

# STUDI BIOSORPSI LIMBAH *PURIFIED TEREPHTHALID ACID* (PTA) MENGGUNAKAN ECENG GONDOK

**Agus Rochmat, Leli Yusnida, Nita Herlita**

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik  
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Banten  
[agus\\_rochmat@untirta.ac.id](mailto:agus_rochmat@untirta.ac.id)

## Abstrak

Kobalt merupakan salah satu bahan berbahaya dan beracun (B3) yang terkandung dalam limbah *Purified Terephthalid Acid* (PTA) yang apabila masuk ke dalam lingkungan baik tanah, air, maupun udara dapat menyebabkan pencemaran. Tanaman eceng gondok dapat menurunkan konsentrasi kobalt (Co) di dalam limbah PTA. Semakin lama waktu pemaparan mengakibatkan penurunan konsentrasi kobalt (Co) dalam limbah PTA semakin besar. Selain itu, semakin lama waktu pemaparan berpengaruh pula terhadap penurunan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan CO<sub>2</sub> bebas. Sisa konsentrasi kobalt (Co) dalam limbah sampai hari ke-28 sekitar 0.050-1.599 ppm, sebanding dengan kenaikan konsentrasi kobalt (Co) dalam tanaman eceng gondok yang berkisar antara 1.935-7.521 ppm. Kadar COD pada hari ke-28 berkisar antara 20.34-73.39 mg/L. Nilai tersebut telah memenuhi standar baku mutu limbah PTA berdasarkan AMDAL yang menetapkan COD < 150 mg/L. Sedangkan penurunan nilai CO<sub>2</sub> bebas yang dihasilkan pada hari ke-28 berkisar antara 0.05-1.998 mg/L.

**Kata kunci:** Eceng Gondok, Kobalt, KOK

## Abstract

Cobalt is one of dangerous and toxic material (B3) which is contained in *Purified Terephthalid Acid* (PTA) waste water. The summary is eceng gondok can decrease cobalt (Co) concentration of *Purified Terephthalid Acid* (PTA) waste water. As a result from the more time of treatment, cobalt (Co) concentration in PTA waste water could be decreased by eceng gondok (*Water hyacinth*). Beside that, the more time of treatment affected to decreasing of *Chemical Oxygen Demand* (COD) concentration and CO<sub>2</sub> free. Concentration cobalt (Co) excess of waste water on 28<sup>th</sup> day is for about 0.050-1.599 ppm, related to increasing of cobalt (Co) concentration of eceng gondok (*Water hyacinth*) which the value is 1.935-7.521 ppm. The value of *Chemical Oxygen Demand* (COD) concentration on 28<sup>th</sup> day is 20.34-73.39 mg/L. The value had qualified to standard of PTA waste water according to AMDAL which established *Chemical Oxygen Demand* (COD) < 150 mg/L. The decreasing of CO<sub>2</sub> free which is produced on 28<sup>th</sup> is for about 0.05-1.998 mg/L.

**Key words:** Eceng Gondok, Cobalt, COD.

## PENDAHULUAN

Permukaan bumi yang rendah tertutup oleh air, luasnya kurang lebih 70% dari permukaan seluruhnya. Luas perairan berbanding dengan luas daratan sekitar 7:3. Indonesia yang merupakan negara kepulauan, 2/3 bagian wilayahnya merupakan perairan. Air merupakan salah satu sumber daya alam Indonesia yang memiliki banyak fungsi. Air sangat penting untuk kebutuhan manusia, baik dalam eksistensi fisiologis maupun kepentingan lain seperti industri, irigasi, perikanan, sanitasi, transportasi, dan pembangkit listrik. Namun pemanfaatan tersebut tidak selalu diikuti dengan kesadaran masyarakat dalam menjaga kelestariannya.

Masyarakat kecil dan sederhana mempunyai kebiasaan membuang sampah di sungai, selain itu sebagian masyarakat perkotaan juga cenderung membuang limbah industri dan domestik ke perairan. Limbah yang masuk ke perairan menyebabkan perubahan kualitas air, sehingga perairan tidak layak digunakan bagi makhluk hidup. Menurut Saeni (1989), pencemaran air adalah peristiwa adanya penambahan bermacam-macam limbah sebagai hasil dari aktivitas manusia ke dalam perairan yang memberikan pengaruh berbahaya bagi perairan tersebut.

Limbah yang masuk ke dalam perairan tersebut dapat berupa bahan organik maupun anorganik. Kebanyakan limbah organik dapat membusuk dan mudah untuk didegradasi oleh mikroorganisme, tetapi tidak demikian halnya dengan limbah anorganik. Bahan buangan anorganik yang berasal dari sisa produksi industri percetakan, pabrik kimia, tekstil, farmasi, dan elektronika berpotensi merusak lingkungan karena mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3), yang diantaranya terdapat logam berat, seperti timbal (Pb), Kadmium (Cd), Raksa (Hg), Krom (Cr), Nikel (Ni), Kobalt (Co), Mangan (Mn), Tembaga (Cu), dan Timah (Sn).

