

ADSORPSI LOGAM BERAT (Pb) DARI LIMBAH CAIR DENGAN ADSORBEN ARANG BAMBU AKTIF

Tri Widayatno, Teti Yulawati, Agung Adi Susilo

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartosuro, Sukoharjo, Surakarta 57162

Email: tri.widayatno@ums.ac.id

ABSTRAK

Limbah yang mengandung logam berat (Pb) dikategorikan sebagai limbah B3 karena bersifat karsinogenik dan tidak terbiodegradasi. Salah satu metode untuk mengolah limbah logam berat adalah dengan adsorpsi menggunakan adsorben berupa arang bambu. Dalam penelitian ini, proses adsorpsi dilakukan secara kontinyu. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan pengaruh aktivasi dan tinggi packing arang bambu terhadap efektivitas adsorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivasi arang bambu berpengaruh terhadap efektivitas penjerapan logam Pb. Dengan model adsorpsi Thomas, konstanta jerap untuk proses dengan menggunakan arang bambu yang diaktivasi dengan ketinggian packing 15 cm sebesar 0,00099/jam sedangkan yang tanpa aktivasi sebesar 0,00013/jam. Tinggi packing juga berpengaruh sangat signifikan, terlihat pada konstanta jerap pada ketinggian packing 10 cm sebesar 0,000841/jam

Kata kunci: Limbah logam berat, Pb, Adsorpsi, Arang bambu aktif

PENDAHULUAN

Pb adalah logam berat yang mempunyai afinitas yang paling tinggi terhadap belerang dan menyerang ikatannya didalam enzim. Sebagai logam berat, Pb digolongkan ke dalam bahan pencemar yang berbahaya [1].

Pb berada didalam air dalam bentuk $Pb(OH)_2$. Logam Pb banyak sekali digunakan pada industri dan pengerjaan pemipaan. Bensin bertimbal merupakan sumber utama di atmosfer dan muka bumi. Kebanyakan Pb yang ada di bumi memasuki sistem perairan alam, dan terakumulasi yang pada akhirnya bisa masuk ke dalam tubuh hewan dan manusia. Jika terserap ke dalam tubuh manusia, timbal (Pb) dapat menyebabkan kecerdasan anak menurun, pertumbuhan badan terhambat, bahkan dapat menimbulkan kelumpuhan. Gejala keracunan logam Pb lainnya: mual, anemia, dan sakit perut [2].

Salah satu usaha untuk mengolah limbah Pb adalah dengan proses adsorpsi. Adsorpsi dipilih karena merupakan

metode yang relatif sederhana dan dapat menggunakan adsorben bahan alam dari sisa-sisa biomasa yang tidak terpakai [3]. Pada penelitian ini, arang bambu yang diproduksi secara tradisional digunakan sebagai adsorben. Arang bambu adalah bahan yang baik untuk digunakan sebagai adsorben karena mempunyai daya adsorpsi yang baik. Berikut adalah alasan-alasan penggunaan arang bambu sebagai adsorben [4]:

- Mempunyai pori-pori mikro yang spesial.
- Mempunyai karakteristik biologi yang spesial.
- Densitas yang tinggi dan struktur pori-pori yang baik.
- Luas permukaan lebih besar daripada arang kayu, yaitu $300 \text{ m}^2/\text{gram}$, sedangkan arang kayu $30 \text{ m}^2/\text{gram}$.

Penelitian ini adalah penelitian awal yang bertujuan untuk menentukan pengaruh aktivasi dan tinggi packing arang bambu terhadap efektivitas adsorpsi. Proses adsorpsi dengan

menggunakan arang bambu pada penelitian ini dilakukan secara kontinyu.

TEORI

Adsorpsi adalah suatu fenomena permukaan karena akumulasi suatu spesies pada batas permukaan padat-cair. Adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik-menarik.

Ada 2 tipe adsorpsi, yaitu:

1. Adsorpsi fisis atau Van der Waals
2. Adsorpsi kimia

Adsorpsi yang terjadi dalam hal ini adalah non-spesifik dan non-selektif penyebab gaya tarik menarik karena adanya ikatan koordinasi hidrogen dan gaya Van der Waals. Apabila adsorbat dan permukaan adsorben terikat dengan gaya Van der Waals saja maka dinamakan adsorpsi fisis atau adsorpsi Van der Waals.

