaman serius bagi kesehatan lingkungan dan masyarakat karena tingkat toksisitasnya yang lebih tinggi dibandingkan dengan logam Ni dan Cr (Sukandar et al., 2006).

Salah satu senyawa yang terkandung di dalam biomassa daun pecah beling (*Strobilanthes crispus*) ini adalah Tannin. Dilihat dari strukturnya, Tannin mempunyai potensi yang cukup besar untuk dijadikan sebagai adsorben karena gugus -OH yang terikat dapat berinteraksi dengan komponen adsorbat. Adanya gugus -OH, pada Tannin menyebabkan terjadinya sifat polar pada adsorben tersebut. Dengan demikian tannin lebih kuat menyerap zat yang bersifat polar dari pada zat yang kurang polar.

## METODOLOGI

### Persiapan Biomassa

Daun Pecah Beling (*Strobilanthes crispus*) dikumpulkan disekitar Geger Kalong, Lembang dan Dago Giri, Kota Bandung, Jawa Barat. Daun pecah beling dicuci bersih dengan aquades untuk menghilangkan debu yang menempel. Daun dipotong-potong kecil dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 70°C selama 1 hari, kemudian didinginkan pada temperatur ruang. Metode persiapan biosorben tanpa perlakuan ini merujuk pada Hasfita (2011). Daun yang sudah kering dihaluskan dengan bantuan *blender* hingga menjadi serbuk halus tanpa perlakuan (Biosorben Tanpa Polimerisasi, BTP). Serbuk daun dipisahkan menjadi 30 mesh (0,595 mm), 50 mesh (0,30 mm), dan 100 mesh (0,149 mm) menggunakan *mechanical sieve analysis* untuk digunakan dalam optimasi variasi ukuran.

### Ekstraksi Tanin dari Biomassa

Daun pecah beling yang berukuran 30 mesh ditimbang sebanyak 60 g dimasukkan dalam labu erlenmeyer 1 L dan ditambah pelarut aseton-air (7:3) sebanyak 300 mL, diaduk selama satu jam dengan menggunakan *shaker*. Selanjutnya, larutan dimaserasi selama 24 jam pada suhu kamar. Larutan dipisahkan dengan menggunakan kertas saring setelah 24 jam, residu dimaserasi ulang selama 24 jam lagi dan disaring dengan kertas saring, ulangan dilakukan sampai tiga kali. Filtrat pertama, kedua, dan ketiga digabung dan dipisahkan dari pelarutnya menggunakan soxlet hingga diperoleh ekstrak larutan pekat, kemudian dikeringkan didalam oven pada suhu 70-80oC sampai diperoleh tanin kering. Metode ekstaksi tanin ini merujuk pada Sa'adah (2010).

## Polimerisasi Kondensasi Tanin

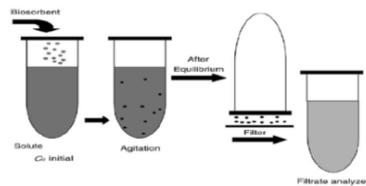
Pembuatan biosorben dengan modifikasi polimerisasi kondensasi dilakukan pada ekstrak tanin (Biosorben Ekstrak Polimerisasi, BEP) dan pada BTP ukuran 100 mesh (Biosorben Daun Polimerisasi, BDP), karena pada uji optimasi ukuran biosorben didapatkan 100 *mesh* sebagai ukuran optimum. Prosedur pembuatan BEP mengacu pada metode yang dikemukakan Hasfita (2011). Proses polimerisasi kondensasi dilakukan dengan menambahkan BWT 100 mesh atau ekstrak tanin dan formaldehid 1% ke dalam 100 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5 M dengan rasio sebuk daun atau ekstrak tanin:formaldehid = 1:4 m/v. Kondensasi dilakukan selama 3 jam pada serangkaian alat pemanas, didinginkan, dan dicuci dengan aquades. Biosorben kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur 105°C untuk menghilangkan efek racun yang ditimbulkan oleh formaldehid.

## Uji Karakteristik Biosorben

Karakterisasi biosorben terdiri atas dua jenis yaitu karakterisasi fisik dan kimia serta karakterisasi struktur. Analisis karakteristik fisik dan kimia biosorben meliputi: uji kadar air, uji kadar abu, uji kadar volatil, dan uji kadar karbon terikat. Analisis struktur morfologis biosorben meliputi analisis bentuk kristal menggunakan *X-ray Diffractometer* (XRD), analisis gugus fungsional menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), analisis bentuk permukaan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

## Uji Kinerja Biosorben

Uji kinerja biosorben dilakukan dengan mode operasional *batch* skala laboratorium sesuai dengan percobaan menurut Vijayaraghavan dan Yun (2008). Adapun variasi faktor yang dipilih adalah ukuran biosorben, dosis biosorben, waktu kontak, dan konsentrasi awal logam berat Pb(IV).