Sebagai salah satu jenis logam berat, Cobalt (Co) merupakan unsur potensial penyebab pencemaran lingkungan. Pemantauan secara berkala diperlukan terhadap kondisi lingkungan tersebut. Salah satu dampak penurunan kualitas lingkungan perairan, yaitu adanya penurunan kualitas dan kuantitas hasil perikanan sebagai salah satu sumber pangan masyarakat, yang pada akhirnya berpengaruh pada aspek kesehatan masyarakat.

Salah satu limbah yang mengandung logam berat Co adalah limbah *Purified Terephthalid Acid* (PTA) yang dihasilkan oleh salah satu industri yang berada di Cilegon. Limbah PTA ini mempunyai karakteristik sebagai berikut : kadar Co sebesar 9.25 ppm dan pH sebesar 4. Menurut Analisa Dampak Lingkungan (Amdal) Limit Cilegon No.658.31/Kep.268/DPLH/2001, kadar Co maksimum dalam limbah yang diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan sebesar 0.6 ppm dan untuk pH berkisar antara 6 – 9. Dari uraian di atas, terlihat bahwa limbah PTA yang berasal dari industri tersebut membutuhkan treatment lanjutan sebelum limbah dibuang ke lingkungan.

Teknologi pengolahan limbah industri PTA umumnya menggunakan proses biologi (lumpur aktif), dimana proses ini mempunyai kelemahan seperti banyaknya senyawa kimia yang tidak terproses mengakibatkan perubahan karakteristik limbah secara keseluruhan, proses pengolahan yang berlangsung lama dan sulit. Selain itu membutuhkan areal pengolahan yang luas dan menghasilkan limbah lumpur yang masih memerlukan proses pengolahan lebih lanjut dan memerlukan biaya yang mahal.

Salah satu alternatif pengolahan limbah cair organik seperti PTA yang potensial adalah dengan teknik biosorpsi. Metode ini menggunakan tanaman air sebagai zat untuk mengabsorpsi limbah PTA. Karena tanaman air merupakan absorbent yang kuat, sehingga dapat digunakan untuk mengabsorpsi logam berat dan mampu mendegradasi senyawa-senyawa organik, serta menurunkan pH, kandungan CO<sub>2</sub> bebas, dan kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Tanaman air ramah terhadap lingkungan disamping itu, instalasi pengolahannya tidak

mempunyai tempat yang luas, proses pengolahan yang relative cepat, tidak adanya pemakaian bahan kimia, tingginya nilai efektifitas dan efisien dalam penguraian berbagai senyawa organik.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Alat dan Bahan

Alat – alat yang digunakan adalah Spektrofotometer Serapan Atom ( AAS ), pH meter, neraca analitik, buret, statif, erlenmeyer, pipet volum 25 mL, bulb, corong gelas, gelas ukur, pipet tetes, botol sample, ember plastik berukuran 2,5 liter sebanyak 12 buah, dan kantong plastik transparan.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanaman eceng gondok ( *Water hyacinth* ), limbah PTA ( *Purified Terephthalic Acid* ), larutan buffer pH 4 dan pH 7, larutan standar Co, larutan  $K_2Cr_2O_7 - HgSO_4$ , larutan  $H_2SO_4 - Ag_2SO_4$ , larutan  $K_2Cr_2O_7$  0.025N, larutan  $H_2SO_4$  pekat, larutan  $Na_2CO_3$  0.0454 N, indikator fenolftalein, dan aquadest.

#### *Prosedur Pembibitan Eceng Gondok*

1. Pembibitan tanaman eceng gondok di dalam kolam yang berisi air selama 1 bulan dengan pemberian nutrisi secara teratur.
2. Dua belas ember plastik yang sudah dibungkus oleh kantong plastik disiapkan untuk setiap pengukuran logam Co dengan berbagai variasi konsentrasi.
3. Setiap dua buah ember digunakan untuk satu variasi konsentrasi.
4. Setiap perlakuan tanaman dilakukan dengan dua kali perulangan. Setelah pembibitan tanaman selama 1 bulan dalam kolam, lalu tanaman eceng gondok dipindahkan ke dalam ember yang telah berisi limbah Cobalt ( Co ).

#### *Analisis Kandungan Co*

Limbah contoh (limbah yang telah diberi perlakuan yang berbeda – beda) diukur kadar logam Co dengan menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) pada panjang gelombang 240.7 nm. Selisih penurunan konsentrasi Co dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Total Selisih Penurunan Co} = A_0 - A_4$$

Keterangan :

$A_0$  = konsentrasi logam Co minggu ke-0

$A_4$  = konsentrasi logam Co minggu ke-4

#### *Penentuan pH*

Air contoh dalam gelas erlenmeyer 50 mL diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter yang telah dikalibrasi menggunakan larutan buffer pH 4 dan 7 (APHA,1992).

