



## PENGOLAHAN LOGAM FE DAN MN DALAM AIR DENGAN METODE OZONASI (O<sub>3</sub>) DAN ADSORPSI (STUDI KASUS : DANAU BEKAS TAMBANG DI KEPULAUAN BANGKA BELITUNG)

Novarida Hidayanti<sup>\*</sup>, Arya Rezagama<sup>\*\*</sup>, Veny Luvita<sup>\*\*</sup>)

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

email : [novaridahidayanti@yahoo.com](mailto:novaridahidayanti@yahoo.com)

### Abstrak

Terbentuknya lubang bekas galian tambang yang berisi air menyerupai danau atau yang biasanya disebut "kolong". Kolong-kolong air bekas tambang mempengaruhi penurunan kualitas air sehingga diperlukan pengolahan. Pengolahan air kolong dapat dilakukan secara kimia dengan menggunakan Metode ozonasi dan adsorpsi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi pengolahan air kolong muda dan air kolong tua yang terkontaminasi logam Fe dan Mn dengan menggunakan Metode ozonasi dan adsorpsi. Konsentrasi ozon dapat dihasilkan dari sumber gas berupa oksigen yang diinjeksikan ke dalam generator ozon. Konsentrasi ozon yang digunakan adalah 24 ppm dengan variasi waktu pengolahan 30 menit selama 2 jam. Variasi sampel yang digunakan adalah 5 sampel air kolong yang terdiri dari 3 kolong muda dan 2 kolong tua. Sedangkan proses adsorpsi menggunakan karbon aktif sebesar 700 gram dengan ukuran partikel 3 mm. Proses adsorpsi bertujuan untuk menyerap ion hidrogen dan logam hasil proses ozonasi dan menaikkan pH tanpa bahan kimia. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi penyisihan Fe dan Mn terbaik dengan proses ozonasi dan adsorpsi untuk air kolong muda sebesar 94,04% dan 99,64%. Sedangkan efisiensi penyisihan Fe terbaik dengan proses ozonasi dan adsorpsi untuk air kolong tua sebesar 82,33%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengolahan air kolong dengan menggunakan Metode ozonasi dan adsorpsi dapat bekerja secara efektif dalam menyisihkan logam Fe dan Mn pada air kolong.

**Kata Kunci:** Ozonasi, Adsorpsi, Dosis Ozon, Fe, Mn, "Kolong"

### Abstract

**(Metal Processing Fe and Mn in Water Using Methods Ozonation (O<sub>3</sub>) and Adsorption (Case Study : Lake Pit Mine in Bangka Belitung Islands)** An excavated pit mine that made a form which is containing water resembling a lake or commonly called "Kolong". A pit lake affects water quality degradation, it means that a pit need using treatments. Water treatment can be performed chemically by using ozonation (O<sub>3</sub>) and adsorption methods. This study aims to determine the efficiency of water treatment that contaminated Fe and Mn by using ozonation (O<sub>3</sub>) and adsorption. The concentration of ozone can be produced from the gas source in the form of oxygen that is injected into the ozone generator. Ozone concentration used 24 ppm with variations of treatment time 30 minutes for 2 hours. Variations sample used 5 water samples kolong consist of 3 young kolong and 2 old kolong. While the filtration process uses activated carbon of 700 grams with a size of 3 mm particle media. Adsorption process aims to absorb hydrogen ion and metals and raise the pH without chemicals. The results showed the best removal efficiency of Fe and Mn with ozonation and adsorption for young kolong by 94,04% and 99,64%. Meanwhile the best Fe removal efficiency old kolong of 82,33%. It can be concluded that treatment kolong using ozonation (O<sub>3</sub>) and adsorption methods can work effectively in eliminated metals Fe and Mn in kolong.

**Keywords:** Ozonation, Adsorption, Ozone Dose, Fe, Mn, "Kolong"

## PENDAHULUAN

Penelitian Henny (2010) menyebutkan penambangan timah di Kepulauan Bangka Belitung mengakibatkan terbentuknya lubang bekas galian tambang yang berisi air menyerupai danau-danau kecil yang disebut “kolong”. Akibat berbagai aktivitas di sekitar danau bekas tambang (kolong), unsur pencemar masuk ke dalam kolong mempengaruhi penurunan kualitas air kolong. Sehingga menyebabkan potensi logam berat yang terkandung di dalam kolong. Maka untuk konsumsi masyarakat sekitar agar menjadi air layak pakai perlu ada pengolahan air kolong tersebut untuk mengeliminasi kandungan logam pencemar lain. Air kolong muda dan tua mempunyai karakteristik yang berbeda baik dari sisi kandungan logam maupun pencemar lainnya. Berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air Kandungan Fe dan Mn maksimum yang diperbolehkan masing-masing adalah sebesar 0,3 mg/L dan 1 mg/L. Salah satu penelitian yang diduga dapat menghilangkan kandungan Fe yang bersenyawa dengan zat organik di dalam air adalah dengan ozonasi dan adsorpsi. Dari latar belakang di atas dapat dirumuskan beberapa permasalahan meliputi: (1) Bagaimana karakteristik awal air danau bekas tambang (kolong) muda dan tua di Kepulauan Bangka Belitung yang terkontaminasi logam berat Fe