Molekul yang teradsorpsi terikat pada permukaan secara lemah dan panas adsorpsinya rendah. [5]

Jika adsorbat dan permukaan adsorben bereaksi secara kimiawi maka disebut chemisorption. Nilai panas adsorpsi setara dengan reaksi kimia karena adanya ikatan kimia yang terbentuk maupun yang terputus selama proses adsorpsi. Untuk membedakan kedua fenomena proses adsorpsi tersebut maka digunakan variabel suhu. Adsorpsi fisis ditandai dengan penurunan jumlah yang teradsorpsi dengan peningkatan suhu. [6]

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi [7]

1. Macam-macam Adsorben

- a. Adsorben Polar: Adsorben polar mempunyai daya adsorpsi yang besar terhadap asam karboksilat, alkohol, alumina, keton dan aldehyd. Contohnya adalah alumina.
- b. Adsorben non Polar: Adsorben non polar mempunyai daya adsorpsi yang besar terhadap amin dan senyawa yang bersifat basa. Contohnya adalah silica.
- c. Adsorben Basa: Adsorben basa mempunyai daya adsorpsi yang besar

terhadap senyawa yang bersifat asam. Contohnya adalah Magnesia.

2. Macam-macam Adsorbat

Jika zat yang diadsorpsi merupakan elektrolit maka adsorpsi akan berjalan lebih cepat dan hasil adsorpsi lebih banyak jika dibandingkan dengan larutan non elektrolit. Hal ini disebabkan karena larutan elektrolit terionisasi sehingga didalam larutan terdapat ion-ion dengan muatan berlawanan yang menyebabkan gaya tarik-menarik Van der Waals semakin besar, berarti daya adsorpsi semakin besar.

3. Konsentrasi Masing-Masing Zat

Jika konsentrasi (C) makin besar, maka jumlah solute yang teradsorpsi semakin besar. Hal ini sesuai dengan persamaan Freundlich:

$$\frac{X}{M} = k \cdot C^n \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

- | | |
|------|---------------------|
| X | = berat teradsorpsi |
| M | = berat adsorben |
| K, n | = konstanta |

4. Luas Permukaan

Makin luas permukaan adsorben (adsorben makin kecil ukurannya), maka adsorpsi yang terjadi makin besar karena kemungkinan zat yang menempel pada permukaan adsorben bertambah. Hal ini menyebabkan bagian yang semula tidak berfungsi sebagai permukaan (bagian dalam) setelah digerus akan berfungsi sebagai permukaan.

5. Tekanan

Jika tekanan diperbesar molekul-molekul adsorbat akan lebih cepat teradsorpsi, akibatnya jumlah adsorbat yang terserap bertambah banyak. Jadi tekanan memperbesar jumlah zat yang teradsorpsi. Hal ini dapat dilihat pada persamaan Harkins:

$$\log P = B - \frac{S}{V} \text{ atau } \ln P = -d \frac{(A^2 + 1)}{2KT} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan: V= jumlah mol yang diadsorpsi, P= tekanan gas (atm), B= konsentrasi (mol/detik), A= konstanta Boltzman, T= suhu mutlak (°K)

Jika B dan S tetap, maka makin besar tekanan, mol zat yang teradsorpsi makin besar.

6. Daya Larut terhadap Adsorben

Jika daya larut tinggi maka proses adsorpsi akan terhambat karena gaya untuk melarutkan solute/adsorbat berlawanan dengan gaya tarik adsorben terhadap adsorbat.

7. Koadsorpsi

Suatu adsorben yang telah mengadsorpsi suatu zat akan mempunyai daya adsorpsi yang lebih besar terhadap adsorbat tertentu daripada daya adsorpsi awal.

8. Pengadukan

Jika dilakukan pengadukan, semakin cepat pengadukan maka molekul-molekul adsorbat dan adsorben akan saling bertumbukan sehingga akan mempercepat proses adsorpsi.

Proses Adsorpsi [7, 8]

Permukaan padatan yang kontak dengan suatu larutan cenderung untuk menghimpun lapisan dari molekul-molekul zat terlarut pada permukaannya akibat ketidakseimbangan gaya-gaya pada permukaan. Adsorpsi kimia menghasilkan pembentukan lapisan monomolekular adsorbat pada permukaan melalui gaya-gaya dari valensi sisa dari molekul-molekul pada permukaan. Adsorpsi fisika diakibatkan kondensasi molecular dalam kapiler-kapiler dari padatan. Secara umum, unsur-unsur dengan berat molekul yang lebih besar akan lebih mudah diadsorpsi.

