

# PENGARUH WAKTU REAKSI DAN SUHU PADA PROSES OZONASI TERHADAP PENURUNAN WARNA, COD DAN BOD AIR LIMBAH INDUSTRI TEKSTIL

(EFFECT OF REACTION TIME AND TEMPERATURE IN OZONATION PROCESS TO REDUCE COLOUR, COD AND BOD FOR WASTE WATER FROM TEXTILE INDUSTRIES)

Emmy Ratnawati

Balai Besar Kimia dan Kemasan, Kementerian Perindustrian  
Jl. Balai Kimia No.1, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur

E-mail : [emmyratna.hs@gmail.com](mailto:emmyratna.hs@gmail.com)

Received 25 Maret 2011; revised 31 Maret 2011; accepted 11 April 2011

## ABSTRAK

Air limbah industri tekstil pada umumnya bersifat alkali, berbau, berwarna, panas dan mempunyai TSS, BOD dan COD yang tinggi. Oleh karena itu selain berwarna, air limbah industri tekstil mengandung bahan-bahan organik dan logam berat yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan. Proses ozonasi merupakan metode alternatif untuk mengolah air limbah industri tekstil terutama untuk menghilangkan warna dasar biru, hitam dan merah yang dengan pengolahan secara kimia dan biologi tidak maksimal dapat dihilangkan. Penelitian dengan proses ozonasi pada air limbah industri tekstil telah dilakukan dengan menggunakan alat ozon generator atau pembangkit ozon dengan sistem *corona discharge, flowrate* (jumlah aliran sumber gas O<sub>2</sub>) yang optimal sebesar 3 liter/menit, variabel suhu 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C dan 80°C dengan variabel waktu proses 0 menit, 15 menit, 30 menit, 45 menit dan 60 menit. Kondisi optimum proses ozonasi dicapai pada variabel suhu 50°C dan waktu proses 60 menit dengan hasil uji *effluent* untuk warna, dapat diturunkan dari 5640 mg/L PtCo menjadi 332 mg/L PtCo atau efisiensi sebesar 94,1%. Selain dapat menghilangkan warna, proses ozonasi dapat menurunkan nilai COD dan BOD air limbah dengan nilai COD dari 780 mg/L menjadi 210 mg/L atau penurunan (*removal*) sebesar 73,1% dan BOD dari 410 mg/L menjadi 108 mg/L atau penurunan (*removal*) sebesar 73,6%. Nilai ini masih diatas Baku Mutu Air Limbah yaitu COD 100 mg/L dan BOD 75 mg/L.

Kata kunci: Ozonasi, Waktu Reaksi, Suhu, Penurunan warna, Air limbah industri tekstil

## ABSTRACT

*Textile industry waste water normally alkaline, smell, colored, warm and high content of TSS, BOD and COD. Instead of colored, textile industry waste water content of organic material and dangerous heavy metals for human and environment. Ozonation process is an alternative method for textile waste water to remove the basic color of blue, black and red in which can not be maximal by chemical and biological treatment. Research on the textile industry waste water by ozonation had been done by ozone generator corona discharge system, flowrate on 3 litre/minutes, temperature variable 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C and 80°C with time process variable at 0, 15, 30, 45 and 60 minutes. The optimum ozonation process reach at temperature variable 50°C at 60 minutes with effluent result color decreasing from 5640 mg/L PtCo to 332 mg/L PtCo or at 94,1% efficiency. Instead of removing color, ozonation process can reduce COD and BOD waste water, COD from 780 mg/L to 210 mg/L or removal at 73,1%, and BOD from 410 mg/L to 108 mg/L or removal at 73,6 %. This value is still over than waste water standard requirement i.e COD 100 mg/L and BOD 75 mg/L.*

Key words : Ozonation, Reaction time, Color decreasing, Textile industry waste water

## PENDAHULUAN

Kemajuan industri yang sangat pesat akan berdampak pada limbah industri yang semakin bertambah baik jumlah maupun

volumenya. Akibatnya limbah yang dibuang ke lingkungan akan semakin berat, di pihak lain kemampuan alam untuk menerima beban limbah

terbatas sehingga bisa dipastikan bahwa *self purification* oleh alam saat ini telah terlampaui. Terdapat berbagai jenis limbah industri, tergantung pada bahan baku dan bahan penolong serta proses produksi yang digunakan. Oleh karena itu masing-masing industri memerlukan pemecahan masalah tersendiri untuk dapat mencapai baku mutu air limbah yang ditetapkan.