#### *Penentuan $CO_2$ bebas dalam limbah PTA*

1. Sebanyak 25 mL sample limbah dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 100 mL dan ditambah 1 – 2 tetes indikator fenolftalein.
2. Apabila larutan berwarna merah, berarti tidak ada  $CO_2$  bebas dalam air. Jika larutan tetap tidak berwarna, maka dititrasi dengan larutan  $Na_2CO_3$  0.0454 N sampai terjadi perubahan warna merah muda (Alaerts & Santika, 1987).

#### *Penentuan COD (Chemical Oxygen Demand) dalam limbah PTA*

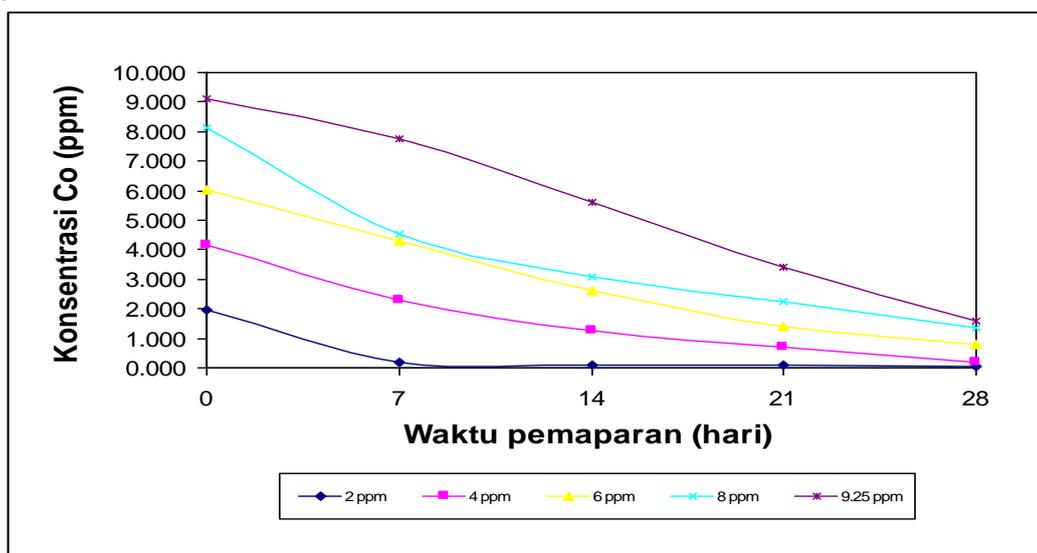
1. Sebanyak 5 mL larutan campuran kalium dikromat – merkuri sulfat ditambahkan ke dalam 50 mL sampel limbah
2. Menambahkan 10 mL larutan campuran asam sulfat – perak sulfat
3. Mengaduk campuran di dalam tabung KOK kemudian masukan ke dalam oven pada suhu 150 °C selama 2 jam

4. Setelah dingin, masukkan campuran tersebut ke dalam Erlenmeyer 100 mL dan bilas dengan 10 mL air suling dan ditambah dengan 2 mL asam sulfat pekat
5. Menambahkan 3 tetes larutan indikator feroin kemudian titrasi dengan larutan baku ferro ammonium sulfat 0.025N sampai terjadi perubahan warna dari hijau menjadi merah

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa jenis industri kimia seperti industri *Purified Terephthalic Acid* (PTA) menghasilkan jenis limbah logam berat seperti Co dan limbah organik secara bersamaan, serta bersifat asam. Pengolahan air limbah *Purified Terephthalic Acid* (PTA) dilakukan melalui proses anaerobik dan proses aerobik, dimana dalam proses tersebut limbah didegradasi oleh species bakteri. Namun proses anaerobik dan proses aerobik hanya dapat mendegradasi senyawa organik, sedangkan adanya logam maupun partikel beracun seperti cobalt (Co), dan mangan (Mn) tidak dapat didegradasi oleh bakteri. Untuk itu, setelah melewati proses anaerobik dan aerobik dibutuhkan pengolahan yang lebih lanjut untuk mendegradasi logam maupun partikel beracun agar limbah yang dibuang dapat memenuhi baku mutu limbah yang diizinkan.

