

PENGARUH OZONISASI TERHADAP PENURUNAN INTENSITAS WARNA DAN KADAR BESI (Fe) PADA AIR GAMBUT

EFFECT OF OZONATION IN DECREASING COLOR INTENSITY AND LEVEL OF IRON (Fe) IN PEAT WATER

Chairul Abdi, Riza Miftahul Khair, dan Siti Aisyah

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

Jl. A. Yani Km. 36, Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714, Indonesia

E-mail: chairulabdi@unlam.ac.id

ABSTRAK

Air permukaan yang berasal dari daerah berawa, daerah pasang surut dan dataran rendah umumnya sulit dimanfaatkan sebagai sumber air baku. Hal ini dikarenakan sumber air permukaan atau air tanah di daerah tersebut adalah air gambut dengan karakteristik yang dimiliki yaitu derajat keasaman tinggi, kandungan organik yang tinggi dan berwarna merah kecokelatan. Sehingga metode yang dapat dilakukan dalam pengolahan khusus air gambut yang memiliki intensitas warna yang tinggi disamping juga terkandung unsur logam Fe yaitu salah satunya dengan melalui proses ozonisasi yang memanfaatkan sifat ozon sebagai oksidator. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pH dan waktu kontak pada kinerja ozon terhadap penurunan intensitas warna dan kadar Fe pada air gambut. Ozonisasi dilakukan dengan variasi waktu 10, 20, 40, 60, 80, 100 dan 120 menit. Sampel air gambut sebelum dikontakkan oleh ozon telah diatur dalam keadaan pH basa (pH 9) dengan menggunakan regulator pH berupa larutan NaOH. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ozonisasi pada sampel air gambut dalam kondisi pH 9 mampu menyisihkan intensitas warna sebesar 78,31% selama 120 menit dan menyisihkan kadar Fe sebesar 23,81% selama 10 menit.

Kata kunci : Air gambut, Fe, ozon, ozonisasi, warna.

ABSTRACT

Surface water which comes from the boggy areas, tidal areas and lowlands are generally difficult to use as a source of raw water. This is because the source of surface water or groundwater in the area is peat water with the characteristics high acidity, high organic content and the colored red-brown. So that the method can be performed in specialized processing of peat water that has high color intensity and also contained metal element Fe is one of them through ozonation process utilizing ozone as an oxidant. This study was aimed to determine the effect of pH and contact time on the performance of ozone to decrease the intensity of color and Fe content in the peat water. Ozonation was done by varying the time 10, 20, 40, 60, 80, 100 and 120 minutes. Peat water samples before is contacted by ozone have been arranged in an alkaline pH (pH 9) by using a pH regulator such as NaOH. The results of this study show that ozonation in water samples of peat under conditions of pH 9 are capable of removing the color intensity of 78.31% for 120 minutes and capable of removing Fe content of 23.81% for 10 minutes.

Keywords: Color, Fe, ozone, ozonation, peat water.

1. PENDAHULUAN

Kondisi sumber air bersih pada setiap daerah berbeda-beda tergantung keadaan alam dan kegiatan manusia yang terdapat di daerah tersebut. Penduduk yang tinggal di daerah berawa, daerah pasang surut dan dataran rendah seperti di daerah Kalimantan umumnya menghadapi kesulitan dalam memanfaatkan air permukaannya sebagai sumber air baku (*raw water*). Hal ini dikarenakan sumber air permukaan atau air tanah di daerah tersebut adalah air gambut dengan tingkat keasaman dan kandungan organik yang tinggi serta berwarna merah kecokelatan.

Air gambut adalah salah satu sumber air permukaan yang banyak dijumpai di Pulau Kalimantan. Kualitas air gambut memiliki kekeruhan rendah, berwarna coklat tua sampai kehitaman (124 - 850 PtCo). Intensitas warna air gambut berhubungan erat dengan konsentrasi senyawa humusnya, bila intensitas warnanya menurun maka konsentrasi senyawa humusnya berkurang. Selain itu, air gambut juga memiliki kadar organik tinggi (138 – 1560 mg/lit KmnO_4) dan bersifat asam (pH 3,7 – 5,3). Kondisi air tersebut menunjukkan bahwa air gambut sebelum dimanfaatkan sebagai salah satu sumber air baku masih memerlukan pengolahan khusus terlebih dahulu (Eri dan Hadi, 2010).