Industri tekstil merupakan industri yang dalam prosesnya menggunakan air dalam jumlah yang sangat banyak. Air limbah industri tekstil pada umumnya bersifat alkali, berbau, berwarna, panas dan mempunyai *TSS*, *BOD* dan *COD* yang tinggi. Oleh karena itu selain berwarna, air limbah industri tekstil mengandung bahan-bahan organik dan logam berat yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan.

Pada umumnya pengolahan air limbah industri tekstil yang banyak dilakukan adalah pengolahan secara koagulasi, sedimentasi dengan menggunakan bahan kimia serta proses biologi aerob. Proses biologi ini memerlukan waktu yang relatif lama karena melibatkan reaksi biokimia bertahap yang merupakan hasil metabolisme mikroorganisme dan lumpur aktif. Pengolahan air limbah dengan proses kimia dan biologi tersebut belum memberikan hasil yang maksimal terutama untuk penurunan warna. Pada beberapa industri yang telah melakukan pengolahan air limbah mengalami kesulitan dalam proses penurunan warna terutama untuk warna dasar merah, biru dan hitam. Untuk mengatasi masalah ini perlu metode alternatif yang lebih efisien dalam mengolah air limbah industri tekstil yaitu dengan proses ozonasi.

Proses ozonasi merupakan proses oksidasi lanjutan yang menggunakan radikal hidroksil (OH). Proses ozonasi ini biasa digunakan dalam pengolahan air minum disamping untuk mengolah air limbah. Selain ozon (O<sub>3</sub>) bahan lain yang digunakan dalam proses oksidasi lanjutan adalah hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), ultraviolet (UV), dan *Photocatalytic* (UV /Katalis TiO<sub>2</sub>). Pada pengolahan air limbah industri, proses oksidasi lanjutan dapat menghilangkan sianida, pestisida, senyawa halogen, kloroform, tetrakloroetien, bromokloro-metana, *anthrazine*, *simazine*, *Methyl Tertiary Buthyl Ether (MTBE)*, *N – nitroso Di Methyl Amine (NDMA)*, menurunkan *BOD* dan *COD*. Penerapan oksidasi lanjutan pada pencemaran udara dapat menghilangkan bau, *Volatile Organic Matter (VOC)*, NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub>, sedangkan pada pengolahan limbah padat

(*sludge*) oksidasi lanjutan dapat menguraikan kandungan organik dalam *sludge* dan tanah.

Proses ozonasi ini lebih efisien dibandingkan dengan proses kimia dan biologi karena dapat mengurangi jumlah *sludge* yang terbentuk oleh penggunaan bahan kimia yang banyak, dapat membunuh organisme karena pada proses ozonasi digunakan zat yang bersifat desinfektan sehingga mikroorganisme tidak dapat hidup, menghemat lahan karena proses ozonasi hanya memerlukan reaktor ozonator dan kompresor, hemat energi karena memerlukan energi yang cukup kecil dan air limbah yang telah diolah (*effluent*) memungkinkan untuk digunakan kembali (*reuse*) untuk proses produksi.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan metode alternatif pengolahan air limbah industri tekstil terutama untuk menghilangkan warna dengan cara memutus ikatan *chromophor* (ikatan warna) sehingga menjadi CO<sub>2</sub> dan air, menurunkan kadar *COD* dan *BOD* dengan cara penguraian senyawa organik dengan radikal hidroksil dan menghilangkan bau dengan memutus ikatan aromatik dengan variabel waktu ozonasi dan suhu.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air limbah industri tekstil di Jababeka, indikator pH, oksigen, pereaksi untuk uji *COD* dan *BOD*. Alat-alat yang digunakan antara lain :

- Ozone generator tipe *corona discharge*, merupakan pembangkit ozon dengan sistem *corona discharge*.
- Kontaktor ozon dan *diffuser*nya.
- Filter udara, berfungsi untuk menghilangkan kadar air dalam gas sehingga tidak merusak ozon generator.
- *Flowmeter* untuk mengetahui jumlah aliran ozon dengan satuan liter per menit.
- Selang sebagai penghubung antara sumber udara, ozon generator, *flowmeter* dan *diffuser*.
- Reaktor limbah kapasitas 100 liter.
- Pompa dan pipa *ventury*, berfungsi untuk aliran *recycle* limbah dan *recycle* ozon apabila terlepas ke udara.
- Tabung oksigen dan regulatornya.
- Termometer, spektrofotometer, pH meter, peralatan gelas dan peralatan pengujian untuk *COD* dan *BOD*.