#### Pengaruh Lamanya Waktu Pemaparan Terhadap Penurunan Konsentrasi Logam Kobalt

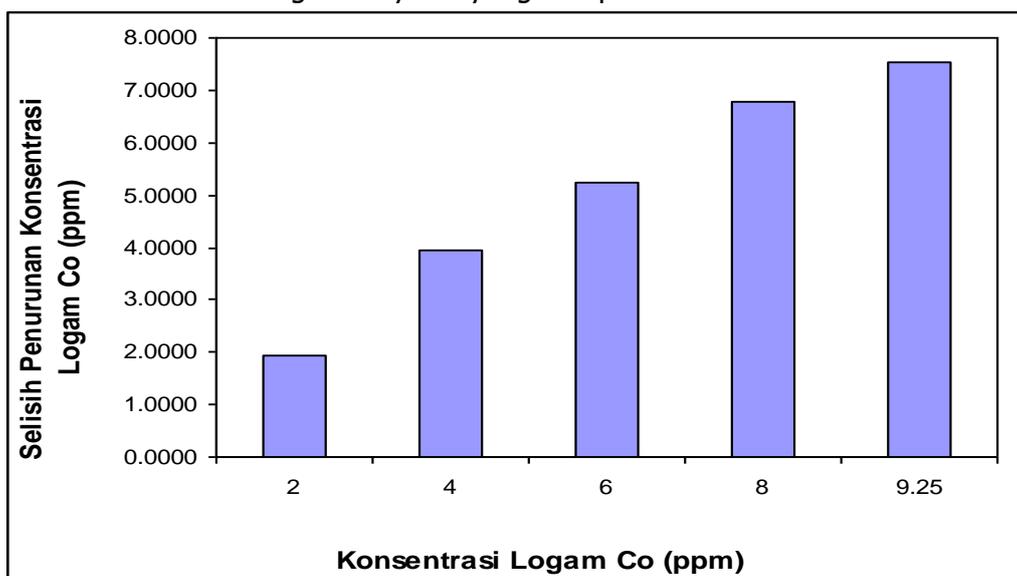


**Gambar 1. Kurva Pengaruh Lamanya Waktu Pemaparan terhadap Penurunan Konsentrasi Logam Kobalt (Co)**

Laju penurunan konsentrasi logam Co terhadap waktu pemaparan. Pada konsentrasi 2 ppm, laju penurunan konsentrasi Co secara signifikan terjadi pada hari ke- 7 dan 14 dan konsentrasi logam Co akhir pada hari ke- 28 sebesar 0.050 ppm. Perlakuan konsentrasi 8 ppm menunjukkan laju penurunan konsentrasi logam Co yang sangat cepat, konsentrasi akhir yang didapat 1.345 ppm. Sedangkan pada konsentrasi 4 ppm, telah terjadi penurunan yang signifikan terhadap laju penurunan konsentrasi logam Co pada hari ke- 7 dan konsentrasi akhir pada hari ke- 28 sebesar 0.205 ppm. Dan untuk konsentrasi 9.25 ppm dan 6 ppm, konsentrasi akhir yang didapat pada hari ke- 28 sebesar 1.599 ppm dan 0.773 ppm.

Pada proses biosorpsi yang menggunakan konsentrasi 9.25 ppm, selisih penurunan konsentrasi logam Co yang dihasilkan (Gambar 2), yaitu sebesar 7.521. Sedangkan pada konsentrasi 8 ppm sebesar 6.795, konsentrasi 6 ppm sebesar 5.242, konsentrasi 4 ppm

sebesar 3.940 , dan konsentrasi 2 ppm sebesar 1.935. Hal ini dimungkinkan karena pada konsentrasi 9.25 ppm terjadi biosorpsi logam Co yang lebih besar sehingga logam Co terabsorpsi merata di dalam tanaman eceng gondok. Proses absorpsi kation logam berat oleh dinding sel media bio yang bermuatan negatif dari gugus karboksil, hidroksil, sulfidril, amina dan fosfat lebih efektif berlangsung pada konsentrasi rendah. Gugus fungsi yang tidak bermuatan seperti atom N dalam peptida berfungsi sebagai ligan yang akan membentuk senyawa koordinasi dengan kation logam lebih reaktif pada konsentrasi *hipotonis*. Ikatan koordinasi antara dinding sel dan logam melibatkan ligan dan sisi aktif yang berbeda untuk setiap spesies, antara lain gugus karboksil dan fosforil yang membentuk ikatan primer dengan logam. Ikatan sekunder yang lemah terbentuk antara gugus hidroksil dan amil. Logam berat dapat terikat secara fisika, yaitu dengan gaya Van Der Waals atau secara kimia dengan cara membentuk ikatan kimia dengan senyawa yang ada pada tumbuhan.



**Gambar 2. Kurva Pengaruh Konsentrasi Logam Kobalt (Co) terhadap Selisih Penurunan Konsentrasi Logam Kobalt (Co)**

**Tabel 1. Pengaruh Konsentrasi Kobalt (Co) terhadap Total Penurunan Konsentrasi Kobalt (Co) dan % Penurunan Konsentrasi Kobalt (Co)**