Metode yang dapat dilakukan dalam pengolahan khusus air gambut yang memiliki intensitas warna yang tinggi dan juga mengandung unsur logam Fe yaitu salah satunya dengan melalui proses ozonisasi yang memanfaatkan sifat ozon sebagai oksidator. Ozon merupakan bentuk yang tidak stabil dari oksigen yang terdiri dari tiga atom O (rumus kimia ozon adalah O_3) (Purwadi dkk, (2006) dalam Syafarudin dan Novia, (2013)). Tidak seperti oksidator pada umumnya, ozon merupakan zat pengoksidasi yang sangat kuat (*powerful oxidizing agent*) yang juga dapat sebagai zat *non-chemical disinfectant*. Ciri-ciri dan spesifikasi ozon yang khas yaitu tidak beracun (*nontoxic*), material yang ramah lingkungan, relatif tidak berbahaya dan hampir serupa dengan oksigen (Hartono dkk, 2010). Pemanfaatan ozon dalam teknologi ozonisasi berguna untuk membunuh bakteri (*sterilization*), menghilangkan warna (*decoloration*), menghilangkan bau (*deodorization*), dan menguraikan senyawa organik (*degradation*) (Yazid dkk, 2007).

Aplikasi pemanfaatan ozon pada proses ozonisasi telah banyak dilakukan pada beberapa penelitian. Menurut Isyuniarto dkk (2005) dan Yeen WS (1996) dalam penelitian yang dilakukan oleh Yazid dkk (2007) menyatakan bahwa sifat kimiawi ozon yang efektif bekerja dalam suasana basa (pH>7). Penyisihan warna limbah cair industri tekstil sasirangan dalam proses ozonisasi pada pH 8 dan waktu kontak 60 menit mencapai tingkat efisiensi penurunan parameter warna sebesar 95,36% (Rizqa, 2009). Selain itu, penelitian Pharmawati dkk (2010) menyatakan bahwa perlakuan proses ozonisasi pada air tanah mampu menyisihkan kandungan besi (Fe^{2+}) maksimum sebesar 92,15%.

Berdasarkan uraian diatas maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian guna mengetahui efektifitas kinerja ozonisasi sebagai proses dalam penurunan intensitas warna dan kadar besi (Fe) pada air gambut. Selain itu, untuk mengetahui perubahannya pada variasi waktu kontak dan pH agar dapat menjadi salah satu alternatif pilihan dalam pengolahan air baku. Sehingga melalui penelitian ini diharapkan ozonisasi dapat menjadi pertimbangan alternatif solusi dalam pengolahan air khususnya air gambut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Air Gambut

Karakteristik air gambut mempunyai intensitas warna yang tinggi (berwarna merah kecoklatan), derajat keasaman tinggi (nilai pH rendah), kandungan zat organik tinggi, sementara konsentrasi partikel tersuspensi dan ion rendah (Samosir, (2009) dalam Suherman dan Sumawijaya, (2013)). Warna coklat kemerahan pada air gambut merupakan akibat dari tingginya kandungan zat-zat organik (bahan humus) terlarut terutama dalam bentuk asam humus dan turunannya. Asam humus tersebut berasal dari dekomposisi bahan organik seperti daun, pohon, dan kayu. Zat-zat organik ini dalam keadaan terlarut serta memiliki sifat sangat tahan terhadap mikroorganisme dalam waktu yang cukup lama (Syarfi, (2007) dalam Susilawati, (2010)). Kadar warna akan semakin tinggi biasanya karena disebabkan oleh adanya logam besi yang terikat oleh asam-asam organik yang terlarut dalam air tersebut.

2.2 Ozonisasi

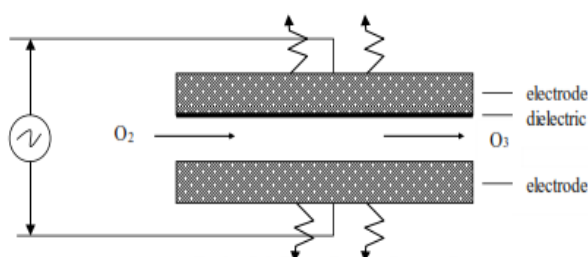
Secara kimiawi, ozon merupakan senyawa yang tidak stabil, sangat reaktif dan mudah sekali terdekomposisi kembali menjadi oksigen serta laju dekomposisinya akan bertambah besar sesuai kenaikan suhu dan pH. Kemampuan ozon untuk mengoksidasi senyawa organik maupun anorganik tergantung dari beberapa faktor, seperti suhu dan pH. Sifat ozon yang sangat reaktif memungkinkan ozon dapat mempercepat proses dalam memutuskan ikatan senyawa tertentu melalui peristiwa ozonolisis. Ozonolisis yaitu peristiwa pemisahan ikatan pada senyawa oleh ozon yang dapat digunakan untuk mengubah struktur senyawa tak jenuh, dikarenakan reaksi ini dapat menyebabkan degradasi molekul besar menjadi molekul yang lebih kecil. Oleh karena itu, penggunaan ozon memungkinkan terjadinya pengurangan konsentrasi warna akibat adanya reaksi oksidasi-reduksi terhadap bahan organik, anorganik maupun logam dalam air salah satunya logam besi (Rizqa, 2009).