## Metode

Uji yang dilakukan terhadap air limbah industri tekstil meliputi pH, COD, BOD dan warna. Regulator tabung oksigen diatur pada tekanan sebesar 2 kg/cm<sup>2</sup>. Flowrate juga diatur untuk mendapatkan flowrate yang optimal dengan melakukan percobaan pada flowrate 1 liter/menit, 3 liter/menit dan 5 liter/menit selama 0 sampai 6 jam.

Kedalam air limbah sebanyak 100 liter diallirkan ozon dengan flowrate (jumlah aliran sumber gas O<sub>2</sub>) sebesar flowrate efektif yang diperoleh dari percobaan sebelumnya, kemudian dilakukan proses ozonasi sesuai dengan variabel yang telah ditentukan yaitu suhu 30 °C, 40 °C, 50°C, 60 °C, 70 °C dan 80 °C, waktu 0 menit, 15 menit, 30 menit, 45 menit dan 60 menit, sedangkan untuk pH adalah pH asli air limbah yaitu sebesar 7,42. Tahap selanjutnya adalah mencari pengaruh waktu reaksi proses ozonasi terhadap perubahan konsentrasi warna untuk suhu yang berbeda dan menghitung efisiensi penurunan warna untuk mendapatkan kondisi optimum untuk waktu reaksi dan suhu setelah diuji konsentrasi warnanya dengan menggunakan spektrofotometer.

Setelah diketahui kondisi optimum untuk waktu reaksi dan suhu dilakukan pengujian terhadap nilai COD, BOD dan pH dari air limbah yang telah diolah dengan proses ozonasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penentuan Flowrate (jumlah aliran sumber gas O<sub>2</sub>) yang Optimal

Tahap pertama perlu dicari kondisi optimal untuk jumlah output ozon yang tepat untuk konsentrasi yang optimal. Percobaan penentuan flowrate (jumlah aliran sumber gas O<sub>2</sub>) dilakukan pada flowrate 1 liter/menit, 3 liter/menit dan 5 liter/menit selama 0 sampai 6 jam. Kondisi tekanan tabung oksigen sebesar 2 kg/cm<sup>2</sup>, volume air limbah 100 liter pada suhu kamar (27 °C).

Hasil percobaan penentuan flowrate (jumlah aliran sumber gas O<sub>2</sub>) dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 1.

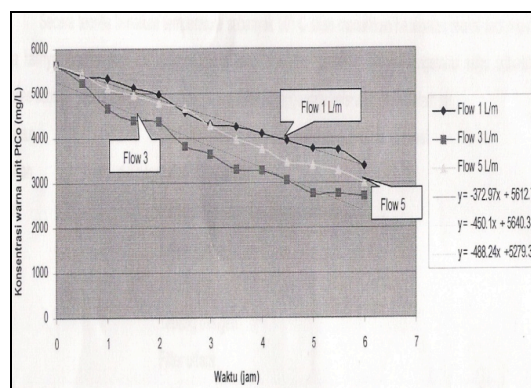
### Pengaruh Flowrate terhadap Penurunan Warna Air Limbah setelah Proses Ozonasi selama 0 sampai 6 jam

Dari Tabel 1, 2 dan Gambar 1 dapat dilihat bahwa flowrate (jumlah aliran gas O<sub>2</sub>) yang optimal adalah pada flowrate 3 liter/ menit yaitu dengan efisiensi sebesar 52%, sementara efisiensi untuk flowrate 1 liter/ menit sebesar

34% dan untuk flowrate 5 liter/menit sebesar 47%. Oleh karena itu untuk penelitian selanjutnya menggunakan flowrate optimal sebesar 3 liter/ menit.