dan Mn yang akan diolah? (2) Bagaimana analisis hasil pengolahan dan efisiensi pengolahan air kolong muda dan tua yang terkontaminasi logam berat Fe dan Mn dengan menggunakan metode Ozonasi ( $O_3$ ) dan adsorpsi? Batasan masalah dalam penelitian ini adalah objek penelitian yang digunakan adalah danau bekas tambang (kolong) muda dan tua di Kepulauan Bangka Belitung, menggunakan metode Ozonasi ( $O_3$ ) dan adsorpsi.

## METODOLOGI PENELITIAN

Jenis penelitian ini dengan skala eksperimental laboratorium. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan rangkaian ozonasi ( $O_3$ ) dan adsorpsi. Bahan baku dalam penelitian ini adalah air danau bekas tambang (kolong) muda dan tua di Kepulauan Bangka Belitung yang terkontaminasi logam berat Besi Fe dan Mn dan karbon aktif. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengolahan Air Pusat Penelitian Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Kompleks Puspiptek Serpong-Tangerang Selatan dan analisa Fe dan Mn dilakukan di Laboratorium Balai Teknologi Lingkungan (BTL) BPPT, Kompleks Puspiptek Serpong-Tangerang Selatan.



**Gambar 3.1 Peta Sampling Air Kolong Muda dan Tua**  
(Sumber: Google Earth, 2015)

Variabel penelitian terdiri dari : (1) Variabel bebas : variasi waktu proses pengolahan (30, 60, 90, dan 120 menit).

(2) Variabel Terikat : kandungan logam berat Fe dan Mn. (3) Variabel Kontrol

:dosis ozon ( $O_3$ ) 24 ppm, arus listrik 1,2 A, dan tegangan 222 V.

Pengumpulan data: (1) Data primer : Metode Observasi dengan cara pengamatan langsung terhadap suatu objek. Data hasil eksperimen analisis. Dan

metode Dokumentasi dengan data yang diperoleh berupa foto-foto ataupun video bukti penelitian. (2) Data sekunder : adalah data yang diperoleh dari literatur.



**Gambar 3.2 Rangkaian Unit Ozonasi dan Adsorpsi Skala Laboratorium**  
(Sumber: Puslit KIM LIPI, 2015)

Tahapan penelitian: (1) tahap persiapan dilakukan identifikasi masalah yang ada di danau bekas tambang di Kepulauan Bangka Belitung, studi literatur dan jurnal mengenai Ozonasi ( $O_3$ ) dan adsorpsi untuk dijadikan pedoman dalam penelitian, penyusunan dan pengajuan proposal, persiapan alat dan bahan. (2) Tahap Pelaksanaan dilakukan pengolahan air danau bekas tambang di Kepulauan Bangka Belitung dengan Ozonasi ( $O_3$ ) dan adsorpsi untuk parameter Fe dan Mn. (3)

Tahap Analisis Data dilakukan hasil penelitian dianalisis untuk Fe dengan SNI 6989.4-2009 dan Mn dengan SNI 6989.5-2009, kemudian data yang sudah dianalisis disusun dalam bentuk laporan.

#### ANALISA DAN PEMBAHASAN

Data hasil uji karakteristik awal sampel air kolong muda dapat dilihat berdasarkan parameter yang diukur dan baku mutu maksimum pencemaran air dapat dilihat pada tabel 4.1 sebagai berikut:

**Tabel 4.1**  
**Data Hasil Uji Karakteristik Awal Sampel Air Kolong Muda**

| No | Sampel   | Parameter yang Diukur |            |           |           | Baku Mutu                                                   |
|----|----------|-----------------------|------------|-----------|-----------|-------------------------------------------------------------|
|    |          | pH                    | COD (mg/L) | Fe (mg/L) | Mn (mg/L) |                                                             |
| 1. | Manggar  | 3,32                  | 11         | 0,56      | 0,6       | pH = 6 - 9<br>COD = 10 mg/L<br>Fe = 0,3 mg/L<br>Mn = 1 mg/L |
| 2. | Damar    | 2,71                  | 135        | 16,1      | 25        |                                                             |
| 3. | Merawang | 3,16                  | 1          | 1,5795    | 0,3404    |                                                             |

Dari tabel 4.1 dapat dilihat kondisi karakteristik awal Air kolong muda parameter pH cenderung memiliki pH yang asam/rendah, parameter COD, Fe dan Mn untuk air kolong Manggar dan air kolong Damar masih belum memenuhi

baku mutu baku mutu PP No 82 Tahun 2001.

