KINETIKA ADSORPSI ZAT WARNA CONGO RED DAN RHODAMINE B DENGAN MENGGUNAKAN SERABUT KELAPA DAN AMPAS TEBU

Pamela Iryanti Widjanarko, Widianoro, Lydia Felycia E. Soctaredjo,
Suryadi Ismadji

Jurusan Teknik Kimia, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

Kalijudan 37, Surabaya 60114

E-mail : suryadi@mail.wima.ac.id

Abstrak

Banyak industri, seperti industri kertas, tekstil, makanan, kosmetik, plastik, dan sebagainya, mengeluarkan limbah yang banyak mengandung zat warna yang bersifat non-degradable, beracun, dan stabil. Pengolahan limbah zat warna dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan metode adsorpsi. Penelitian ini menggunakan limbah hasil pertanian berupa ampas tebu dan serabut kelapa sebagai adsorben untuk menyerap zat warna Congo Red dan Rhodamine B. Pemilihan ampas tebu dan serabut kelapa sebagai adsorben karena keduanya terdapat di Indonesia dalam jumlah besar, harganya murah, dan mudah didapat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kinetika adsorpsi zat warna Congo Red dan Rhodamine B dengan menggunakan biosorben. Mula-mula lignin dalam biosorben dikurangi sampai seminimal mungkin dan selanjutnya dikeringkan. Kemudian biosorben tersebut digunakan untuk mengadsorpsi zat warna. Kadar zat warna dalam larutan diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisa dengan menggunakan persamaan orde satu, orde dua dan persamaan modifikasi Ritchie. Berdasarkan hasil penelitian dapat diperoleh kesimpulan bahwa persamaan modifikasi Ritchie merupakan persamaan yang paling dapat menggambarkan mekanisme adsorpsi Congo red dan Rhodamine B pada ampas tebu dan serabut kelapa. Harga k_1 dan k_{mod} untuk adsorpsi congo red dalam ampas tebu masing-masing adalah 0,1918-0,3059 dan $1,1465 \cdot 10^{-3}$ -3,1027, untuk serabut kelapa masing-masing adalah 0,0722-0,2311 dan $2,0663 \cdot 10^{-3}$ -2,963. Sedangkan untuk adsorpsi rhodamine B dalam ampas tebu adalah 0,1193-1,6723 dan $8,7903 \cdot 10^{-3}$ - $1,5236 \cdot 10^{-7}$, dan pada serabut kelapa adalah 0,2943-1,6723 dan $1,2614 \cdot 10^{-3}$ - $3,6569 \cdot 10^{-3}$. Ampas tebu merupakan biosorben yang lebih baik daripada serabut kelapa karena ampas tebu mampu mengadsorpsi lebih banyak zat warna daripada serabut kelapa.

Kata Kunci : Kinetika Adsorpsi, Persamaan modifikasi Ritchie

Abstract

Wastewaters from food coloring, cosmetics, paper, and textile industries contain dyes and pigments, which are generally toxic, non-degradable and stable. These colored effluents will cause major hazards to the environment. There are many conventional methods for treating dye-containing wastewaters, and the most widely used method in industry is adsorption. This paper deals with two low-costs, and locally available biosorbents: coconut shell fiber and bagasse for the removal of Congo red and Rhodamine-B. The aim of this study is to determine the adsorption kinetics of the removal of Congo red and Rhodamine B using coconut shell fiber and bagasse. The lignin content of the biosorbents is reduced. These biosorbents subsequently used for the dye removal from synthetic wastewater. The concentrations of dyes in the solution were measured by means of UV-VIS spectrophotometer. Three kinetics model; first order equation, second order equation, and modified Ritchie equation, are used to correlate the experimental data. The modified Ritchie equation can describe the experimental data better than other equations. The parameter constants, k_1 , and k_{mod} , for the adsorption of congo red on bagasse are 0.1918-0.3059 dan $1.1465 \cdot 10^{-3}$ -3.1027, respectively, and for coconut shell fibre, the values of these parameters are 0.0722-0.2311 and $2.0663 \cdot 10^{-3}$ -2.963. For the adsorption of rhodamine B, the parameters k_1 and k_{mod} are 0.1193-1.6723 and $8.7903 \cdot 10^{-3}$ - $1.5236 \cdot 10^{-7}$ for bagasse, and 0.2943-1.6723 and $1.2614 \cdot 10^{-3}$ - $3.6569 \cdot 10^{-3}$ for coconut shell fibre. Bagasse can adsorb more dyes than coconut shell fiber.