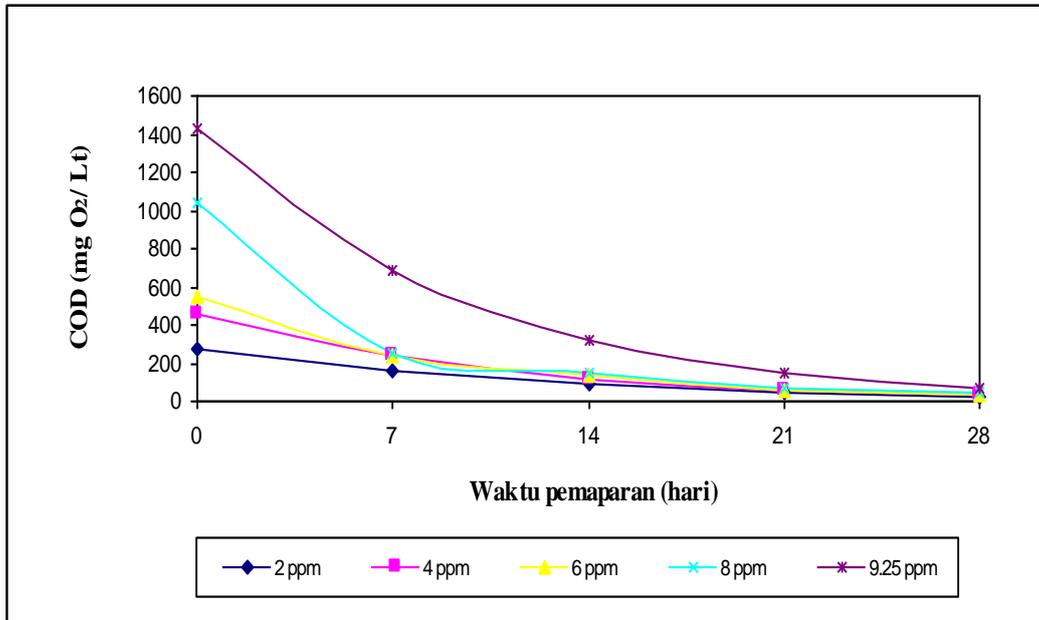
Konsentrasi Co (ppm)	Total Penurunan [Co], ppm	% Penurunan [Co]
2	1.935	97.48 %
4	3.940	95.05 %
6	5.242	87.15 %
8	6.795	83.48 %
9.25	7.521	82.47 %

Hasim (2000) telah melakukan penelitian yang menyatakan lamanya waktu pemaparan proses biosorpsi logam Pb dilakukan selama 28 hari (1 bulan). Sedangkan dari penelitian yang dilakukan (IPB, 1999) menyatakan pada proses biosorpsi logam Fe sangat dipengaruhi oleh lamanya waktu pemaparan, semakin lama waktu pemaparannya maka semakin besar logam Fe yang terserap oleh eceng gondok. Begitu pula sebaliknya semakin pendek waktu pemaparannya maka semakin kecil logam Fe yang terserap oleh eceng gondok

Eceng gondok terbukti mampu menurunkan kadar polutan Pb dan Fe. Oleh karena itu, diyakini eceng gondok juga mampu menurunkan kadar polutan Co pada limbah PTA. Sebab, secara struktur kimia, atom Co termasuk dalam golongan logam berat bersama Pb dan Fe.

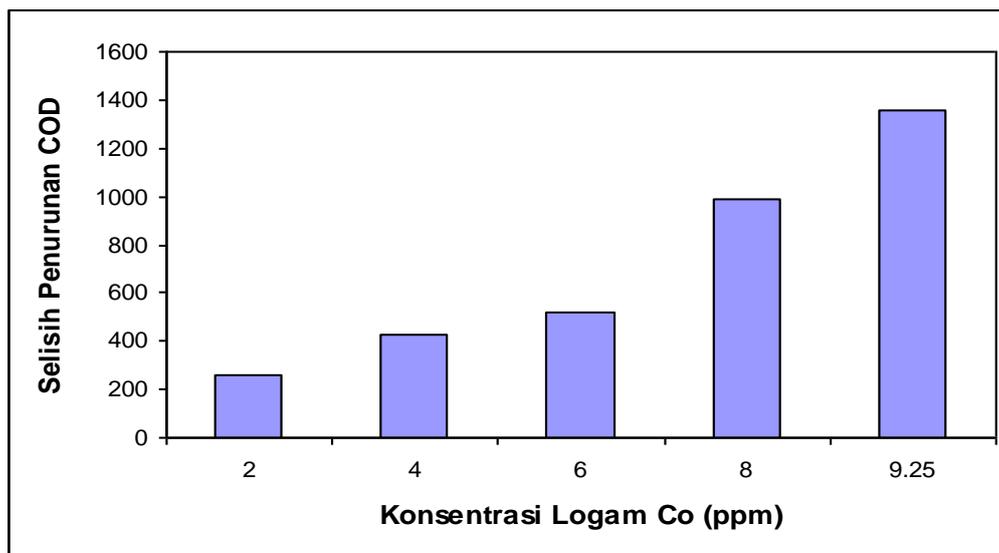
### Pengaruh Lamanya Waktu Pemaparan Terhadap Penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat – zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air.



**Gambar 3. Kurva Pengaruh Lamanya Waktu Pemaparan terhadap Penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD)**

Laju penurunan COD pada konsentrasi 8 ppm terjadi signifikan pada hari ke- 7 dengan COD akhir pada hari ke- 28 sebesar 45.06 (mg O<sub>2</sub>/Lt), pada konsentrasi 9.25 ppm laju penurunan COD yang terjadi sangat cepat COD akhir yang didapat 73.39 (mg O<sub>2</sub>/Lt), sedangkan pada konsentrasi 2 ppm laju penurunan COD pada hari ke- 7 tidak terjadi penurunan yang signifikan dengan COD pada hari ke- 28 sebesar 20.34 (mg O<sub>2</sub>/Lt). Dan untuk konsentrasi 4 ppm dan 6 ppm, COD akhir yang didapat pada hari ke- 28 sebesar 31.34 (mg O<sub>2</sub>/Lt) dan 35.78 (mg O<sub>2</sub>/Lt)