Data hasil uji karakteristik awal sampel air kolong tua dapat dilihat berdasarkan parameter yang diukur dan baku mutu

maksimum pencemaran air dapat dilihat pada tabel 4.2 sebagai berikut:

**Tabel 4.2**  
**Data Hasil Uji Karakteristik Awal Sampel Air Kolong Tua**

| No | Sampel      | Parameter yang Diukur |            |           |           | Baku Mutu                                                 |
|----|-------------|-----------------------|------------|-----------|-----------|-----------------------------------------------------------|
|    |             | pH                    | COD (mg/L) | Fe (mg/L) | Mn (mg/L) |                                                           |
| 1. | Bacang      | 6,93                  | 6          | 0,4321    | 0,004     | pH = 6-9<br>COD = 10 mg/L<br>Fe = 0,3 mg/L<br>Mn = 1 mg/L |
| 2. | Menjelang 1 | 6,1                   | 76,3       | 0,3606    | 0,004     |                                                           |

Dari tabel 4.2 dapat dilihat pada kondisi karakteristik awal air kolong tua parameter pH telah memenuhi baku mutu pH yang normal, parameter COD dan Fe masih belum memenuhi baku mutu dan cenderung lebih rendah dibandingkan Fe pada air kolong muda dan parameter Mn

telah memenuhi baku mutu PP No 82 Tahun 2001.

Hasil penelitian kualitas akhir air kolong muda untuk variasi waktu pengolahan terhadap penurunan parameter Fe dan Mn pada proses pengolahan ozonisasi dan adsorpsi dapat dilihat pada tabel 4.3 sebagai berikut:

**Tabel 4.3**  
**Variasi Waktu Pengolahan Terhadap Nilai Konsentrasi Fe dan Mn pada Air Kolong Muda**

| No. | Sampel   | Waktu (menit)  | Parameter |           | Parameter |        |
|-----|----------|----------------|-----------|-----------|-----------|--------|
|     |          |                | Fe (mg/L) | Mn (mg/L) | Fe (%)    | Mn (%) |
| 1.  | Manggar  | 0              | 0,56      | 0,06      | -         | -      |
|     |          | 30             | 0,3393    | 0,1938    | 36,41     | 67,70  |
|     |          | 60             | 0,4428    | 0,1953    | 20,94     | 67,45  |
|     |          | 90             | 0,4960    | 0,1959    | 11,43     | 67,35  |
|     |          | 120            | 0,5246    | 0,1914    | 6,33      | 68,1   |
|     |          | 120 + Adsorpsi | 0,3077    | 0,0714    | 45,06     | 88,1   |
| 2.  | Damar    | 0              | 16,1      | 25        | -         | -      |
|     |          | 30             | 10,1121   | 0,5210    | 37,19     | 97,92  |
|     |          | 60             | 10,4933   | 0,5628    | 34,82     | 97,75  |
|     |          | 90             | 11,2713   | 0,8429    | 29,99     | 96,63  |
|     |          | 120            | 12,0893   | 1,0166    | 24,91     | 95,93  |
|     |          | 120 + Adsorpsi | 0,9598    | 0,0904    | 94,04     | 99,64  |
| 3.  | Merawang | 0              | 1,5795    | 0,4480    | -         | -      |
|     |          | 30             | 0,3756    | 0,2025    | 76,22     | 54,81  |
|     |          | 60             | 0,3872    | 0,3404    | 75,49     | 24,02  |
|     |          | 90             | 0,3640    | 0,3640    | 76,95     | 18,75  |
|     |          | 120            | 0,4018    | 0,3354    | 74,56     | 25,15  |
|     |          | 120 + Adsorpsi | 0,2043    | 0,0496    | 87,07     | 88,94  |

Berdasarkan tabel 4.3 dapat dilihat bahwa penyisihan konsentrasi Fe untuk air kolong

muda yang terbaik pada saat menit 120 + Adsorpsi yaitu untuk air kolong Manggar



sebesar 0,3077 mg/L, air kolong Damar sebesar 0,9598 mg/L dan air kolong Merawang sebesar 0,2043 mg/L. Air kolong Manggar dan Damar masih belum memenuhi baku mutu PP No 82 Tahun 2001 dengan kadar Fe yaitu sebesar 0,3 mg/L dikarenakan tingginya kandungan awal Fe di dalam air kolong, sehingga agak sulit untuk menurunkan konsentrasi Fe air kolong tersebut. Sedangkan penyisihan konsentrasi Mn yang terbaik untuk air kolong muda pada saat menit 120 + Adsorpsi yaitu untuk air kolong Manggar sebesar 0,0714 mg/L, air kolong Damar sebesar 0,0904 mg/L dan air kolong Merawang sebesar 0,0496 mg/L. Ketiga air kolong tersebut sudah memenuhi baku mutu PP No 82 Tahun 2001 dengan kadar Mn yaitu 1 mg/L.