Keywords : Adsorption kinetics, Modified Ritchie equation

1. Pendahuluan

Banyak industri, seperti industri kertas, plastik, makanan, kosmetik, tekstil, dan sebagainya, menggunakan zat warna untuk mewarnai produknya. Hal itu mengakibatkan limbah industri-industri di atas mengandung zat warna dengan konsentrasi yang tinggi. Limbah zat warna yang dibuang ke sungai akan mengganggu aktivitas biologi yang ada. Kualitas air tanah juga akan terpengaruh karena adanya proses leaching zat warna dari tanah (Namasivayam dkk, 1996).

Zat warna terutama yang sintetis bersifat non-degradable, beracun, dan stabil (Gupta dkk, 2004). Zat warna yang dibuang ke sungai akan menghalangi masuknya sinar matahari ke dalam air sungai sehingga akan menghambat proses fotosintesis tumbuhan air (Namasivayam dkk, 1998). Di samping zat warna juga dapat menyebabkan dermatitis alergika, iritasi kulit, kanker, dan mutasi gen.

Ada berbagai metode untuk mengolah limbah zat warna yaitu koagulasi dan flokulasi, reverse osmosis, dan adsorpsi (Namasivayam dkk, 1996; Hartono dkk, 2005). Metode yang paling banyak digunakan saat ini adalah adsorpsi. Pada umumnya proses adsorpsi menggunakan karbon aktif sebagai adsorben. Akan tetapi proses adsorpsi dengan karbon aktif ini memerlukan biaya yang mahal. Oleh karena itu dicari alternatif adsorben lain dengan harga yang lebih murah, seperti tongkol jagung, kulit jeruk, kulit ari gandum, limbah biogas, dan sebagainya (Namasivayam dkk, 1998).

Disamping kondisi kesetimbangan dari proses adsorpsi (isoterm adsorpsi), kinetika adsorpsi juga merupakan salah satu faktor yang turut berpengaruh dalam merancang suatu proses adsorpsi dalam industri pengolahan limbah. Biosorben yang baik adalah biosorben yang mampu menyerap zat warna dengan cepat sehingga waktu kontak antara larutan dengan biosorben cukup singkat. Kinetika menggambarkan laju penyerapan solut yang selanjutnya akan mengontrol waktu penyerapan adsorbat pada interface antara padatan dan larutan. Penentuan kinetika adsorpsi memiliki peranan yang penting dalam menentukan laju penyerapan polutan (zat warna) dari larutan untuk mendesain proses adsorpsi di industri. Kinetika adsorpsi pada pengolahan limbah juga berguna untuk mengetahui reaksi kimia dan mekanisme adsorpsi yang terjadi (Sag dan Aktay, 2002).

Pada penelitian ini digunakan biosorben serabut kelapa dan ampas tebu karena kedua biosorben tersebut merupakan bahan yang mudah didapat dan tersedia di Indonesia dalam jumlah yang cukup besar. Disamping itu struktur dari

kedua bahan tersebut tersusun dari natural selulose (sellulose, lignin, dan hemi-selulose) yang secara alami akan memberikan struktur berpori sehingga kedua bahan tersebut dapat digunakan untuk mengadsorpsi zat warna Congo Red dan Rhodamine-B. Untuk menentukan mekanisme adsorpsi yang terjadi digunakan beberapa model kinetika, yaitu persamaan orde satu, persamaan orde dua, dan persamaan Ritchie yang dimodifikasi.

2. Fundamental Persamaan Orde Satu

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad (1)$$

Dimana q_e dan q_t merupakan jumlah adsorbat yang teradsorpsi pada saat kesetimbangan dan setiap selang waktu tertentu (mg/g), dan k_1 merupakan konstanta kecepatan adsorpsi orde satu (Ho dan McKay, 1999). Persamaan (1) diintegrasikan dengan kondisi batas $t = 0$ sampai $t = t$ dan $q_t = 0$ sampai $q_t = q_t$ menjadi:

$$\ln \left(\frac{q_e - q_t}{q_e} \right) = -k_1 t$$

jika persamaan tersebut dinyatakan dalam bentuk logaritmik, maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\log \left(\frac{q_e}{q_e - q_t} \right) = \frac{k_1}{2.303} t \quad (2)$$