**Gambar 4. Kurva Pengaruh Konsentrasi Logam Kobalt (Co) terhadap Selisih Penurunan Chemical Oxygen Demand (COD)**

**Tabel 2. Pengaruh Konsentrasi Kobalt (Co) terhadap Total Penurunan COD dan % Penurunan COD**

Konsentrasi Co (ppm)	Total Penurunan COD	% Penurunan COD
2	256.16	92.64 %
4	429.49	93.20 %
6	517.22	93.53 %
8	991.81	95.65 %
9.25	1355.18	94.86 %

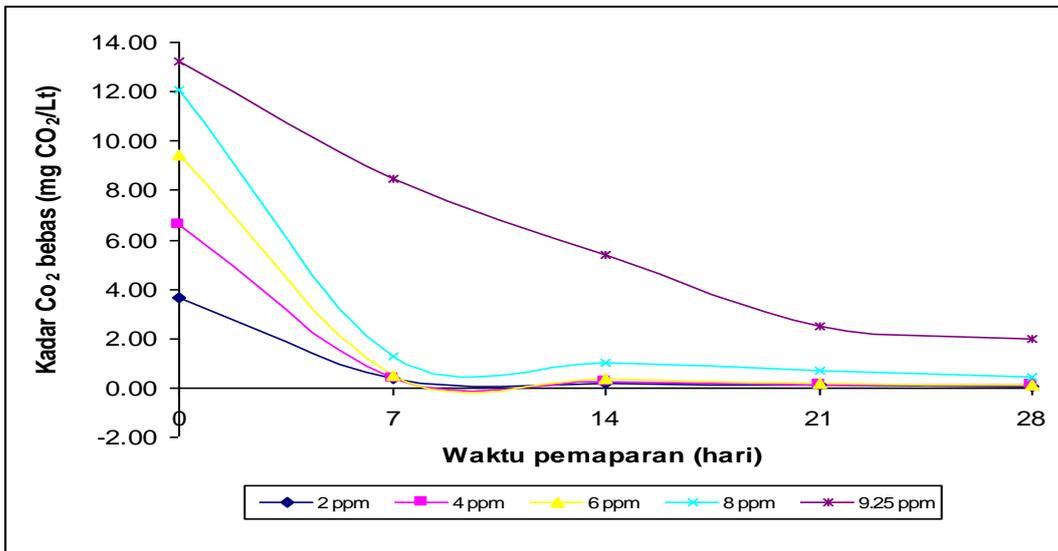
Berdasarkan hasil percobaan yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa dengan semakin lamanya waktu pemaparan, maka semakin besar pula penurunan angka COD nya. Pada proses biosorpsi yang menggunakan konsentrasi 9.25 ppm, selisih penurunan COD yang terjadi lebih besar (pada Gambar 4.4), yaitu sebesar 1355.18 (mg O<sub>2</sub>/Lt). Sedangkan pada konsentrasi 8 ppm sebesar 991.81 (mg O<sub>2</sub>/Lt), konsentrasi 6 ppm sebesar 517.22 (mg O<sub>2</sub>/Lt), konsentrasi 4 ppm sebesar 429.49 (mg O<sub>2</sub>/Lt), dan konsentrasi 2 ppm sebesar 256.16 (mg O<sub>2</sub>/Lt).

Penurunan angka *Chemical Oxygen Demand* (COD) disebabkan semakin banyaknya senyawa – senyawa organik dalam limbah PTA yang terserap dalam tanaman eceng gondok seiring dengan lamanya waktu pemaparan. Dengan adanya penurunan angka COD akan meningkatkan angka BOD (*Biochemical Oxygen Demand*). Angka BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasikan) hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagian zat – zat organik yang tersuspensi dalam limbah (Alaerts, 1994).

Maria (2008) telah melakukan penelitian untuk menguji kemampuan tanaman eceng gondok dan mikroba rizosfirnya dalam mengolah limbah cair tapioka. Masih menurut Maria (2008), dari penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa pemakaian eceng gondok dan mikroba rizosfirnya dapat menurunkan kadar COD dari limbah cair tapioka.

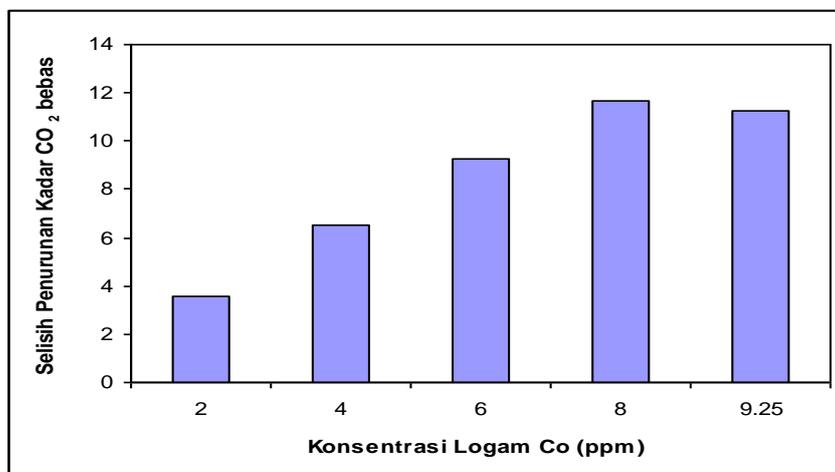
### Pengaruh Lamanya Waktu Pemaparan Terhadap Penurunan Kadar CO<sub>2</sub> Bebas