Konsentrasi Fe dan Mn mengalami fluktuasi diduga ada senyawa yang berikatan dengan senyawa amfoter. Disebut amfoter karena dapat berlaku sebagai asam dan juga dapat berlaku sebagai basa tergantung pada kondisi atau larutan yang direaksikan dengannya. Dalam asam yang lebih kuat oksida amfoter bertindak sebagai basa, begitu sebaliknya bereaksi dengan zat yang lebih basa oksida amfoter bertindak sebagai asam (Seran, L.E., 2011) sehingga mempengaruhi konsentrasi Fe dan Mn di dalam air kolong muda. Senyawa amfoter yang ada di air kolong yaitu bikarbonat.

Berdasarkan penelitian Snoeyink, V.L dan D.Jenkins (1980) pH asam menghasilkan  $\text{CO}_2$ , dimana  $\text{CO}_2$  bereaksi dengan air menghasilkan asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Asam karbonat ini menghasilkan ion hidrogen dan ion bikarbonat dan karbonat. Peningkatan konsentrasi Fe dan Mn ini dikarenakan ada ion bikarbonat dan karbonat berperan sebagai inhibitor. Karbonat dan bikarbonat akan mencari radikal hidroksil untuk membentuk karbonat radikal yang akan bereaksi dengan senyawa organik dan anorganik yang hadir walaupun pada laju yang lambat. Sehingga karbonat dan bikarbonat menghilangkan radikal hidroksil hasil dari

dekomposisi ozon sehingga radikal hidroksil yang terbentuk menjadi sedikit.

Dan kandungan karbonat sendiri yang sudah ada di dalam air kolong karena kandungan pirit ( $\text{FeS}_2$ ) dan kaolin yang tinggi. Oleh karena itu, karbonat dan bikarbonat terkandung di dalam air kolong secara alami sehingga mempengaruhi peningkatan konsentrasi logam di dalam air kolong.

Proses oksidasi di dalam air kolong ini, oksigen memecah ikatan-ikatan Fe sehingga Fe(II) akan teroksidasi menjadi Fe(III), begitu pula dengan Mangan menyebabkan Mangan(II) teroksidasi menjadi Mangan(IV). Proses oksidasi menghasilkan spesi aktif yaitu radikal hidroksil yang berupa oksidan kuat yang dapat mengoksidasi senyawa-senyawa logam dan bakteri.

Efisiensi penyisihan Fe tertinggi pada Air Kolong Manggar pada menit 120 dengan diadsorpsi sebesar 45,06%. Rata-rata efisiensi penyisihan Fe sebesar 24,63%. Dan efisiensi penyisihan Fe terendah pada menit 120 sebesar 13,07%. Dari hasil pengolahan ozonasi dan adsorpsi Air Kolong Manggar belum memenuhi baku mutu Fe sebesar 0,3 mg/L sehingga perlu penyisihan Fe sebesar 0,3 mg/L dengan efisiensi penyisihan yang diharapkan minimal sebesar 46,42% agar memenuhi baku mutu Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001.

Efisiensi penyisihan Mn tertinggi pada Air Kolong Manggar pada menit 120 dengan diadsorpsi sebesar 88,1%. Rata-rata efisiensi penyisihan Mn sebesar 71,74%. Sedangkan efisiensi penyisihan Mn terendah pada menit 90 sebesar 67,35%. Dari hasil pengolahan ozonasi dan adsorpsi Air Kolong Manggar sudah memenuhi baku mutu Mn sebesar 1 mg/L. Efisiensi penyisihan Fe tertinggi pada Air Kolong Damar pada menit 120 dengan diadsorpsi sebesar 94,04%. Rata-rata efisiensi penyisihan Fe sebesar 44,19%. Dan efisiensi penyisihan Fe terendah pada menit 120 sebesar 24,91%. Dari hasil pengolahan ozonasi dan adsorpsi Air

Kolong Damar belum memenuhi baku mutu Fe sebesar 0,3 mg/L sehingga perlu penyisihan Fe sebesar 0,3 mg/L dengan efisiensi penyisihan yang diharapkan minimal sebesar 98,14% agar memenuhi baku mutu Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001.

Efisiensi penyisihan Mn tertinggi pada Air Kolong Damar pada menit 120 dengan diadsorpsi sebesar 99,64%. Rata-rata efisiensi penyisihan Mn sebesar 97,57%. Sedangkan efisiensi penyisihan Mn terendah sebesar 95,53% pada menit 120. Dari hasil pengolahan ozonasi dan adsorpsi Air Kolong Manggar sudah memenuhi baku mutu Mn sebesar 1 mg/L. Efisiensi penyisihan Fe tertinggi pada Air Kolong Merawang pada menit 120 dengan diadsorpsi sebesar 87,07%. Rata-rata efisiensi penyisihan Fe sebesar 78,06%.