**Gambar 1.** Skema percobaan batch reaktor (Vijayaraghavan dan Yun, 2008)

Proses pengujian adsorpsi logam berat dilakukan dengan berbagai variasi ukuran biosorben (30; 50; dan 100 *mesh*), dosis biosorben (10; 15; 20; 25; 30; 40; dan 50 g/L), waktu kontak waktu kontak (5; 10; 20; 40; 60; dan 80 menit), serta konsentrasi awal limbah artifisial Pb (IV) (5; 10; 20; 40; 60; dan 80 mg/L) agar didapat nilai optimum dari masing-masing faktor. Limbah artifisial dibuat dengan mengencerkan larutan induk standar Pb (IV) konsentrasi 1000 mg/L hingga didapat variasi konsentrasi yang dibutuhkan. Percobaan uji kinerja dilakukan dengan mengagitasi biosorben dalam 50 mL larutan Pb (IV) dengan konsentrasi tertentu dalam labu Erlenmeyer 250 mL pada temperatur ruang dan sebelumnya diukur untuk nilai pH nya. Sampel disaring dengan kertas saring, kemudian pada filtrat diukur nilai pH akhir. Konsentrasi logam yang masih terkandung dalam filtrat diukur dengan alat *Atomic Absorption Spectrofotometer* (AAS). Efisiensi penghilangan logam berat (R) dapat dihitung dengan **Persamaan (1)** (Ackacha *et al.*, 2012).

$$R \equiv \frac{C_o - C}{C_o} \times 100\% \quad \text{Persamaan (1)}$$

dimana  $C_o$  dan  $C$  (mg/L) adalah konsentrasi logam awal dan konsentrasi logam setelah uji kinerja. Sedangkan kapasitas penyerapan logam ( $q$ ) dapat dihitung dengan **Persamaan (2)** (Akar *et al.*, 2012).

$$q = \frac{(C_o - C)xV}{M} \quad \text{Persamaan (2)}$$

dimana q (mg/g) adalah kapasitas adsorpsi dari biosorben, M (g) adalah massa biosorben, dan V (L) adalah volume larutan.

### Uji Isotermal Adsorpsi

Mekanisme penyerapan dianalisis melalui uji isoterm adsorpsi berdasarkan model Langmuir dan model Freundlich. Dari parameter isoterm dapat diketahui mekanisme penyerapan logam berat oleh biosorben. Penentuan isoterm Langmuir digunakan **Persamaan (3)** (Notodarmojo, 2005).

$$q = \frac{q_m \times K_L \times C_t}{1 + (K_L \times C_t)} \quad \text{Persamaan (3)}$$

dimana q (mg/g) adalah kapasitas adsorpsi dari biosorben pada kondisi setimbang, q<sub>m</sub> adalah kapasitas maksimum biosorben, C<sub>t</sub> adalah konsentrasi logam (mg/L), dan K<sub>L</sub> adalah konstanta langmuir Sementara model isoterm Freundlich digunakan **Persamaan (4)** (Notodarmojo, 2005).

$$q = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad \text{Persamaan (4)}$$

dimana q (mg/g) adalah kapasitas adsorpsi dari biosorben pada kondisi setimbang, K<sub>f</sub> adalah konstanta adsorpsi Freundlich, C<sub>e</sub> konsentrasi larutan logam pada kesetimbangan (mg/L) dan n adalah konstanta. Sorpsi isoterm yang didapatkan akan digunakan untuk menjelaskan tipikal ikatan yang terjadi antara Pb (IV) pada biosorben tanin termodifikasi dari daun pecah beling.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Fisik dan Kimia Biosorben

Karakterisasi fisik, kimia, dan struktur dilakukan untuk mengetahui sifat fisik, kimia, dan struktur dari biosorben. Hasil uji kadar air, volatil, abu, dan karbon terikat dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995 dan Standar Industri Indonesia (SII) 0258-79 seperti yang ditampilkan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Karakteristik Fisik Dan Kimia Biosorben