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (3)$$

Persamaan orde dua

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (4)$$

dimana k_2 merupakan konstanta kecepatan adsorpsi orde dua (Sag dan Aktay, 2002). Persamaan (4) diintegrasikan dengan kondisi batas $t = 0$ dan $q_t = 0$ menjadi:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (5)$$

Persamaan Modifikasi Ritchie

Persamaan Ritchie mengasumsikan bahwa setiap permukaan adsorben memiliki N surface site yang masing-masing hanya terisi oleh satu molekul (ion) adsorbat (Cheung dkk, 2001).

$$\frac{d\theta}{dt} = k_n (1 - \theta)^n \quad (6)$$

$$\int_{\theta_0}^{\theta} \frac{d\theta}{(1-\theta)^n} = k_n \int_{t_0}^t dt \quad (7)$$

Untuk $n=2,3,\dots,k$

$$\frac{1}{(1-\theta)^{n-1}} = \frac{1}{(1-\theta_0)^{n-1}} + k_n(n-1)(t-t_0) \quad (8)$$

Jika $\theta = q_t/q_e$, $\beta_n = 1/(1-\theta_0)^{n-1}$ dan $\alpha_n = 1/(n-1)$, maka,

$$q_t = q_e \left\{ 1 - \left[\frac{1}{\beta_n + k_n(n-1)(t-t_0)} \right]^{1/(n-1)} \right\} \quad (9)$$

Jika $t_0 = 0$ dan $\beta_n \neq 0$, maka

$$q_t = q_e \left\{ 1 - \left[\frac{1}{\beta_n + (k_n/\alpha_n)t} \right]^{\alpha_n} \right\} \quad (10)$$

Untuk $n=2$ dan $\theta_0 = 0$ (pada awal proses tidak ada impuritis yang menempel)

$$q_t = q_e \left\{ 1 - \left[\frac{1}{1+k_2t} \right] \right\} \quad (11)$$

Persamaan Ritchie mendeskripsikan bahwa mekanisme adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi fisik. Untuk dapat mendeskripsikan mekanisme adsorpsi yang berupa gabungan adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia, maka persamaan Ritchie dimodifikasi dengan menambahkan persamaan kinetika reaksi orde nol sehingga menjadi:

$$q_t = \left\{ q_e \left\{ 1 - \left[\frac{1}{1+k_2t} \right] \right\} \right\} + (k_m t) \quad (12)$$

dimana k_2 merupakan konstanta kecepatan reaksi orde dua dari persamaan Ritchie (adsorpsi fisik) dan k_m merupakan konstanta kecepatan reaksi orde nol (adsorpsi kimia). Harga parameter-parameter k_1 , k_2 dan k_m dicari dengan menggunakan metode *non-linear least square* dengan menggunakan program Sigma-Plot.

3. Metodologi

Persiapan bahan

Serabut kelapa dan ampas tebu dicuci, dikeringkan di bawah sinar matahari kemudian dipotong kecil-kecil. Biosorben yang sudah kering tersebut kemudian dihancurkan dengan menggunakan *blender* dan/atau *hammer mill*. Biosorben diayak dengan menggunakan *sieveshaker* dan diambil yang berukuran 40 – 60 mesh. Ke dalam biosorben ditambahkan larutan

NaOH $\pm 0,25$ N dan didiamkan selama satu jam. Selanjutnya ditambah dengan larutan HCl $\pm 0,25$ N untuk menetralkannya. Larutan disaring kemudian biosorben dicuci dengan menggunakan aquades. Biosorben kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C sampai beratnya konstan. Kadar lignin yang tersisa pada biosorben ditentukan dengan Bilangan Kappa.

Adsorpsi zat warna

Larutan zat warna sebanyak 500 ml dengan konsentrasi 1000 mg/L dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Biosorben yang berupa serabut kelapa seberat 0,1 gram dimasukkan ke dalam erlenmeyer kemudian ditutup dengan menggunakan aluminium foil. Pengocokan dilakukan pada suhu 30°C dengan menggunakan *magnetic stirrer*. Pengambilan sampel dilakukan setiap 30 menit selama 8 jam. Sampel dianalisa kadar zat warnanya dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS. Cara kerja di atas diulangi untuk biosorben dan zat warna yang lain dengan variasi berat biosorben 0,1 gr, 0,3 gr, 0,5 gr, 0,7 gr, dan 0,9 gr.

4. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil percobaan adsorpsi zat warna Congo red dan Rhodamine B dengan menggunakan ampas tebu dan serabut kelapa diperoleh hubungan antara jumlah zat warna yang diserap sebagai fungsi waktu seperti terlihat pada Gambar 1 sampai dengan 14. Pada gambar tersebut data-data percobaan dinyatakan dengan simbol-simbol sedangkan garis mewakili model kinetika reaksi yang digunakan.

Gambar 1. Persamaan orde satu untuk adsorpsi Congo red pada ampas tebu

Gambar 2. Persamaan orde satu untuk adsorpsi Congo red pada serabut kelapa

Gambar 3. Grafik persamaan orde satu untuk adsorpsi Rhodamine B pada ampas tebu

Gambar 4. Grafik persamaan orde satu untuk adsorpsi Rhodamine B pada serabut kelapa

Dari Gambar 1 sampai dengan 4 dapat dilihat bahwa kinetika reaksi orde satu (persamaan 1) secara umum kurang dapat mewakili data hasil percobaan terutama pada saat awal proses adsorpsi.

Persamaan orde satu mengasumsikan adanya suatu reaksi kesetimbangan antara laju adsorpsi dan laju desorpsi molekul adsorbat pada adsorben. Atau dengan kata lain transfer massa sebagai laju pengontrol (rate limiting step) pada proses adsorpsi (Ho dan McKay, 1999). Jadi pada adsorpsi Congo red dan Rhodamine B pada ampas tebu dan serabut kelapa mekanisme yang mengontrol bukan hanya transfer massa saja.

Mekanisme adsorpsi Congo Red dan Rhodamine B pada serabut kelapa dan ampas tebu cukup kompleks karena kedua biosorben tersebut mengandung selulosa dan lignin, meskipun sebagian lignin sudah dihilangkan pada proses deligninisasi. Tetapi lignin yang tersisa masih memegang peranan dalam proses adsorpsi ini dimana lignin juga akan mengadsorpsi (mengikat) zat warna.

Lignin merupakan biopolimer aromatik kompleks yang memiliki berat molekul besar dan terbentuk dari proses polimerisasi p-hydroxycinnamyl alcohol (Lee, 1992). Lignin memiliki beberapa gugus fungsional seperti alkohol, aldehid, ketone, asam, phenol hidroksida, dan ether sehingga pada lignin dapat terjadi adsorpsi kimia (chemisorption) baik yang berupa ikatan kimia maupun ion exchange (Ho dkk, 2005).

Sedangkan selulosa terdiri atas beberapa *microfibril* yang diikat oleh lamellae, dimana lamellae tersebut tersusun atas beberapa fibril. Molekul-molekul selulosa, yang termasuk polimer linear dan bersifat hidrofilik, berikatan satu sama lain membentuk *elementary fibril* (atau photofibril), dengan lebar 40 Å, tebal 30 Å, dan panjang 100 Å. Polimer linear pada *elementary fibril* tersusun secara paralel dan diikat oleh ikatan hidrogen untuk membentuk struktur kristalin, yang dikelilingi dengan struktur amorphous atau parakristalin (Lee, 1992). Struktur ini menyebabkan selulosa dapat mengadsorpsi zat warna.

Pada proses adsorpsi, bentuk molekul Congo red dan Rhodamine B memegang peranan yang sangat penting. Dalam air Congo Red akan terionisasi dalam bentuk anion sedangkan Rhodamine B akan terionisasi dalam bentuk kation. Struktur dari Congo red dan Rhodamine B dapat dilihat pada gambar 5. Congo red memiliki sifat kelarutan dalam air yang lebih besar daripada Rhodamine B, yang berarti gaya tarik molekul-molekul Congo red dengan air lebih besar daripada gaya tarik molekul-molekul Rhodamine B dengan air (Najar Souissi dkk, 2005). Hal ini menyebabkan Rhodamine B lebih mudah diadsorpsi oleh biosorben daripada Congo Red seperti yang terlihat pada gambar 1 sampai dengan gambar 4.

Rhodamine B lebih mudah diadsorpsi oleh biosorben daripada Congo Red seperti yang terlihat pada Gambar 1 sampai dengan 4. Dari Gambar-gambar tersebut juga terlihat bahwa ampas tebu mengadsorpsi zat warna lebih banyak daripada serabut kelapa. Hal ini dikarenakan ampas tebu mengandung selulosa lebih banyak daripada serabut kelapa.