Dan efisiensi penyisihan Fe terendah pada menit 120 sebesar 74,56%. Dari hasil pengolahan ozonasi dan adsorpsi Air Kolong Merawang sudah memenuhi baku mutu Fe sebesar 0,3 mg/L.

Efisiensi penyisihan Mn tertinggi pada Air Kolong Merawang pada menit 120 dengan diadsorpsi sebesar 88,94%. Rata-rata efisiensi penyisihan Mn sebesar 42,33%. Sedangkan efisiensi penyisihan Mn terendah sebesar 18,75% pada menit 90. Dari hasil pengolahan ozonasi dan adsorpsi Air Kolong Merawang sudah memenuhi baku mutu Mn sebesar 1 mg/L. Hasil penelitian kualitas akhir air kolong muda untuk variasi waktu pengolahan terhadap efisiensi penyisihan Fe dan Mn pada proses pengolahan ozonisasi dan adsorpsi dapat dilihat pada tabel 4.4 sebagai berikut:

**Tabel 4.4**  
**Variasi Waktu Pengolahan Terhadap Nilai Konsentrasi Fe dan Mn pada Air Kolong Tua**

| No. | Sampel      | Waktu (menit)  | Parameter |           | Parameter |        |
|-----|-------------|----------------|-----------|-----------|-----------|--------|
|     |             |                | Fe (mg/L) | Mn (mg/L) | Fe (%)    | Mn (%) |
| 1.  | Bacang      | 0              | 0,4321    | 0,004     | -         | -      |
|     |             | 30             | 0,2035    | 0,004     | 52,91     | 0      |
|     |             | 60             | 0,2236    | 0,004     | 48,26     | 0      |
|     |             | 90             | 0,2930    | 0,004     | 32,18     | 0      |
|     |             | 120            | 0,3756    | 0,004     | 13,07     | 0      |
|     |             | 120 + Adsorpsi | 0,2691    | 0,004     | 37,72     | 0      |
| 2.  | Menjelang 1 | 0              | 0,3606    | 0,004     | -         | -      |
|     |             | 30             | 0,0599    | 0,004     | 77,01     | 0      |
|     |             | 60             | 0,0461    | 0,004     | 82,33     | 0      |
|     |             | 90             | 0,0769    | 0,004     | 70,49     | 0      |
|     |             | 120            | 0,0846    | 0,004     | 67,54     | 0      |
|     |             | 120 + Adsorpsi | 0,0522    | 0,004     | 79,97     | 0      |

Berdasarkan tabel 4.4 dapat dilihat bahwa penyisihan konsentrasi nilai Fe pada air kolong tua mengalami fluktuasi. Untuk air kolong Bacang mengalami penurunan dari menit 0 menuju menit 30. Akan tetapi pada saat ozonasi mengalami peningkatan sampai dengan menit 120 dan mengalami penurunan pada saat proses adsorpsi.

Sedangkan pada air kolong Menjelang 1 mengalami fluktuasi, terjadi penurunan pada menit 0 sampai dengan menit 60, pada menit 60 menuju menit 120 mengalami peningkatan kembali dan menurun pada saat proses adsorpsi. Sedangkan konsentrasi Mn awal sudah memenuhi baku mutu PP No 82 Tahun

2001 yaitu sebesar 1 mg/L sehingga pada saat proses ozonasi maupun adsorpsi nilai Mn konstan dan stabil yaitu sebesar 0,004 mg/L.