2.3 Generator Ozon

Prinsip kerja dari generator ozon (*ozonizer*) adalah udara kering atau oksigen murni (O_2) dipompakan dengan kompresor udara, masuk melewati rongga yang berbentuk silindris, rongga tersebut terbuat dari bahan stainless steel yang diselubungi tabung yang terbuat dari kaca, tabung kaca disebut sebagai bahan dielektrik dan bertegangan tinggi. Kemudian udara atau oksigen (O_2) dipecah menjadi oksigen radikal (O^*) dan akan membentuk gas ozon. Reaksi pembentukan gas ozon seperti dibawah ini:



O^* ini bersifat radikal sehingga apabila bertumbukan dengan air akan membentuk ion hidroksil (OH) yang kemudian pada gilirannya akan berperan dalam merombak ikatan-ikatan dan persenyawaan kimia (organik maupun anorganik) (Basuki dkk, (2005) dalam Rizqa, (2009)).



Gambar 1. Generator Ozon
(Rizqa, 2009)

3. METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan antara lain NaOH padat yang kemudian diencerkan, *aquadest* dan larutan HNO₃. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *ozonizer/generator ozon* perkapasitas 3 g/jam, pH meter, *stopwatch*, gelas *beaker* 1000 ml; 500 ml; 250 ml, gelas ukur 250 ml, pipet tetes, corong, batang pengaduk, kertas saring, botol *reagent*, botol sampel, timbangan digital, *tissue* dan kamera sebagai alat dokumentasi.

Sampel berasal dari air gambut kawasan lahan gambut Kecamatan Gambut Kabupaten Banjar Kalimantan Selatan. Pengambilan sampel dilakukan dengan secara *grab sampling*. Parameter kualitas air yang diukur adalah intensitas warna, kadar Fe, Mn, pH dan suhu. Proses pengukuran dilakukan secara langsung di tempat pengambilan sampel untuk mengukur parameter seperti pH dan suhu. Sedangkan parameter intensitas warna dan kadar Fe dilakukan pengujian laboratorium. Pengawetan sampel untuk parameter tertentu diperlukan apabila pengukuran tidak dapat langsung dilakukan sesaat pengambilan sampel. Jenis bahan pengawet yang ditambahkan ke dalam sampel air adalah HNO₃ sampei pH air ≤ 2.

Tabel 1. Hasil Uji Karakteristik Awal Air Gambut

Parameter	Nilai	Satuan
Warna	1456	Pt.Co
Fe	4,08	mg/l
Mn	-	mg/l
pH	4,8	-
Suhu	28	°C

(Sumber: Data Hasil Pengukuran)

Ozonisasi dilakukan di dalam reaktor berupa gelas beaker dengan volume sampel 250 ml. Sebelumnya pH sampel air diatur dalam kondisi basa menjadi pH 9 menggunakan regulator pH berupa larutan NaOH. Alat yang diguakan adalah generator ozon perkapasitas 3g/jam, kemudian dilakukan ozonisasi dengan variasi waktu kontak 10, 20, 40, 60, 80, 100 dan 120 menit. Setelah itu dilakukan pengujian laboratorium untuk menganalisis intensitas warna dan kada Fe kemudian diperoleh waktu kontak terbaik dalam penyisihan warna dan Fe.