Terjadi pembentukan yang cepat sebuah kesetimbangan konsentrasi antar-muka, diikuti dengan difusi lambat ke dalam partikel-partikel karbon. Laju adsorpsi keseluruhan dikendalikan oleh kecepatan difusi dari molekul-molekul zat terlarut dalam pori-pori kapiler dari partikel karbon. Kecepatan itu berbanding terbalik dengan kuadrat diameter partikel, bertambah dengan kenaikan konsentrasi zat terlarut, bertambah dengan kenaikan temperatur dan berbanding terbalik dengan kenaikan berat molekul zat terlarut.

Morris dan Weber menemukan bahwa laju adsorpsi bervariasi seiring dengan akar pangkat dua dari waktu kontak dengan adsorben. Kecepatan ini juga meningkat dengan menurunnya pH sebab perubahan muatan pada permukaan karbon. Kapasitas adsorpsi dari karbon terhadap suatu zat terlarut tergantung pada dua-duanya, karbon dan zat terlarutnya. Kebanyakan limbah cair adalah kompleks dan bervariasi dalam hal kemampuan adsorpsi dari campuran-campuran yang ada. Struktur molekul, kelarutan, dsb, semuanya berpengaruh terhadap kemampuan adsorpsi.

Derajat/kemungkinan adsorpsi akan terjadi dan menghasilkan hubungan kesetimbangan berkorelasi menurut hubungan empiris dari Freundlich, dan turunan Langmuir. Untuk penerapan praktis, isothermal Freundlich biasanya memberikan hubungan yang memuaskan. Isothermal Freundlich dinyatakan sebagai :

$$\frac{X}{M} = kC^{1/n} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan, X = berat dari unsur yang diadsorpsi, M = berat adsorben, C = konsentrasi yang tersisa dalam larutan. k dan n adalah konstanta yang tergantung pada temperatur, adsorben, dan unsur-unsur yang diserap.

Persamaan Langmuir didasarkan pada keseimbangan diantara kondensasi dan evaporasi dari molekul-molekul yang diadsorpsi, mengingat lapisan adsorpsi mono molekul.

$$\frac{X}{M} = \frac{abC}{1 + aC} \dots\dots\dots(4)$$

Ini dapat di ekspresikan dalam bentuk linear sebagai :

$$\frac{1}{X/M} = \frac{1}{b} + \frac{1}{ab} \frac{1}{C} \dots\dots\dots(5)$$

dengan: b = jumlah yang diserap untuk membentuk lapisan utuh pada permukaan, a = konstanta yang bertambah dengan kenaikan ukuran molekuler. [9]

Peristiwa adsorpsi suatu zat kedalam pori adsorben mengikuti mekanisme berikut:

1. Perpindahan Massa adsorben dari larutan ke permukaan luar butir adsorben. Kecepatan perpindahan massanya dinyatakan dengan persamaan:

$$nA = k_c a (C_{A1} - C_{Ai}) \dots \dots \dots (6)$$

2. Difusi adsorbat dalam pori adsorben yang mengikuti persamaan:

$$nA = -D_e \frac{dC_A}{d(\text{jarak})} \dots \dots \dots (7)$$

3. Perpindahan massa adsorbat dari larutan dalam pori ke permukaan pori adsorben, persamaannya adalah:

$$nA = k_c a (C_A - C_A^*) \dots \dots \dots (8)$$

Yang mengontrol perpindahan massa suatu zat ke dalam pori adsorben adalah mekanisme diatas, karena mekanisme lainnya berlangsung cepat. Dengan demikian perpindahan massa $Pb(OH)_2$ dalam tumpukan arang bambu ditentukan oleh: kecepatan aliran, beda konsentrasi antar fase padat-cair, difusi efektif

Pada penelitian ini arang bambu ditempatkan dalam suatu kolom tabung, sedang $Pb(OH)_2$ dialirkan secara kontinyu lewat bagian atas kolom.