Parameter	Biosorben			Standar	
	BTP	BEP	BDP	SNI	SII
Kadar Air (%)	12,70	6,78	7,50	Maks. 15	Maks. 10
Kadar Abu (%)	17,20	18,59	21,36	Maks. 10	Maks. 2,5
Kadar Volatil (%)	31,90	36,02	30,16	Maks. 25	Maks. 15
Kadar Karbon (%)	50,90	45,39	48,48	Min. 65	-

### Kadar Air

Penetapan kadar air bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis dari biosorben. Kadar air dapat mempengaruhi kemampuan adsorpsi. Semakin besar kadar air suatu adsorben, maka semakin kecil kemampuan adsorben tersebut dalam menyerap adsorbat. Kadar air yang rendah dibutuhkan untuk meningkatkan reaktivitas selulosa karena gugus hidroksil dalam air lebih reaktif daripada dalam selulosa (Puspita, 2013).

Berdasarkan **Tabel 1**, kadar air dari ketiga jenis biosorben berkisar antara 6,78% - 12,70%. Biosorben BTP memiliki kadar air tertinggi yaitu sebesar 12,7 % apabila dibandingkan dengan biosorben BEP dan BDP. Kondisi ini menunjukkan bahwa perolehan kadar air dipengaruhi oleh struktur biomassa dan perlakuan terhadap biomassa pada saat awal preparasi.

### Kadar Abu

Pengujian kadar abu bertujuan untuk memperlihatkan jumlah oksida-oksida logam yang tersisa pada pemanasan tinggi. Abu yang terbentuk berasal dari mineral-mineral yang terikat kuat pada arang, seperti kalsium, kalium, dan magnesium (Rumidatul, 2006). Pada karbon aktif kandungan abu sangat berpengaruh pada kualitas karbon aktif. Keberadaan abu yang berlebih dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan pori-pori karbon aktif sehingga luas permukaan karbon aktif menjadi berkurang.

Hasil analisis kadar abu ketiga jenis biosorben dapat dilihat pada Tabel 1 dengan nilai berkisar 17,2%-21,36%. Ketiga biosorben tidak memenuhi persyaratan SNI dimana kadar abu maksimal bernilai 10%. Hal ini disebabkan karena pada ketiga biosorben tersebut kadar karbon terikatnya tinggi yang dapat mempengaruhi berat jenis, dimana berat jenis dan kerapatan yang besar akan meningkatkan kadar abu (Pari *et al.*, 1996).

### Kadar Volatil

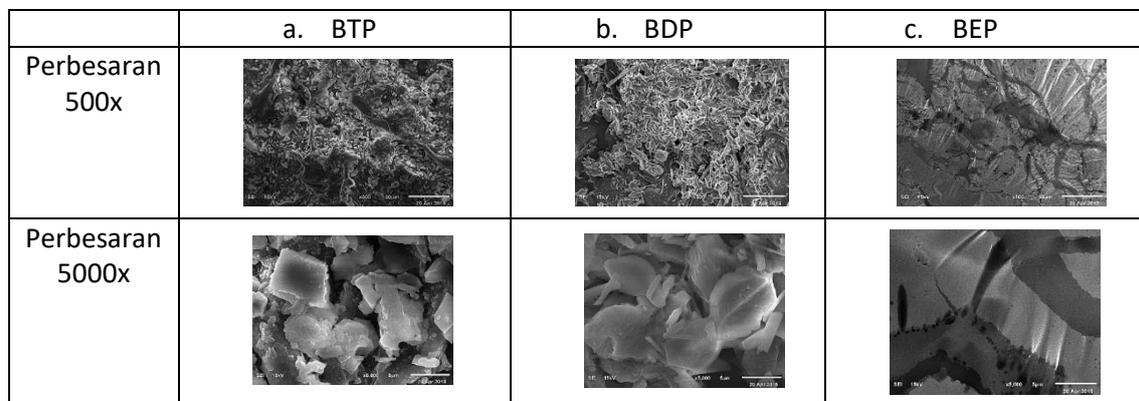
Kadar volatil merupakan hasil dekomposisi zat-zat penyusun arang akibat proses pemanasan selama pembakaran dan bukan komponen penyusun arang. Kadar volatil menunjukkan kandungan zat-zat mudah menguap yang hilang pada pemanasan 950°C. Pada **Tabel 1** dapat dilihat bahwa kadar volatil ketiga jenis biosorben berkisar antara 31,06%-36,02%. Ketiga biosorben tersebut tidak memenuhi standar SNI dan SII yang mensyaratkan kadar volatil maksimum 25% dan SII yang mensyaratkan kadar volatil maksimum 15%.