Konsentrasi Fe dan Mn mengalami fluktuasi diduga ada yang berikatan dengan senyawa amfoter. Disebut amfoter karena dapat berlaku sebagai asam dan juga dapat berlaku sebagai basa tergantung pada kondisi atau larutan yang direaksikan dengannya. Dalam asam yang lebih kuat oksida amfoter bertindak sebagai basa, begitu sebaliknya bereaksi dengan zat yang lebih basa oksida amfoter bertindak sebagai asam (Seran, L.E., 2011). Senyawa amfoter yang terdapat di dalam air kolong tua yaitu bikarbonat. Berdasarkan penelitian Snoeyink, V.L dan D.Jenkins (1980) pH asam menghasilkan CO<sub>2</sub>, dimana CO<sub>2</sub> bereaksi dengan air menghasilkan asam karbonat (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Asam karbonat ini menghasilkan ion hidrogen dan ion bikarbonat dan karbonat. Peningkatan konsentrasi Fe dan Mn ini dikarenakan ada ion bikarbonat dan karbonat berperan sebagai inhibitor. Karbonat dan bikarbonat akan mencari radikal hidroksil untuk membentuk karbonat radikal yang akan bereaksi dengan senyawa organik dan anorganik yang hadir walaupun pada laju yang lambat. Sehingga karbonat dan bikarbonat menghilangkan radikal hidroksil hasil dari dekomposisi ozon sehingga radikal hidroksil yang terbentuk menjadi sedikit. Dan kandungan karbonat sendiri yang sudah ada di dalam air kolong karena kandungan pirit (FeS<sub>2</sub>) dan kaolin yang tinggi. Oleh karena itu, karbonat dan bikarbonat terkandung di dalam air kolong secara alami sehingga mempengaruhi peningkatan konsentrasi logam di dalam air kolong. Proses oksidasi di dalam air kolong ini, oksigen dapat memecah ikatan-ikatan Fe sehingga Fe(II) akan teroksidasi menjadi Fe(III). Begitu pula dengan mangan, memecah ikatan Mn(II) menjadi Mn(IV). Proses oksidasi menghasilkan spesi aktif yaitu oksigen radikal yang berupa oksidan kuat yang dapat

mengoksidasi senyawa-senyawa logam dan bakteri.

Efisiensi penyisihan Fe tertinggi Air Kolong Bacang pada menit 30 sebesar 52,91%. Rata-rata efisiensi penyisihan Fe sebesar 36,83% dan efisiensi penyisihan Fe terendah pada menit 120 sebesar 13,07%. Dari hasil pengolahan ozonasi dan adsorpsi air kolong Bacang telah memenuhi baku mutu PP No 82 Tahun 2001 dengan kadar Fe yaitu sebesar 0,3 mg/L.

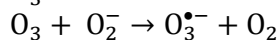
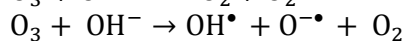
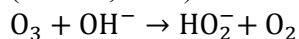
Efisiensi penyisihan Fe tertinggi Air Kolong Menjelang 1 pada menit 60 sebesar 87,23%. Rata-rata efisiensi penyisihan Fe sebesar 82,27% dan efisiensi penyisihan Fe terendah pada menit 120 sebesar 76,54%. Dari hasil pengolahan ozonasi dan adsorpsi air kolong Menjelang 1 telah memenuhi baku mutu PP No 82 Tahun 2001 dengan kadar Fe yaitu sebesar 0,3 mg/L.

Konsentrasi Mn Air Kolong Bacang dan Menjelang 1 stabil dan konstan karena nilai Mn sangat kecil sehingga tidak teridentifikasi dan sudah memenuhi baku mutu PP No. 82 Tahun 2001 dengan kadar Mn yaitu 1 mg/L sehingga tidak ada efisiensi penyisihan Mn.

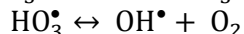
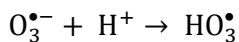
Efisiensi penyisihan Fe pada air kolong tua terbaik bukan pada saat proses adsorpsi kemungkinan karena filter karbon aktif jenuh pada saat adsorpsi air kolong tua.

Penyisihan konsentrasi Fe dan Mn pada hasil pengolahan dan efisiensi pengolahan menunjukkan terjadinya reaksi ozonasi dengan dosis O<sub>3</sub> sebesar 24 ppm dan adsorpsi. Terjadinya reaksi Fe dan Mn ini terbentuk karena adanya reaksi radikal hidroksil yang mengoksidasi senyawa-senyawa organik maupun senyawa-senyawa anorganik yang ada di dalam air kolong tersebut.

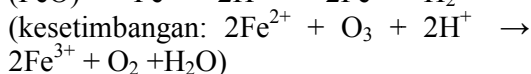
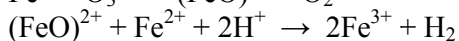
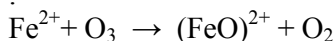
Reaksi proses O<sub>3</sub> dalam menghasilkan radikal hidroksil adalah sebagai berikut (Gunten, 2003):



Ozon pada pH asam:

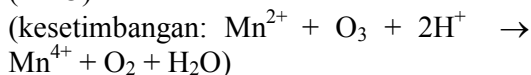
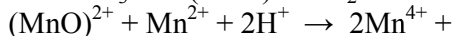
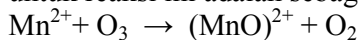


Air yang mengandung zat besi dan mangan, dengan menggunakan ozon dapat mengakibatkan terjadinya reaksi oksidasi sehingga besi atau mangan terlarut akan bereaksi dengan ozon dan membentuk oksida besi atau oksida mangan yang tidak larut di dalam air. Sehingga perkiraan mekanisme reaksi oksidasi  $\text{Fe}^{2+}$  dalam  $\text{Fe}^{3+}$  dengan ozon berdasarkan teori Nowell and Hoigné adalah sebagai berikut :



Menurut Nowell and Hoigné dalam Luvita (2012) membuat suatu kondisi ion radikal hidroksil bukan sebagai senyawa antara dalam reaksi  $\text{Fe}(\text{II})$  dengan ozon dan memperkirakan mekanisme reaksi yang melibatkan perpindahan oksigen dari ozon logam besi.