Umumnya tanaman yang berklorofil membutuhkan CO<sub>2</sub> untuk proses fotosintesis dan melepaskan O<sub>2</sub> ke lingkungan pada penelitian ini ke dalam air limbah, tetapi tanaman eceng gondok memiliki kemampuan yang berbeda-beda dalam menurunkan kadar CO<sub>2</sub> bebas, tergantung dari perlakuan variasi konsentrasi dan lamanya waktu pemaparan, sehingga mempengaruhi tinggi rendahnya kandungan CO<sub>2</sub> bebas dalam limbah tersebut.



**Gambar 5. Kurva Pengaruh Lamanya Waktu Pemaparan terhadap Penurunan Kadar CO<sub>2</sub> Bebas**

Berdasarkan hasil percobaan yang ditunjukkan pada Gambar 5. dapat dilihat bahwa dengan semakin lamanya waktu pemaparan, maka semakin besar pula penurunan kadar CO<sub>2</sub> bebasnya. Pada proses biosorpsi yang menggunakan konsentrasi 9.25 ppm, kadar CO<sub>2</sub> bebas menunjukkan penurunan yang cukup signifikan dengan kadar CO<sub>2</sub> bebas pada hari ke-28 sebesar 1.9976 (mg CO<sub>2</sub>/Lt). Sedangkan pada konsentrasi 8 ppm sebesar 0.4495 (mg CO<sub>2</sub>/Lt), konsentrasi 6 ppm sebesar 0.1498 (mg CO<sub>2</sub>/Lt), konsentrasi 4 ppm sebesar 0.0999 (mg CO<sub>2</sub>/Lt), dan konsentrasi 2 ppm sebesar 0.0499 (mg CO<sub>2</sub>/Lt).



**Gambar 6. Kurva Pengaruh Konsentrasi Logam Kobalt (Co) terhadap Selisih Penurunan Kadar CO<sub>2</sub> Bebas**

**Tabel 3. Pengaruh Konsentrasi Kobalt (Co) terhadap Total Penurunan CO<sub>2</sub> bebas dan % Penurunan CO<sub>2</sub> bebas**

Konsentrasi Co (ppm)	Total Penurunan CO <sub>2</sub> bebas (mg CO <sub>2</sub> /Lt)	% Penurunan CO <sub>2</sub> bebas
2	3.596	98.631 %
4	6.492	98.485 %
6	9.289	98.412 %
8	11.636	96.281 %
9.25	11.237	84.906 %

Dari grafik dapat diketahui bahwa selisih penurunan kadar CO<sub>2</sub> bebas yang paling besar terdapat pada perlakuan konsentrasi 8 ppm yaitu sebesar 11.6360 (mg CO<sub>2</sub>/Lt). Sedangkan pada konsentrasi 9.25 ppm sebesar 11.2365 (mg CO<sub>2</sub>/Lt), konsentrasi 6 ppm sebesar 9.2888 (mg CO<sub>2</sub>/Lt), konsentrasi 4 ppm sebesar 6.4922 (mg CO<sub>2</sub>/Lt), dan konsentrasi 2 ppm sebesar 3.5957 (mg CO<sub>2</sub>/Lt).

Selisih penurunan kadar CO<sub>2</sub> bebas yang diperoleh untuk perlakuan konsentrasi 9.25 ppm dan 8 ppm menunjukkan nilai yang tidak berbeda jauh. Seharusnya untuk konsentrasi 9.25 ppm menghasilkan nilai penurunan kadar CO<sub>2</sub> bebas yang lebih tinggi, namun dalam penelitian ini pada hari ke-28 tanaman eceng gondok untuk perlakuan konsentrasi 9.25 ppm mulai menunjukkan kemampuan yang lebih rendah akibat kondisi tanaman yang mulai tampak layu. Hal ini kemungkinan berpengaruh terhadap proses fotosintesis tanaman yang membutuhkan CO<sub>2</sub>.