### Kadar Karbon Terikat

Pada **Tabel 1** dapat dilihat bahwa kadar karbon terikat berkisar antara 45,39% - 50,90%. Kadar karbon terikat yang tinggi menandakan fraksi karbon yang terikat di dalam adsorben semakin besar sehingga mengakibatkan luas permukaan biosorben semakin besar dan menambah kemampuan penyerapan (Saraswati, 2013).

### Karakterisasi Struktur Biosorben

Pada **Gambar 2** terlihat permukaan BTP yang memiliki rongga yang memungkinkan sebagai tempat terjadinya proses penyerapan, dimana logam berat pada larutan akan memenuhi permukaan biosorben dan mengisi rongga kosong sehingga terjadi interaksi antara biosorben dan logam berat. Berdasarkan **Gambar 2**, terlihat permukaan BDP lebih memiliki banyak rongga yang berkumpul dan berlapis dan lebih rapat dibandingkan dengan BTP. Perubahan struktur permukaan ini dipengaruhi oleh proses modifikasi biosorben oleh formaldehid. Permukaan BEP sangat rapat pada pembesaran 500x dan pada pembesaran 5000x dapat terlihat rongga-rongga pada permukaan seperti balok yang memiliki banyak rongga yang berkumpul merata dibandingkan dengan BTP dan BDP.

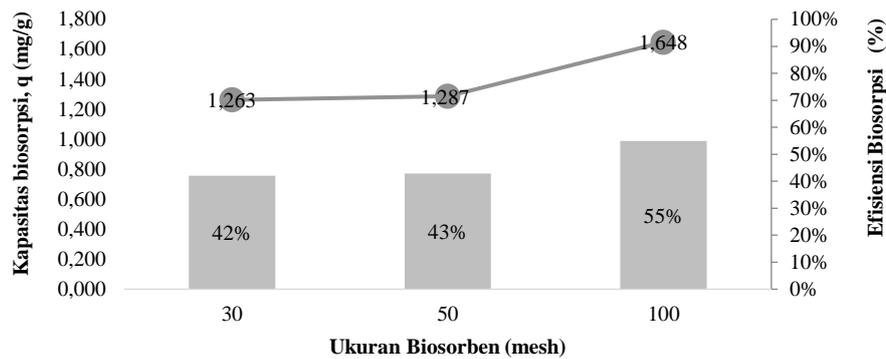


**Gambar 2.** Hasil karakterisasi SEM biosorben pada perbesaran 500x dan perbesaran 5000x

## Uji Kinerja Biosorben

### Pengaruh Variasi Ukuran Biosorben Terhadap Penyerapan Oranolead

Salah satu faktor yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi penyerapan senyawa *organolead* adalah ukuran partikel dari biosorben. Semakin menurunnya ukuran partikel pada biosorben maka tingkat adsorpsi akan meningkat. Pada percobaan ini pengaruh ukuran yang dilakukan adalah pada variasi ukuran 30 *mesh*, 50 *mesh* dan 100 *mesh*. Pada percobaan ini dilakukan pada 100 mL larutan *Organolead* 60ppm pada kondisi suhu ruangan  $\pm 25^{\circ}\text{C}$ , dengan agitasi menggunakan *shaker* 200 rpm selama 60 menit. Pengaruh dari variasi ukuran partikel biosorben dapat terlihat pada **Gambar IV**.