Adsorpsi Kontinyu

Dalam *fixed-bed* (unggun diam) adsorpsi, konsentrasi dari fasa fluida dan fasa padatan akan berubah terhadap waktu sesuai dengan posisinya pada ungun. Pada awalnya kebanyakan terjadinyatransfer massa berada atau mengambil tempat pada daerah hulu (masuk pada ungun), dimana fluida akan mengadakan kontak yang pertamakalinya dengan adsorben. Jika pada padatan tidak mengandung adsorbat pada awalnya, maka konsentrasi dari fluida akan turun dan mendekati nol sebelum mencapai hilir (keluaran dari ungun). Setelah beberapa lama maka padatan dekat daerah hulu akan mengalami kejenuhan dan kemudian transfer massa akan mengambil tempat selanjutnya yang lebih jauh dari daerah inlet. Daerah dimana paling banyak

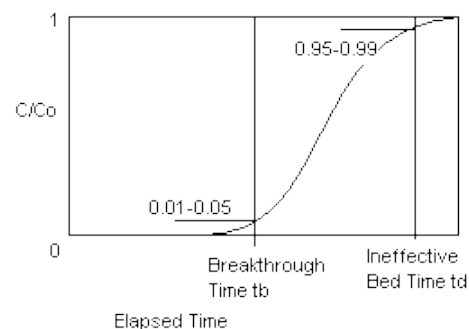
terjadi perubahan konsentrasi disebut *mass-transfer zone*.

Dengan demikian bertambahnya waktu maka *mass-transfer zone* akan terus bergerak pada ungun tersebut. Dari profil konsentrasi rata-rata yang terjadi pada jumlah adsorbat dalam padatan maka akan menunjukkan keadaan jenuh pada hulu, perubahan besar pada daerah *mass-transfer zone* dan konsentrasi nol pada keluaran ungun.

Kolom *unsteady-state* lebih sering digunakan untuk menangani limbah cair dalam jumlah besar. Cairan dimasukkan secara terus-menerus baik pada puncak ataupun dasar kolom melewati ungun padatan adsorben yang tetap. Padatan menyerap sejumlah *solute* yang cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya waktu. Ketika kapasitas adsorpsi padatan mendekati atau telah mencapai kejenuhan, harus dilakukan regenerasi.

Kurva Terobosan (Breakthrough Curve) [8]

Kurva terobosan merupakan kurva yang menggambarkan suatu rentang kondisi terjadinya peningkatan drastis jumlah adsorbat yang teradsorpsi oleh adsorben, sebelum proses adsorpsi mendekati kesetimbangan adsorpsi.



Kesetimbangan adsorpsi terjadi bila larutan dikontakkan dengan adsorben padat, dan molekul dari adsorbat berpindah dari larutan ke padatan sampai konsentrasi adsorbat di larutan dan padatan dalam keadaan setimbang. Data kesetimbangan adsorpsi yang dihasilkan pada temperatur konstan disebut adsorpsi

isotermis. Untuk mengukur kesetimbangan adsorpsi dapat dilakukan dengan pengukuran konsentrasi adsorbat di larutan pada awal dan kesetimbangan. [10]

Adsorpsi Model Thomas

Adsorpsi adalah suatu proses yang kompleks yang kinerjanya didukung oleh banyak variable. Konsentrasi *outlet* dari kolom adsorpsi merupakan salah satu parameter yang penting dalam merancang suatu proses. Memprediksi konsentrasi dari *outlet* tidaklah mudah. Kapasitas maksimum isian dari kolom distilasi diperlukan di dalam perancangan. Model Thomas ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan itu. Solusi Model Thomas adalah salah satu model yang umum pada teori kinerja kolom distilasi.

Modelnya yaitu:

$$\ln \left[\frac{C_0}{C} - 1 \right] = \frac{k_{Th} q_0 w}{Q} - \frac{k_{Th} C_0 V}{Q}$$

Dengan: C_0 : konsentrasi zat terjerap dalam penjerap pada $t = 0$ jam (g/100 g), C : konsentrasi zat terjerap dalam penjerap pada t jam (g/100 g), q_0 : konsentrasi maksimum /jenuh zat terjerap dalam penjerap (g/100), K_{Th} : tetapan penjerapan (1/jam), w : massa penjerap (g), V : massa larutan / limbah yang melewati penjerap (g), Q : laju alir larutan / limbah yang melewati penjerap (g/jam)

Metodologi

1. Penyiapan Arang Bambu

Dalam proses ini arang bambu dikeringkan dulu. Setelah itu diayak sampai ukuran 8 mesh. Sebagian arang bambu diaktivasi dengan cara dipanaskan pada suhu 140°C selama 1 jam, kemudian dihilangkan uap panasnya di desikator

2. Penjerapan Limbah Logam Berat

a. Simulasi Limbah Pb

Larutan simulasi dibuat dengan melarutkan Pb nitrat pada aquades dengan perbandingan 0,1595 gram Pb nitrat pada 10 mL air ditambah HNO₃ (1:1).