Berkaitan dengan proses yang terlibat sejak  $\text{Mn}^{2+}$  adalah dekomposisi inisiator  $\text{O}_3$ , ada kemungkinan bahwa hasil reaksi dengan transfer elektron. Mekanisme untuk reaksi ini adalah sebagai berikut:

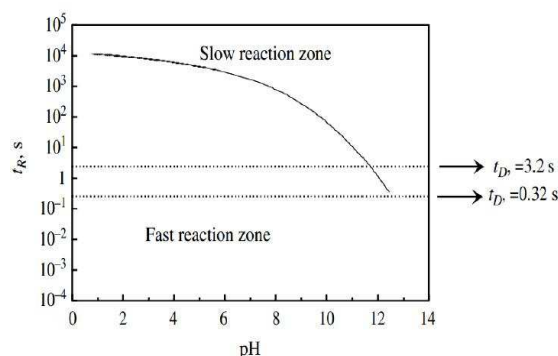


Sedangkan untuk  $\text{Mn}$  memperkirakan kondisi ion radikal hidroksil bukan sebagai senyawa antara dalam reaksi  $\text{Mn}(\text{II})$  dengan ozon dan mekanisme reaksi yang melibatkan perpindahan oksigen dari ozon logam Mangan.

Mekanismenya pH asam menghasilkan ion hidrogen dan ion radikal ozon pada air. Dengan adanya proses adsorpsi dengan karbon aktif ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) dan ion radikal ozon terserap pada permukaan adsorben sehingga membuat ion tersebut menempel di permukaan adsorben sehingga ion hidrogen dan konsentrasi

logam yang ada di dalam air tersebut menjadi hilang atau berkurang dan pH meningkat menuju pH normal. Dan karbon aktif sendiri yang memiliki pori-pori sehingga memungkinkan untuk menyerap  $\text{H}^+$  oleh pori-pori tersebut.

Pada pH rendah kandungan  $\text{Fe}^{2+}$  teroksidasi oleh ozon akan tetapi laju dekomposisi ozon berjalan dengan lambat sehingga pembentukan  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  juga berlangsung dengan lambat. Sehingga penyisihan  $\text{Fe}$  kurang efektif dibandingkan dengan pH basa. (Rahmawati, 2011)



**Gambar 4.1 Reaksi Dekomposisi Ozon terhadap pH**

(Sumber: Beltran, 2004)

Dekomposisi ozon sangat dipengaruhi oleh pH, dimana pada pH 12 akan terjadi proses dekomposisi ozon yang sangat cepat dengan waktu detensi 3,2 s. Hal ini akan terjadi pembentukan radikal bebas sehingga reaksi berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan pH asam. pH mempengaruhi laju dekomposisi ozon ketika pH pada tingkat rendah (kurang dari 7), maka reaksi utamanya yaitu dengan molekul ozon ( $\text{O}_3$ ) yang reaksinya relatif lambat/lama. Banyak senyawa yang teroksidasi dengan lambat namun akan teroksidasi dengan cepat ketika pH dalam kondisi basa. (Rahmawati, 2011)

Pada saat proses ozonasi terjadi perubahan warna air kolong menjadi berwarna merah muda ketika diinjeksikan ozon. Hal ini menandakan bahwa air kolong tersebut mengandung besi yang tinggi. Setelah didiamkan beberapa menit warna merah



muda tersebut berubah menjadi bening kembali. Proses ini disebut dengan proses *intermediate*. Pada proses *intermediate* ini terjadi suatu loncatan elektron yang sangat cepat dalam situs aktif senyawa dimana elektron-elektron yang meloncat tersebut menempel pada elektrode dan reaksi ini berlangsung sangat cepat. Hal ini didukung oleh penelitian Munter (2001) pada suhu 20-25°C waktu paruh ozon dalam air yaitu selama 15-20 menit. Ozon bertahan lebih lama bila berada dalam fasa gas dan paling singkat bertahan bila berada dalam fasa padat.