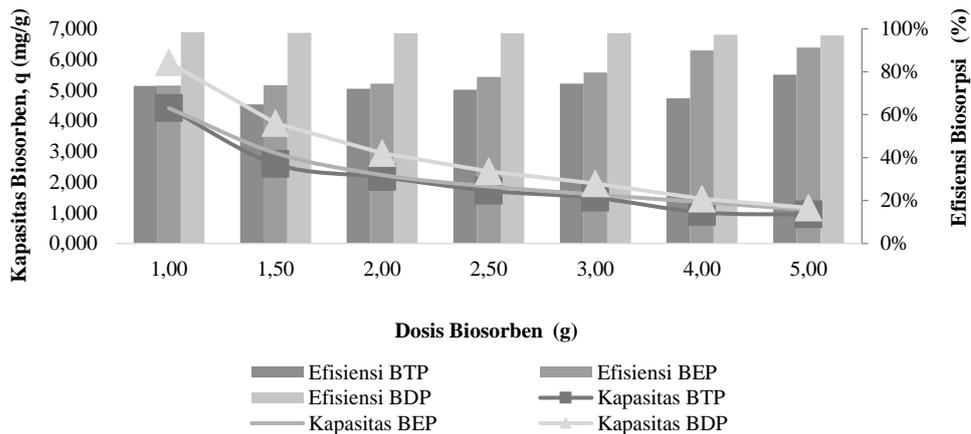


**Gambar 3.** Pengaruh variasi ukuran BTP

Berdasarkan **Gambar 3.** tersebut penyerapan *Organolead* paling efektif terjadi pada ukuran 100 *mesh* yaitu dengan efisiensi sebesar 55% dan kapasitas penyerapan sebesar 1,648 mg/g. Biosorben 100 *mesh* digunakan untuk mendapat kondisi umum pada variasi selanjutnya.

### Pengaruh Variasi Dosis Biosorben dalam Penyisihan *Organolead*

Pengaruh variasi dari dosis biosorben yang digunakan untuk adsorpsi *organolead* tersebut dapat berguna untuk pertimbangan biaya operasional penggunaan metode biosorpsi dibandingkan dengan metode-metode pengolahan limbah lain. Dosis optimum untuk penyerapan *organolead* untuk biosorben BTP adalah sebesar 5 g, untuk BEP sebesar 5 g, dan untuk BDP sebesar 1 gram.

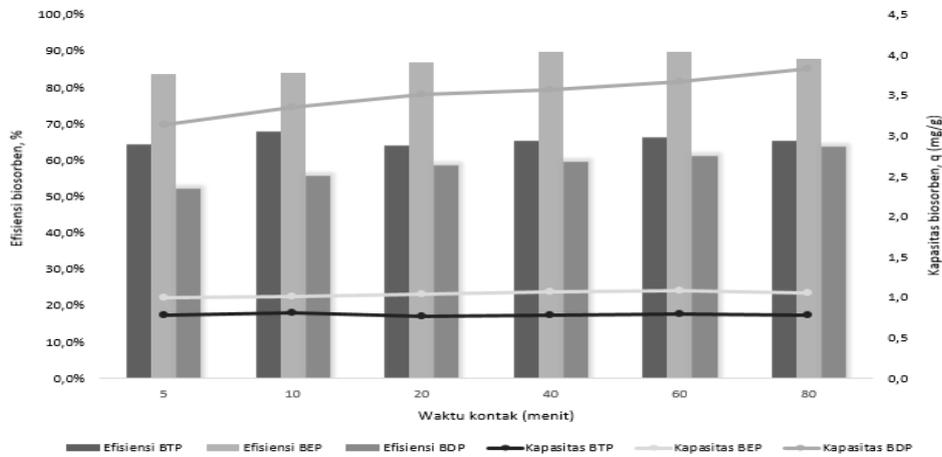


**Gambar 4.** Efek dosis dan kapasitas penyerapan biosorben untuk *organolead*

### Pengaruh Variasi Waktu Kontak *Organolead*

Pengaruh variasi waktu kontak dilakukan bertujuan untuk mengetahui waktu optimum suatu biosorben dapat mencapai kesetimbangan yang optimum dalam hal penyerapan *organolead*.

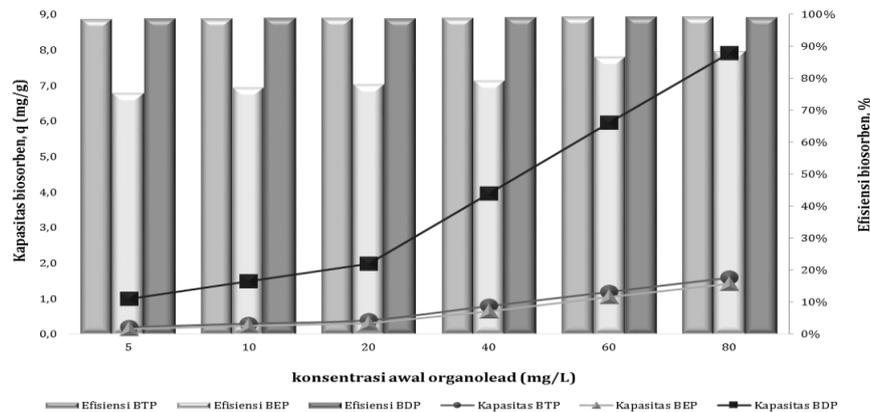
Berdasarkan **Gambar 5**, diperoleh waktu kontak optimum untuk BTP adalah 10 menit, BEP 60 menit dan BDP 80 menit.