Gambar 5. Struktur molekul (a) Rhodamine B dan (b) Congo red

Congo red memiliki struktur molekul yang lebih kompleks daripada Rhodamine B, terlihat pada Gambar 5. Dengan struktur molekul tersebut menyebabkan gaya tarik molekul antara pelarut air dengan Congo red lebih besar dibandingkan antara Rhodamine B dengan air. Hal ini menyebabkan Rhodamine B lebih mudah teradsorpsi oleh biosorben dibandingkan dengan Congo red, karena gaya tarik molekul dengan biosorben lebih kuat daripada gaya tarik antara molekul Rhodamine B dengan air. Di samping itu juga Rhodamine B mempunyai gugus fungsional yang bersifat asam yaitu ($-\text{COOH}$) dan ($\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_2^+$). Adanya gugus-gugus ini akan menyebabkan kemungkinan terjadinya suatu adsorpsi kimia di lignin. Sedangkan interaksi kimia antara gugus SO_3 dalam Congo red di lignin lebih lemah dibandingkan dengan interaksi kimia antara gugus ($-\text{COOH}$) dan ($\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_2^+$) dalam Rhodamine B di lignin (Namasivayam dkk, 1996).

Karena pada adsorpsi ini terjadi suatu interaksi kimia antar gugus fungsional adsorbat dan adsorben maka dicoba digunakan persamaan orde dua untuk menggambarkan dinamika adsorpsi kedua zat warna ini dalam kedua biosorben. Persamaan orde dua mengasumsikan bahwa adsorpsi kimia (chemisorption) merupakan laju pengontrol (rate limiting step) pada proses adsorpsi (Sag dan Aktay, 2002).

Gambar 6. Persamaan orde dua untuk adsorpsi Congo red pada ampas tebu

Gambar 7. Persamaan orde dua untuk adsorpsi Congo red pada serabut kelapa

Gambar 8. Persamaan orde dua untuk adsorpsi Rhodamine B pada ampas tebu

Gambar 9. Persamaan orde dua untuk adsorpsi Rhodamine B pada serabut kelapa

Pada Gambar 6 dan 7 terlihat bahwa persamaan orde dua kurang cocok untuk mendeskripsikan mekanisme adsorpsi Congo red pada ampas tebu dan serabut kelapa. Hal yang sama juga terjadi pada adsorpsi Rhodamine B pada ampas tebu dan serabut kelapa. Pada Gambar 8 dan 9 terlihat bahwa persamaan orde dua juga kurang cocok untuk mendeskripsikan mekanisme adsorpsi Rhodamine B pada ampas tebu dan serabut kelapa. Persamaan orde dua hanya cocok untuk menggambarkan mekanisme adsorpsi setelah adsorben dan larutan berkontak untuk waktu yang lama. Hal ini dikarenakan pada saat awal masih belum terbentuk ikatan kimia atau belum terjadi chemisorption.

Ketidakcocokan persamaan orde satu dan persamaan orde dua dalam mendeskripsikan mekanisme adsorpsi Congo red dan Rhodamine B menunjukkan bahwa adsorpsi Congo red dan Rhodamine B pada ampas tebu dan serabut kelapa bukan hanya berupa adsorpsi kimia atau adsorpsi fisik saja. Mekanisme adsorpsi yang terjadi kemungkinan merupakan gabungan dari adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia yang dapat dijelaskan sebagai berikut. Molekul-molekul Congo red dan Rhodamine B yang terionisasi di dalam air menjadi anion dan kation tertarik ke permukaan biosorben (ampas tebu dan serabut kelapa). Ion-ion zat warna tersebut selanjutnya akan berkontak dengan lapisan lignin dan ada sebagian dari ion-ion tersebut yang akan berikatan dengan gugus fungsional yang terdapat pada lignin. Sedangkan ion-ion yang lain akan teradsorpsi secara fisik pada selulosa. Untuk menggambarkan mekanisme adsorpsi tersebut, maka digunakan persamaan Ritchie yang telah dimodifikasi. Persamaan ini mengasumsikan bahwa mekanisme adsorpsi yang terjadi merupakan gabungan adsorpsi fisika

dan adsorpsi kimia seperti yang terlihat dibawah ini.

$$q = \left[q_c \left\{ 1 - \frac{1}{1 + k_2 \cdot t} \right\} \right] + [k_m \cdot t]$$

dimana $\left[q_c \left\{ 1 - \frac{1}{1 + k_2 \cdot t} \right\} \right]$ menggambarkan adsorpsi fisik dan $[k_m \cdot t]$ menggambarkan adsorpsi kimia.