Tabel 1. Penentuan flowrate (jumlah aliran sumber gas O<sub>2</sub>) optimal berdasarkan penurunan warna air limbah pada proses ozonasi 0 jam sampai 6 jam

| Waktu ozonasi (jam) | Konsentrasi warna pada flow 1 L/mnt (PtCo) | Konsentrasi warna pada flow 3 L/mnt (PtCo) | Konsentrasi warna pada flow 5 L/mnt (PtCo) |
|---------------------|--|--|--|
| 0                   | 5640                                       | 5640                                       | 5640                                       |
| 0,5                 | 5380                                       | 5240                                       | 5440                                       |
| 1,0                 | 5320                                       | 4660                                       | 5120                                       |
| 1,5                 | 5130                                       | 4400                                       | 4980                                       |
| 2,0                 | 4980                                       | 4350                                       | 4790                                       |
| 2,5                 | 4570                                       | 3830                                       | 4670                                       |
| 3,0                 | 4300                                       | 3630                                       | 4280                                       |
| 3,5                 | 4230                                       | 3300                                       | 3870                                       |
| 4,0                 | 4100                                       | 3280                                       | 3770                                       |
| 4,5                 | 3940                                       | 3050                                       | 3450                                       |
| 5,0                 | 3750                                       | 2770                                       | 3380                                       |
| 5,5                 | 3730                                       | 2750                                       | 3280                                       |
| 6,0                 | 3350                                       | 2490                                       | 2990                                       |



Gambar 1. Pengaruh flowrate terhadap grafik penurunan warna air limbah setelah proses ozonasi selama 0 sampai 6 jam pada beberapa flowrate yang berbeda

### Pengaruh waktu reaksi dan suhu terhadap perubahan konsentrasi warna pada proses ozonasi

Pengolahan air limbah yang berdasarkan reaksi kimia akan berlangsung dengan baik apabila kondisi proses kondusif untuk berlangsungnya proses tersebut.

Tabel 2. Efisiensi penurunan warna pada beberapa flowrate setelah proses ozonasi selama 6 jam

| Parameter          | Efisiensi penurunan warna setelah ozonasi 6 jam (%) |
|--------------------|---|
| Flowrate 1 L/jam   | 34  |
| Flowrate 3 L./ jam | 52  |
| Flowrate 5 L./ jam | 47  |

Menurut Hawley (1985) dalam *Condensed Chemical Dictionary* kondisi proses tersebut adalah suhu, waktu /lama reaksi, pH dan kelarutan. Untuk pH ditunjukkan bahwa ozon mampu bekerja pada pH 2 sampai 12. Oleh karena itu pada penelitian ini pH tidak dibuat variabel dan menggunakan pH asli air limbah yaitu sebesar 7,42. Hal ini dilakukan untuk mengurangi penggunaan bahan kimia yang ditambahkan untuk mengatur pH.

Berdasarkan sifat fisiknya kelarutan ozon dalam air limbah dipengaruhi oleh suhu air limbah tersebut. Kelarutan ozon yang lebih besar dalam air limbah secara otomatis akan meningkatkan konsentrasi-nya sehingga kemampuan oksidasinya akan semakin meningkat. Air limbah industri tekstil yang baru keluar dari proses produksi pada umumnya mempunyai suhu sekitar 60°C hingga 80°C, karena air limbah tersebut berasal dari proses pencelupan warna dan proses pencucian yang memerlukan suhu tinggi.

Suhu mempunyai peranan yang penting dalam pengolahan air limbah industri tekstil. Pada pengolahan air limbah secara kimia fisika dan biologi pertama kali dilakukan penurunan suhu hingga mencapai 30°C, baru dilakukan proses pengolahan. Pada penelitian pengolahan air limbah industri tekstil secara ozonasi ini juga dilakukan proses ozonasi dengan berbagai variabel suhu untuk mendapatkan suhu yang optimum.

Hasil analisa air limbah industri tekstil adalah pH awal sebesar 7,42, COD 1250 mg/L dan warna sebesar 5640 mg/L PtCo.

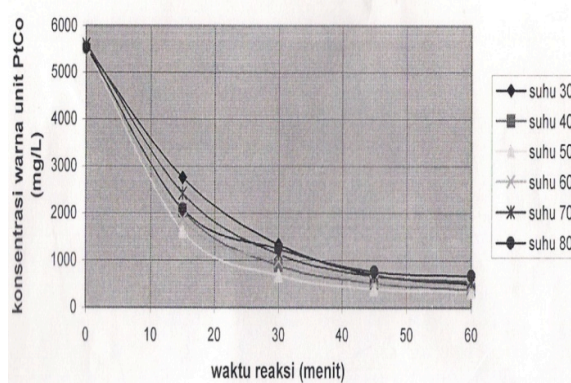
Dari hasil percobaan pengaruh waktu proses ozonasi 0 menit, 15 menit, 30 menit, 45 menit, dan 60 menit terhadap perubahan konsentrasi warna air limbah dengan variabel suhu 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C dan 80°C terjadi penurunan warna air limbah seperti dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 2.