**Gambar 5.** Pengaruh waktu kontak terhadap penyerapan *organolead*

### Pengaruh Konsentrasi Awal Limbah Artifisial

Penentuan dari konsentrasi awal limbah artifisial *organolead* bertujuan untuk melihat pengaruh optimum dari konsentrasi limbah yang dapat diserap oleh biosorben agar proses biosorpsi dapat bekerja secara optimal.

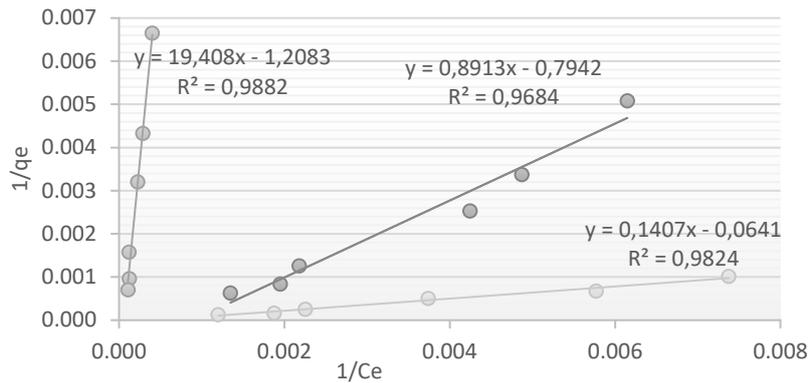


**Gambar 6.** Grafik pengaruh konsentrasi awal limbah artifisial *organolead*

Pada **Gambar 6**, efisiensi penyerapan biosorben tertinggi untuk BTP, BEP dan BDP terdapat pada konsentrasi awal limbah 60 mg/L yaitu berturut-turut sebesar 99,1%; 88,4% dan 99,12% dengan masing-masing kapasitas penyerapan BTP dan BDP sebesar 1,19 mg/g, 1,415 mg/g dan 5,947 mg/g.

### Penentuan Isoterm Adsorpsi Isotermal Langmuir

Isoterm langmuir mempunyai model penyerapan yang mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (*monolayer*) adsorbat di permukaan adsorben (Handayani, M. dan Sulistiyono, E., 2009) yang sebanding dengan luas permukaan adsorben. Pada **Gambar 7**., terlihat bahwa persamaan garis lurus untuk masing-masing biosorben pada proses adsorpsi yang dimodelkan ke dalam model linearisasi isoterm Langmuir. Hasil regresi liner pada ketiga grafik diperoleh parameter langmuir pada **Tabel 2**.



**Gambar 7.** Kurva isotherm Langmuir untuk biosorpsi *organolead*

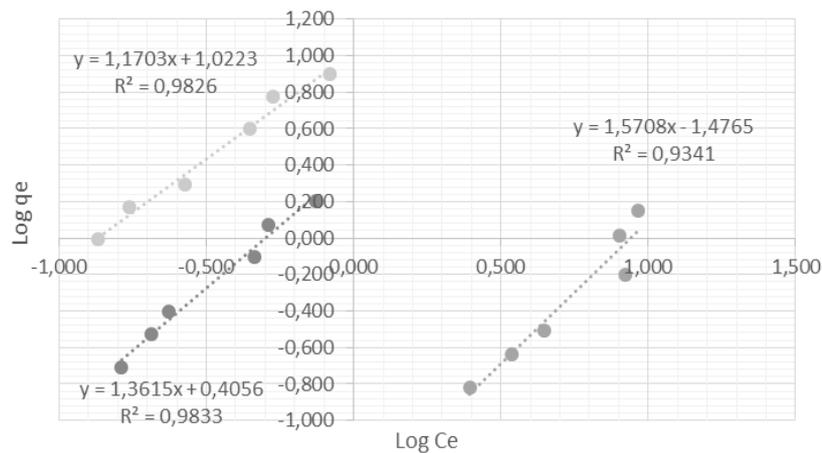
**Tabel 2.** Parameter data for Langmuir isotherm

	$1/q_m$	$q_m$	$1/(q_m \cdot K_L)$	$K_L$	$R^2$
BTP	-0,7942	-1,2591	0,8913	-0,8911	0,9684
BEP	-1,2083	-0,8276	19,408	-0,0623	0,9882
BDP	-0,0641	-15,6006	0,1407	-0,4556	0,9824

Dari **Tabel 2.** terlihat nilai  $q_m$  dan  $K_L$  untuk semua biosorben bernilai negatif. Nilai  $q_m$  pada BTP, BEP dan BDP yang bernilai negatif mengindikasikan ikatan antara biosorben dengan logam kurang kuat.