## 5. KESIMPULAN

1. Tanaman eceng gondok dapat menurunkan konsentrasi kobalt (Co) di dalam limbah *Purified Terephthalid Acid* (PTA).
2. Semakin lama waktu pemaparan mengakibatkan penurunan konsentrasi kobalt (Co) dalam limbah PTA semakin besar. Sisa konsentrasi kobalt (Co) dalam limbah sampai hari ke-28 sekitar 0.050-1.599 ppm, sebanding dengan kenaikan konsentrasi kobalt (Co) dalam tanaman eceng gondok yang berkisar antara 1.935-7.521 ppm.
3. Semakin lama waktu pemaparan berpengaruh pula terhadap penurunan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD). Lamanya waktu pemaparan sebanding dengan semakin besarnya penurunan kadar COD dalam limbah PTA, yaitu pada hari ke-28 kadar COD berkisar antara 20.34-73.39 mg/L.
4. Penurunan nilai CO<sub>2</sub> bebas yang dihasilkan pada hari ke-28 berkisar antara 0.05-1.998 mg/L.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Alaerts G, Santika SS. 1984. *Metode Penelitian Air*. Edisi Ke-2. Surabaya, Usaha Nasional.
2. American Public Health Association. 1992. *Standars Methods for the Examination of Wastewater*. Ed Ke – 18. Washington : APHA.
3. Baird C. 1995. *Enviromental Chemistry*. New York : W. H. Freeman.
4. Burden FR, Courtice FC, Ferguson DA, McIntyre AK, McLeod JG, Russel RW. 1981. *Health and Enviromental Lead in Australia*. Canberra : Australian Academy of Science.
5. Chosin A. 1977. *Kemampuan Genjer (Limnocharis flava) menyerap residu 2.4- D dan Paraquat*. Departemen PUTL, Bogor.
6. Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. UI - Press, Jakarta.

7. Faust SP, Aly OM. 1981. *Chemistry of Natural Water*. New York : Ann Arbor Science.
8. Hamidah. 1980. Pengaruh logam berat terhadap lingkungan. *Buletin Lingkungan* 5(2) : 15 – 19.
9. Heddy S, Kurniati M. 1986. *Prinsip – Prinsip Dasar Ekologi : suatu bahasan tentang kaidah ekologi dan penerapannya*. Jakarta : Raja Grafindo Persada.
10. Heyne K. 1987. *Tumbuhan Berguna Indonesia*. Ed. Ke – 3. BPPK Departemen Kehutanan.
11. Hidayat S. 1993. Peranan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes* (Mart) Solms) terhadap Peningkatan Kualitas Air Limbah. Disertasi. Fakultas Pascasarjana Program KPK UGM – Unibraw. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
12. Krisnayya NBR, Bedi SJ. 1986. An effects of automobile lead pollution on Casiatora and C. Occidentals, *Enviromental Pollut*, 40: 16-21.
13. Lepp MW. 1981. *Effect of Heavy Metal Pollution on Plant*. London : Appl. Science.
14. Lu FC. 1995. *Toksikologi Dasar*, Jakarta. UI – Press.
15. McCann Book. 1996. Non indigenous aguatic plants. [Online] [http://www.aquat1.ifas.ufl.edu/mcpln t Ir.html](http://www.aquat1.ifas.ufl.edu/mcpln%20t%20Ir.html). [12 Februari 2008].
16. Meyer E. 1990. *Chemistry of Hazardous Materials*. Ed. Ke – 2. New Jersey : Brdy Prentice Hall Career & Technology.
17. Ormord DP. 1984. Inpact of trace element pollution on Plant. Di dalam Michael Treshow (Penyunting) *Air Pollution and Plant Life*. London : JohnWilley and Sons.
18. Palar H. 1994. *Pencemaran Lingkungan dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta : Rineka Cipta.
19. Piotrowski JK, Coleman DO. 1980. *Enviromental Hazards of Heavy Metal : Summary Evalution of Lead, Cadnium, and Mercury*. WHO, Geneva.
20. Saeni MS. 1989. *Kimia Lingkungan*. Bogor : PAU Ilmu Hayat IPB.
21. Saeni MS. 1997. *Penentuan Tingkat Pencemaran Logam Berat Dengan Analisis Rambut*. Bogor : IPB.
22. Santa Fe Tropical Fish. 1999. *Nasturtium officinale, Watercress*. [Online]. [http://www.santafefish.com/na office.html](http://www.santafefish.com/na_office.html). [24 Februari 2008].
23. Stephanus JM. 1994. Watercress *Nasturtium Officinale* R. Br.<sup>1</sup> [Online]. <http://www.edis.ifas.ufl.edu.htm>. [24 February 2008].
24. Stevenson AE. 1986. Population, Resources, and Pollution. Di dalam G.F. Miller (Penyunting). *Enviromental Science: An Introduction*. California : Wodsworth.
25. Suratmo G. 1991. *Analisis Mengenai Dampak Lingkungan*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
26. Sumirwa S, Surtipanti S, Yatim S, Thamzil L. 1983. Penentuan Kandungan Logam Berat Hg, Pb, Cd, Ni, Zn, Cr, As, dan Th dalam Limbah Industri Daerah Jabotabek. *Majalah Batan*. 26:17-26.
27. Timbrell JA. 1989. *Introductionto Toxicology*. London: Taylor and Francis.
28. Trotter RT. 1990. The cultural of lead poisoning: A medical anthropologist's vrew of intervention in environmental lead exposure. *Toxicol. Abstr.* 14(9) : 5984-94.