Pada Tabel 3 dan Gambar 2 dan Tabel 4 dapat dilihat adanya pengaruh suhu terhadap

penurunan warna pada proses ozonasi air limbah industri tekstil.

Tabel 3. Hasil analisa warna dari proses ozonasi air limbah dengan variabel waktu reaksi dan suhu yang berbeda.

| Menit | Warna air limbah setelah proses ozonasi (mg/L PtCo) |      |      |      |      |      |
|-------|---|------|------|------|------|------|
|       | 30°C  | 40°C | 50°C | 60°C | 70°C | 80°C |
| 0     | 5640  | 5640 | 5640 | 5640 | 5640 | 5640 |
| 15    | 2750  | 2050 | 1620 | 1860 | 2415 | 2090 |
| 30    | 1340  | 900  | 685  | 985  | 1135 | 1245 |
| 45    | 693   | 524  | 397  | 553  | 670  | 760  |
| 60    | 492   | 379  | 332  | 454  | 555  | 670  |



Gambar 2. Grafik perubahan konsentrasi warna untuk waktu reaksi proses ozonasi dan suhu yang berbeda.

Tabel 4. Data efisiensi penurunan warna setelah proses ozonasi selama 60 menit pada suhu yang berbeda (30°C – 80°C)

| Suhu (°C) | Warna awal (mg/L Pt Co) | Warna setelah 1 jam (mg/L Pt Co) | Efisiensi (%) |
|-----------|-------------------------|----------------------------------|---------------|
| 30        | 5640                    | 492                              | 91,2          |
| 40        | 5640                    | 379                              | 93,2          |
| 50        | 5640                    | 332                              | 94,1          |
| 60        | 5640                    | 454                              | 91,9          |
| 70        | 5640                    | 555                              | 90,1          |
| 80        | 5640                    | 670                              | 88,1          |

Pada suhu 30°C dengan waktu reaksi 60 menit terjadi penurunan warna dari 5640 mg/L PtCo menjadi 492 mg/L PtCo dengan efisiensi penurunan warna sebesar 91%. Pada suhu 40°C dengan waktu reaksi 60 menit terjadi penurunan warna dari 5640 mg/L PtCo menjadi 379 mg/L PtCo dengan efisiensi penurunan warna sebesar 93%. Pada suhu 50°C dengan waktu reaksi 60 menit terjadi penurunan warna dari 5640 mg/L PtCo menjadi 332 mg/L

PtCo dengan efisiensi penurunan warna sebesar 94%. Pada suhu 60°C dengan waktu reaksi 60 menit terjadi kenaikan warna dibandingkan dengan ozonasi pada suhu 50°C, yaitu dari 5640 mg/L PtCo menjadi 454 mg/L PtCo dengan efisiensi 92%. Pada suhu 70°C dengan waktu reaksi 60 menit terjadi kenaikan warna dibandingkan dengan ozonasi pada suhu 60°C dari 5640 mg/L PtCo menjadi 555 mg/L PtCo dengan efisiensi 90%.

Pada suhu 80°C dengan waktu reaksi 60°C terjadi kenaikan warna dibandingkan dengan ozonasi pada suhu 70°C yaitu dari 5640 mg/L PtCo menjadi 670 mg/L PtCo dengan efisiensi 88%. Hal ini disebabkan oleh zat warna yang terurai kembali pada suhu 60°C, 70°C dan 80°C. Oleh karena itu suhu optimum pada proses ozonasi adalah suhu 50°C dengan waktu reaksi 60 menit dengan efisiensi penurunan warna sebesar 94%. Dengan kondisi optimum ini maka air limbah yang akan diolah memerlukan penurunan suhu 10°C sampai 30°C apabila air limbah yang keluar dari proses produksi bersuhu antara 60°C hingga 80°C.