### Freundlich Isotherm

Model dari isotherm Freundlich tidak memprediksi saturasi permukaan dan memperkirakan bahwa adsorben memiliki permukaan yang heterogen sehingga setiap molekul memiliki penyerapan yang berbeda (Javaid *et al.*, 2011). Dari kurva pada **Gambar 8.** tersebut dihasilkan persamaan garis lurus untuk masing-masing biosorben yang kemudian dapat ditentukan nilai koefisien Freundlich ( $K_f$ ) dari nilai intercept kurva dan nilai  $n$  dari slope kurva. Hasil regresi linier pada grafik diperoleh parameter isotherm Freundlich pada **Tabel 3.**



**Gambar 8** Kurva isotherm Freundlich untuk biosorpsi *organolead*

**Tabel 3.** Data parameter isoterm Freundlich untuk biosorpsi *organolead*

	1/n	n	K <sub>F</sub>	Log K <sub>F</sub>	R <sup>2</sup>
BTP	1,3615	0,7345	0,4056	2,5445	0,9833
BEP	1,5608	0,6366	-1,4765	0,0034	0,9341
BDP	1,1703	0,8545	1,0223	10,5269	0,9826

Nilai K<sub>F</sub> pada isoterm Freundlich menunjukkan laju penyisihan adsorbat sehingga semakin besar nilai K<sub>F</sub> maka laju penyisihan logam pada proses adsorpsi semakin cepat dan jika melihat data pada **Tabel 3.** maka urutan biosorben yang memiliki laju tercepat dalam penyisihan logam adalah BDP>BTP>BEP.

### **KESIMPULAN**

Pada uji kinerja dari ketiga biosorben tersebut didapatkan efisiensi mulai dari yang terbesar, yaitu pada BTP, BDP dan BEP sebesar 99,1%; 99,12% dan 88,4 %, dengan kapasitas adsorpsinya BTP sebesar 1,19 mg/g, BDP sebesar 5,947 mg/g dan BEP sebesar 1,415 mg/g. Dari kedua jenis isotherm proses sorpsi tersebut didapatkan pola isotherm adsorpsi Langmuir untuk BEP dan pola isotherm Freundlich untuk BTP dan BDP.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ackacha, M.A dan elsharif. L.A., (2012): Adsorption Removal of Lead Ions by *Acacia tortilis* Leaves: Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics. *International Journal of Environmental Science and Development*, **Vol. 3**. Diakses tanggal 22 Maret 2015. <http://www.ijesd.org/papers/290-S10005.pdf>
- Agrafioti, E., Kalderis, D., dan Diamadopoulos, E. (2013): Arsenic and Chromium Removal from Water Using Biochars Derived from Rice Husk, Organic Solid Wastes and Sewage Sludge. *Journal of Environmental Management* **133** (2014). 309-314. Diakses tanggal 3 April 2015. <http://ac.els-cdn.com/S0301479713007470/1-s2.0-S0301479713007470-main.pdf>
- Andreotolla, G., Dallago, L., dan Ferrarese, E. (2008): Feasibility Study for Remediation of Groundwater Contaminated By *Organolead* Compound. *Journal of Hazardous Materials* **156** (2008). 488–498. Diakses tanggal 17 Februari 2015. <http://ac.els-cdn.com/S0304389407018249/1-s2.0-S0304389407018249-main.pdf>
- Blais, J.F., Dufresne, B., dan Mercier, G., (2000): State of The Art of Technologies for Metal Removal from Industrial Effluents. *Rev. Sci, Eau* **12** (4). 687-711.
- Handayani, M., dan Sulistiyono. (2009): Uji Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Penyerapan Limbah Chrom (IV) oleh Zeolit. PTNBR-BATAN, 2009.S
- Hasfita, F. (2011): *Pengembangan Limbah Daun Akasia (Acacia mangium Wild) sebagai Sorben untuk Aplikasi Pengolahan Limbah*. Tesis Teknik Lingkungan. Program Studi Teknik Lingkungan ITB.
- Hempel, M., Kuballa, dan J., Jantzen, E. (2000): Discovery of a Transalkylation Mechanism- Identification of Ethylmercury at a Tetraethyllead-Contaminated Site Using Sodium Tetrapropylborate, GC–AED and HPLC–AFS. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry* **366**. 470–475.
- Iigen, G., GLindemann, D., Hermman, R., Hertel, F., dan Huang, J.H. (2008): Organometals of tin, Lead and Mercury Compound in Landfill Gases and Leachates from Bavaria, Germany. *Waste Management Journal* **28**. 1518-1527. Diakses tanggal 17 Februari 2015. <http://ac.els-cdn.com/S0956053X07002309/1-s2.0-S0956053X07002309-main.pdf>
- Javaid, A., Bajwa, R., Shafique, U., dan Anwar, J. 2011. Removal of Heavy Metals by Adsorption on *Pleurotus ostreatus*. *Biomass and Bioenergy*. 35: 1675-1682.
- Kurniawan, H., dan Notodarmojo, S. (2010): Penggunaan Jerami Padi Untuk Menyisihkan Limbah Warna Industri Tekstil Color Index Reactive Orange 84. *Jurnal Teknik Lingkungan Vol.1*. 82-92.
- Notodarmojo, S. (2005): *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Bandung: Penerbit ITB.
- Nurchi, V. M., dan Villaescusa, I. (2010): Agricultural Biomasses as Sorbents of Some Trace Metals. *Coordination Chemistry Reviews*, **252**. 1179-1188. Diakses tanggal 11 Maret 2015. <http://ac.els-cdn.com/S0010854507002251/1-s2.0-S0010854507002251-main.pdf>
- Pari, G, Hendra, D., dan Pasaribu, R. A. (2006): Pengaruh Lama Waktu Aktivasi dan Konsentrasi Asam Fosfat terhadap Mutu Arang Aktif Kulit Kayu *Acacia mangium*. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, **24**(1).
- Rees, A.B., Turner, A., dan Comber, S. (2014): Metal Contamination of Sediment by Paint Peeling from Abandoned Boats, with Particular Reference to Lead. *Science of The Environment*. **494-495**. 313-319.
- Sa'adah, L. (2010): *Isolasi dan Identifikasi Senyawa Tanin dari Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa bilimbi L.)*. SKRIPSI Jurusan Kimia. Fakultas Sains dan Teknologi UIN : Malang.
- Saraswati, T. (2013): *Pemanfaatan Biomassa Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa Bilimbi) Sebagai Sorben untuk Aplikasi Pengolahan Limbah*. Skripsi Institut Teknologi Bandung