### KESIMPULAN

Dari uraian analisa dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik awal untuk air kolong muda parameter pH masih belum memenuhi baku mutu cenderung memiliki pH yang asam/rendah dibandingkan dengan air kolong tua, parameter COD dan Fe untuk ketiga air kolong muda masih belum memenuhi baku mutu dan cenderung tinggi dibandingkan dengan air kolong tua dan parameter Mn untuk air kolong Damar belum memenuhi baku mutu PP No 82 Tahun 2001 dan lebih tinggi dibandingkan dengan air kolong tua.
2. Hasil pengolahan Fe dan Mn air kolong muda yang terbaik pada saat menit 120 + adsorpsi masing-masing yaitu air kolong Manggar sebesar 0,3077 mg/L dan 0,0714 mg/L dengan efisiensi penyisihan Fe dan Mn yang terbaik masing-masing yaitu 45,06% dan 88,1%, sedangkan hasil pengolahan Fe dan Mn yang terbaik air kolong Damar pada saat menit 120 + adsorpsi masing-masing sebesar 0,9598 mg/L dan 0,0904 mg/L dengan efisiensi

penyisihan Fe dan Mn yang terbaik air kolong Damar masing-masing yaitu sebesar 94,04% dan 99,64%. Hasil pengolahan Fe dan Mn yang terbaik air kolong Merawang pada saat menit 120 + adsorpsi masing-masing sebesar 0,2043 mg/L dan 0,0496 mg/L dengan efisiensi penyisihan Fe dan Mn masing-masing sebesar 87,07% dan 88,94. Air kolong tua untuk hasil pengolahan Fe yang terbaik untuk air kolong Bacang sebesar 0,2691 mg/L dengan efisiensi penyisihan Fe terbaik pada air kolong Bacang pada menit 30 yaitu sebesar 52,91%, dan air kolong Menjelang 1 sebesar 0,0522 mg/L dengan efisiensi penyisihan Fe terbaik pada air yaitu sebesar 82,33% pada menit 60. Kedua air kolong telah memenuhi baku mutu PP No 82 Tahun 2001 dengan kadar Fe yaitu sebesar 0,3 mg/L. Efisiensi penyisihan Fe pada air kolong tua terbaik bukan pada saat proses adsorpsi dikarenakan filter karbon aktif jenuh pada saat adsorpsi air kolong tua. Sedangkan penyisihan konsentrasi Mn stabil atau konstan karena kedua air kolong nilai konsentrasi Mn sudah kecil sehingga nilainya tidak teridentifikasi dan sudah memenuhi baku mutu PP No 82 Tahun 2001 dengan kadar Mn yaitu 1 mg/L.

### SARAN

Saran yang dapat diberikan Penelitian ini sebaiknya dilakukan pengukuran warna untuk mengetahui warna yang disebabkan oleh bahan anorganik dan bahan kimia yang terlarut. Dan proses adsorpsi dilakukan dengan lebih teliti dan memperhatikan masa jenuh dari karbon aktif agar didapatkan hasil yang lebih efektif dan efisien.

### DAFTAR PUSTAKA

Beltrán, Fernando J. 2004. *Ozone Reaction Kinetics For Water And Wastewater Systems*. Lewis Publishers : Florida

Gunten, Urs von. 2003. *Ozonation of Drinking Water: Part I. Oxidation Kinetics and Product Formation*, *Water Research* 37, pp. 1443-1467



- Henny, Cynthia. 2010. "Kolong" Bekas Tambang Timah Di Pulau Bangka: Permasalahan Kualitas Air Dan Alternatif Solusi Untuk Pemanfaatan. *Jurnal Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, Vol. 37, No. 1, pp 135-154
- Luvita, Veny. 2012. *Rancang Bangun dan Uji Kinerja Reaktor Hibrida Ozon-Plasma Dingin Untuk Pengolahan Limbah Fenolik Cair*. Tesis S-2 Magister Teknik. Universitas Indonesia. Depok
- Munter, Rein. 2001. *Advanced Oxidation Processes – Current Status And Prospects*. In *Proceeding Estonian Academy Science Chemical 2001*. Vol. 50, No. 2, pp 59-80
- Rahmawati, N. 2011. *Oksidasi Lanjut Dan Adsorpsi Membran Keramik Untuk Penyisihan Besi, Mangan, Amonia, dan LAS dari Air Tanah*. Tesis S-2 Magister Teknik. Universitas Indonesia. Depok
- Republik Indonesia. 2001. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air*. Sekretariat Kabinet RI. Jakarta
- Republik Indonesia. 2009. *Standar Nasional Indonesia 6989.4-2009 Tentang Cara Uji Besi (Fe) Dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-Nyala*. Sekretariat Kabinet RI. Jakarta
- Republik Indonesia. 2009. *Standar Nasional Indonesia 6989.5-2009 Tentang Cara Uji Mangan (Mn) Dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-Nyala*. Sekretariat Kabinet RI. Jakarta
- Seran, L.E. 2011. *Oksigen Molekuler Sebagai Zat Pengoksidasi*. Universitas Negeri Malang : Malang
- Snoeyink, V.L dan D.Jenkins. 1980. *Water Chemistry*. John Wiley & Sons Inc : United States of America