Gambar 10. Persamaan Ritchie yang dimodifikasi untuk adsorpsi Congo red pada ampas tebu

Gambar 11. Persamaan Ritchie yang dimodifikasi untuk adsorpsi Congo red pada serabut kelapa

Pada Gambar 10 dan 11 terlihat bahwa persamaan Ritchie yang dimodifikasi dapat menggambarkan mekanisme adsorpsi Congo red pada ampas tebu dan serabut kelapa. Demikian juga untuk adsorpsi Rhodamine B pada ampas tebu dan serabut kelapa. Dari Gambar 12 dan 13 terlihat bahwa persamaan Ritchie yang dimodifikasi dapat menggambarkan mekanisme adsorpsi Rhodamine B pada ampas tebu dan serabut kelapa lebih baik daripada persamaan orde dua. Parameter

kinetika persamaan orde satu, persamaan orde dua, dan persamaan modifikasi Ritchie dapat dilihat pada Tabel 1.

Gambar 12. Persamaan Ritchie yang dimodifikasi untuk adsorpsi Rhodamine B pada ampas tebu

Gambar 13. Persamaan Ritchie yang dimodifikasi untuk adsorpsi Rhodamine B pada serabut kelapa

5. Kesimpulan

Kinetika adsorpsi Congo Red dan Rhodamine B pada ampas tebu dan serabut kelapa diselidiki dengan menggunakan tiga macam persamaan, yaitu persamaan orde satu, persamaan orde dua, dan persamaan Ritchie yang dimodifikasi. Dari ketiga persamaan tersebut persamaan Ritchie yang dimodifikasi merupakan persamaan yang paling dapat menggambarkan adsorpsi zat warna Congo Red dan Rhodamine B

pada ampas tebu dan serabut kelapa. Ampas tebu merupakan biosorben yang lebih baik daripada serabut kelapa karena ampas tebu dapat mengadsorpsi lebih banyak zat warna daripada serabut kelapa.

6. Daftar Pustaka

- [1] Cheung, C., W., Porter, J., F., McKay, G., 2001, "Sorption Kinetic Analysis for The Removal of Cadmium Ions from Effluents Using Bone Char", *Water Res.*, Vol 35, pp. 605-612
- [2] Gupta, V.K., Mittal, A., Krishnan, I., Gajbe, V., (2004), "Adsorption Kinetics and Column Operations for The Removal and Recovery of malachite Green from Wastewater Using Bottom Ash", *Separation and Purification Technology*, Inpress
- [3] Hartono, S.B., Ismadji, S., Sudaryanto, Y., Irawaty, W., (2005) "Utilization of teak sawdust from timber industry as precursor of activated carbon preparation for removal of dyes from synthetic effluent", *J. Ind. Eng. Chem.*, **11** (6), 864-869.
- [4] Ho, Y.S., McKay, G., (1999), "The Sorption of Lead(II) Ions on Peat", *Water Res.*, 33, hal 578-584
- [5] Ho, Y., S., Chiang, T.H., Hsueh, Y.M., (2005), "Removal of Basic Dye from Aqueous Using Tree Fern as A Biosorbent", *Process Biochemistry*, 40, hal 119-124
- [6] Lee, J., M., 1992, "Biochemical Engineering", Prentice-Hall, Inc, hal 85-86
- [7] Najar-Souissi, S., Ouedemi, A., Ratel, A., (2005), "Adsorption of dyes onto activated carbon prepared from olive stones", *Journal of Environmental Sciences-China*, 17, hal 998-1003.
- [8] Namasivayam, C., Muniasamy, N., Gayatri, K., Rani, M., Ranganathan, K., (1996), "Removal of Dyes from Aqueous Solutions by Cellulosic Waste Orange Peel", *Bioresource Technology*, 57, hal 37-43
- [9] Namasivayam, C., Prabha, D., Kumutha, M., (1998), "Removal of Direct Red and Acid Brilliant Blue by Adsorption on to Banana Pith", *Biosource Technology*, 64, hal 77-79
- [10] Sag, Y., Aktay, Y., (2002), "Kinetics Studies on Sorption of Cr(VI) and Cu(II) ions by Chitin, Chitosan, and *Rhizopus arrhizus*", *Biochemical Engineering Journal*, 12, hal 143-153