- Selatnia, A, Boukazoula A, Kechid, N., dan Bakhti, M.Z. (2004): Biosorption of Lead(II) from Aqueous Solution by a Bacterial Dead *Streptomyces rimosus* Biomass. *Biochem Eng. Journal*. **19**. 127-35.
- Singare, P. U., Mishra, R.M., dan Trivedi, M.P. (2012): Sediment Contamination Due to Toxic Heavy Metals in Mithi River of Mumbai. *Advance in Analytical Chemistry Journal* 2012, **2**(3). 14-24.
- Somerville, R. (2009): Low Cost Adsorption Materials for Removal of Metal From Contaminated Water. *Journal of KTH Architecture and the Built Environment*. ISSN **1651-064X**.
- Stum W, dan Morgan, J.J. (1996): Aquatic Chemistry dalam Purwaningsih, D. 2009. Adsorpsi Multi Logam Ag(I), Pb(II), Cr(III), Cu(II) Dan Ni(II) Pada Hibrida Etilendiamino-Silika Dari Abu Sekam Padi. *Jurnal Penelitian Saintek*, **Vol. 14**. 59-76
- Sukandar, Yasuda, K., Tanaka, M., dan Aoyama, I. (2006): Metals Leachability from Medical Waste Incinerator Fly Ash: A Case Study on Partice Size Comparison. *Journal Environmental Pollution*. **144**: 726-735.
- Suryan, S., dan Ahluwalia S.S. (2012): Biosorption of Heavy Metals by Paper Mill Waste From Aqueous Solution. *International Journal of Environmental Sciences*, **Vol. 2**. 1331-1343. Diakses tanggal 20 Februari 2015. <http://www.ipublishing.co.in/ijesarticles/twelve/articles/voltwo/EIJES3125.pdf>
- Teeling, H., dan Cypionka, H. (1997): Microbial Degradation of Tetraethyl Lead in Soil Monitored by Microcalorimetry. *Journal Appl. Microbiol. Biot.* **48** (1997). 275–279.