**Pengaruh suhu setelah proses ozonasi 60 menit (1 jam) terhadap perubahan nilai COD dan BOD.**

Setelah melalui proses ozonasi selama 60 menit, air limbah yang telah diolah diuji nilai COD dan BOD nya pada suhu 30°C sampai 80°C, seperti dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji COD dan BOD setelah proses ozonasi selama 60 menit.

| Parameter  | Awal (suhu 70°C, 0 menit) | Setelah proses ozonasi selama 60 menit |     |     |     |     |     |
|------------|---------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|
|            |                           | Suhu (°C)                              |     |     |     |     |     |
|            |                           | 30                                     | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  |
| COD (mg/L) | 780                       | 651                                    | 415 | 210 | 370 | 410 | 420 |
| BOD (mg/L) | 410                       | 350                                    | 220 | 108 | 180 | 255 | 370 |

Dari Tabel 5 untuk uji COD dan BOD setelah dilakukan proses ozonasi terhadap air limbah selama 60 menit atau 1 jam terjadi penurunan nilai COD dan BOD yang optimal pada suhu ozonasi 50°C yaitu sebesar 210 mg/L untuk COD dan 108 mg/L untuk BOD, yang mana nilai ini masih diatas Baku Mutu Limbah Cair yang ditetapkan sesuai KEPMENLH No 51 tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair untuk Kegiatan Industri yaitu COD sebesar 100 mg/L dan BOD sebesar 75 mg/L, sedang-

kan untuk warna tidak ada dalam Baku Mutu tetapi secara visual *effluent* hasil proses ozonasi sudah tidak berwarna.

Nilai pH setelah proses ozonasi pada kondisi optimal tersebut adalah sebesar 7,88, sedikit mengalami kenaikan dari pH awal sebesar 7,42 sehingga tidak perlu dilakukan *re-netralisasi*. Kenaikan nilai pH ini disebabkan terbentuknya radikal OH dalam setiap reaksi ozon yang berlangsung.

**KESIMPULAN**

Proses ozonasi dapat menghilangkan warna yang terlarut dalam air limbah industri tekstil seperti warna merah, biru atau hitam yang tidak dapat dihilangkan apabila menggunakan proses pengolahan secara kimia dan biologi. Kondisi optimum proses ozonasi terjadi pada suhu 50°C selama 60 menit yang dapat menurunkan warna air limbah dari 5640 mg/L PtCo menjadi 332 mg/L PtCo atau efisiensi sebesar 94,1%. Selain dapat menghilangkan warna, proses ozonasi dapat menurunkan nilai COD dan BOD air limbah setelah melalui proses ozonasi optimum pada suhu 50°C, selama 60 menit dengan nilai COD dari 780 mg/L menjadi 210 mg/L atau penurunan (*removal*) sebesar 73,1% dan BOD dari 410 mg/L menjadi 108 mg/L atau penurunan (*removal*) sebesar 73,6%. Nilai ini masih diatas Baku Mutu Air Limbah yaitu COD 100 mg/L dan BOD 75 mg/L, yang dapat dicapai setelah dilakukan pengolahan lanjutan seperti aerasi.

**DAFTAR PUSTAKA**

Anto, T.S. 2007. *Sistem kompak pengolahan air limbah dengan metode AOP menggunakan teknologi plasma bedah teknis*. Kementerian Lingkungan Hidup.

Bowman, R.H. 2003. Ozone – peroxide advanced oxidation, water treatment system for treatment of chlorinated solvent and 1,4 dioxane. *Applied process technology*.

Brandhuber, P. 2006. Detecting hydrogen peroxide concentration in advanced oxidation treatment process. *Waterscapes* 17 (1). Canada.

Gessner, G.H. 1985. *The condensed chemical dictionary* 10<sup>th</sup> edition, Mc Graw Hill.

Jerome, M. 1991. *Water treatment handbook* 6<sup>th</sup> edition, Vol. 1. Degreemont France.

- Kirk, B.E. and D.R. Othmer. 1964. Ozone. *encyclopedia of chemical technology* IV. New York: Interscience Encyclopedia Inc.
- Kobayashi, N. 2003. Advanced oxidation process for wastewater treatment, *nippon kika kankyo kogaku sogo shipujiumu koen kunbunshu Vol. 9*, Japan.
- Lewis, S.R.J. 2001. *Hewley's condensed chemical dictionary*, 14<sup>th</sup> Edition. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Lund, H.F. 2001. *Recycling hand book*, 2<sup>nd</sup> Edition, USA: Mc. Graw Hill.
- McCabe, W., J. Smith, and P. Harriott. 1993. *Unit operation of chemical engineering* 5<sup>th</sup> edition. Singapore: Mc.Graw Hill.
- Metcalf and Eddy. 1991. *Wastewater engineering treatment, disposal, reuse* 3<sup>rd</sup> edition. USA: Mac Graw Hill.
- Smith, L., J. Means, and E. Barth. 1995. *Recycling and reuse of industrial wastes*. USA: Battelle Memorial Institute.