Kemudian dilarutkan dalam 1000 mL aquadest. Konsentrasi Pb(OH)₂ yang terbentuk sebesar 1000 ppm. Kemudian diambil 10 mL untuk diencerkan sampai 1000 mL untuk membuat larutan Pb(OH)₂ 10 ppm.

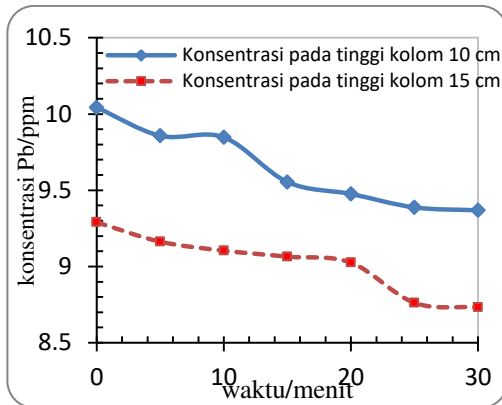
b. Penjerapan

Proses penjerapan dilakukan dengan memasukan arang bambu ke dalam kolom gelas. Kolom gelas diisi dengan arang bambu hingga ketinggian 10 cm. Diisi dengan air suling, goyangkan untuk menghilangkan gelembung udara yang terperangkap. Hubungan bagian atas kolom dengan pipa aliran Pb(OH)₂ dengan laju alir kontinyu 2 cc/detik. Larutan yang keluar diukur konsentrasinya menggunakan AAS PE 3110 setiap 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 menit. Kemudian dilakukan cara yang sama dengan merubah ketinggian packingnya menjadi 15 cm serta untuk arang bambu yang diaktivasi. Dari percobaan diperoleh C_A yang digunakan untuk menentukan nilai K dengan perhitungan Model Thomas

Hasil dan Pembahasan

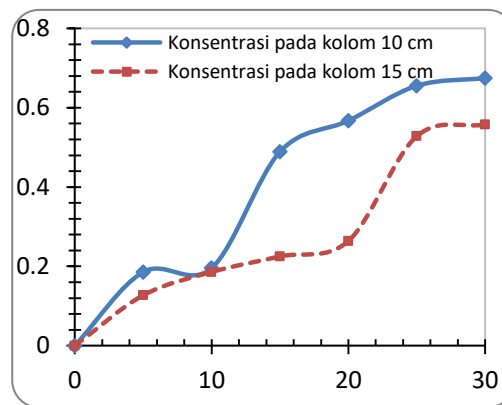
Pengaruh tinggi pakcing terhadap aktifitas penjarapan logam Pb(OH)₂ ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2. pada tinggi packing 15 cm terjadi penurunan yang cukup signifikan setelah menit ke 25, sedangkan pada tinggi packing 10 cm tidak ada penurunan yang signifikan.

Persamaan model Thomas didapatkan Nilai K_{th} untuk tinggi kolom 10 cm sebesar: 0.000841 Nilai K_{th} untuk tinggi kolom 15 cm sebesar: 0.00099, ini berarti konstanta jerap pada packing 15 cm lebih besar dari tinggi packing 10 cm.



Gambar. 1 Hubungan waktu dengan konsentrasi Pb(OH)₂

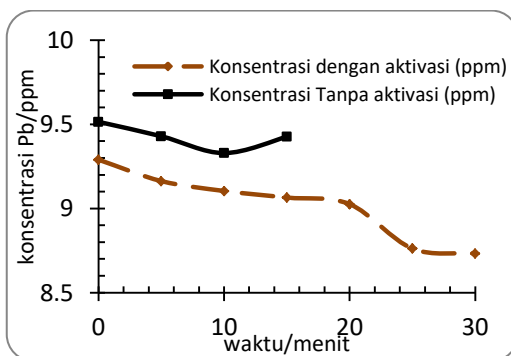
Dari tabel I dapat terlihat bahwa aktivasi arang bambu berpengaruh terhadap penjerapan Pb(OH)₂. Hal ini dapat dilihat dari data konsentrasi yang semakin menurun pada arang bambu yang diaktivasi sedangkan pada arang bambu yang tidak diaktivasi penjerapannya tidak maksimal., ditunjukkan pada grafik 1. Pada grafik 1 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu penjerapan konsentrasi Pb(OH)₂ menurun sampai menit ke 10 dan menit berikutnya data naik. Hal ini mengindikasikan bahwa kemampuan jerap arang bambu tanpa aktivasi kecil. Bahkan pada menit ke 15 dan selanjutnya tidak terjadi penjerapan hal



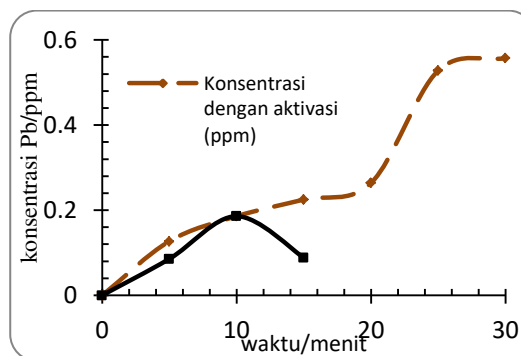
Grafik 2. Hubungan prosentase penurunan Pb(OH)₂ dengan waktu

ini ditunjukkan dengan semakin naiknya konsentrasi Pb(OH)₂. Sedangkan pada arang bambu yang diaktivasi kemampuan jerapnya baik, ditunjukkan pada grafik 1, konsentrasi Pb(OH)₂ terus menurun seiring bertambahnya waktu. Pada menit ke 30 penjerapan belum mencapai titik jenuhnya. Hal ini dapat diartikan bahwa arang bambu masih dapat menyerap Pb(OH)₂.

Dari perhitungan adsorpsi kontinyu berdasarkan model Thomas diperoleh nilai k_{Th} pada arang bambu yang tidak diaktivasi sebesar 0.00099 dan nilai k pada arang bambu yang diaktivasi sebesar 0.001305.



Grafik 3. Hubungan Konsentrasi Pb dengan Waktu untuk arang bambu tanpa dan diaktivasi



Grafik 4. Hubungan Waktu dengan Pb(OH)₂ yang Terjerap untuk arang bambu tanpa dan diaktivasi

Kesimpulan

Adsorpsi limbah $Pb(OH)_2$ menggunakan arang bambu dengan variasi tinggi packing dapat disimpulkan bahwa tinggi packing mempengaruhi adsorpsi, hal ini dapat dilihat dari nilai k, pada tinggi packing 10 cm di peroleh nilai k sebesar 0.000841, sedangkan pada tinggi packing 15 cm diperoleh nilai k sebesar 0.00099.

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa aktivasi

berpengaruh pada kemampuan menyerap dari arang bambu. Pada arang bambu yang diaktivasi kemampuan menyerapnya bagus, sedangkan pada arang bambu yang tidak diaktivasi kemampuannya kurang optimal. Nilai k_{Th} dari penyerapan dengan arang bambu yang tidak diaktivasi yaitu sebesar 0,0009 sedangkan pada arang bambu yang diaktivasi yaitu sebesar 0.001305.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wardhana, W. A., 1995, "Dampak Pencemaran Lingkungan", Andi Offset, Yogyakarta.
- [2] Manahan, S. E, 1990, "*Environment Chemistry*", 4 ed, Jewis Publisher, Michigan, p. 17-18.
- [3] Metecalf & Eddy, 1979, "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse", McGraw-Hill Publishing Company, New York.
- [4] Zhao, Ru-Song, et al, 2007, "Using Bamboo Charcoal as Solid-phase Extraction Adsorbent for The Ultratrace-level Determination of Perfluorooctanoic Acid in Water Samples by High-performance Liquid Chromatography-mass Spectrometry".
- [5] Forster, U and Wittman, t. w, 1983, "Metal Pollution In The Aquatic Environment", Spinger-Zerlag, Berlin, p. 207-213.
- [6] Castellan, G. W, 1985, "Physical Chemistry", 2 ed, Addison Wesley Publishing Company, Massachusetts, p. 435-437.
- [7] Haryadi, Is, 2006, "Menentukan Koefisien Perpindahan Massa Penjerapan Ion Logam Berat $Pb(OH)_2$ Menggunakan Chitosan", Surakarta.
- [8] Malkoc, Emine, et al, 2006, "Cr(VI) adsorption by waste acorn of *Quercus ithaburensis* in fixed beds: Prediction of Breakthrough curves", Elsevier, Turkey.
- [9] Subiarto, 2000, <http://digilib.batan.go.id/sipulitbang/fulltext/2626.pdf>
- [10] Soenardjo. E, dkk, 1991, "Padi Buku III", Bogor, Badan Penelitian dan Pengembangan dan penelitian.