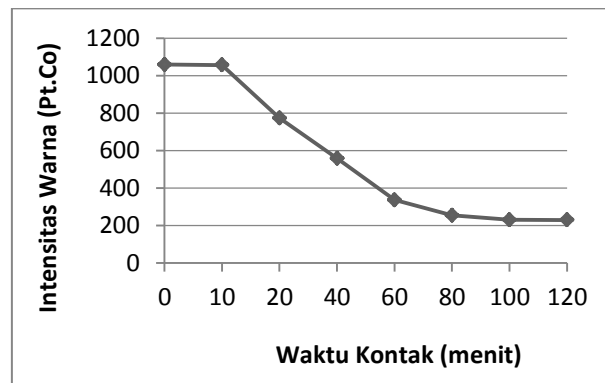


Gambar 2. Generator Ozon

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perubahan Kinerja Ozonisasi karena Variasi pH dan Waktu Kontak

Ozonisasi pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan kinerja ozonisasi akibat pengaruh pH basa pada rentang variasi waktu kontak ozonisasi dalam peyisihan intensitas warna dan kadar besi (Fe) air gambut. Pengukuran intensitas warna dan kadar Fe yang telah dikontakkan dengan ozon menggunakan Spektrofotometer DR-1900 merk HACH. Berdasarkan Gambar 3.1 di bawah ini hasil pengukuran diperoleh bahwa dari menit ke-60 sampai 120 penyisihan warna terlihat signifikan dari intensitas warna awal sebesar 1059 Pt.Co menjadi sebesar 336,33 hingga 229,67 Pt.Co.



Gambar 3. Grafik Penyisihan Intensitas Warna dengan Variasi Waktu Kontak (Sumber: Data Hasil Pengukuran)

Gambar 3 di atas dapat dilihat bahwa intensitas warna sampel air semakin menurun seiring dengan lamanya waktu kontak. Hal tersebut disebabkan karena semakin lama waktu kontak proses ozonisasi maka O_3 yang terbentuk akan semakin banyak (Putri, 2016). Sehingga proses oksidasi senyawa organik yang merupakan dasar dari terbentuknya warna air gambut menjadi lebih efektif dan senyawa organik yang mempengaruhi warna air gambut akan teroksidasi menjadi senyawa dengan struktur molekul yang lebih sederhana.



(a) Ozonisasi 10 menit



(b) Ozonisasi 20 menit



(c) Ozonosasi 40 menit



(d) Ozonisasi 60 menit



(e) Ozonisasi 80 menit



(f) Ozonisasi 100 menit

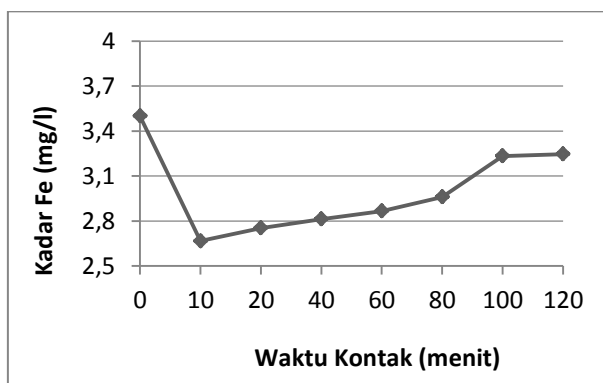


(g) Ozonisasi 120 menit

Gambar 4. Kondisi Fisik Warna Air Gambut Setelah Ozonisasi Variasi Waktu Kontak
(Sumber: Data Hasil Pengukuran)

Kondisi warna sampel air gambut secara fisik setelah ozonisasi dengan variasi waktu kontak terlihat perbedaan yang cukup signifikan (Gambar 4). Keadaan awal sampel air gambut berwarna merah kecoklatan berubah menjadi kuning bening seiring lamanya penerapan waktu kontak. Terlihat bahwa dari menit ke-80 hingga 120 warna sampel air semakin terang. Selain itu, partikel-partikel koloid sampel air gambut yang awalnya tersebar setelah diozonisasi koloid-koloid tersebut menjadi terikat satu sama lain mengendap membentuk gumpalan.

Hasil pengukuran penyisihan kadar Fe mengalami penurunan pada waktu kontak dengan rentang waktu yang pendek kemudian meningkat atau hampir kembali pada kondisi kadar Fe awal ketika waktu kontak pada rentang yang lebih panjang. Hal ini memungkinkan disebabkan oleh konsentrasi kadar Fe awal yang tinggi. Apabila jumlah konsentrasi memiliki nilai yang tinggi maka pada waktu yang sama beban proses oksidasi oleh ozon akan semakin besar. Oleh karena itu, semakin besar konsentrasi besi total awal maka akan semakin kecil persen penurunan besi.

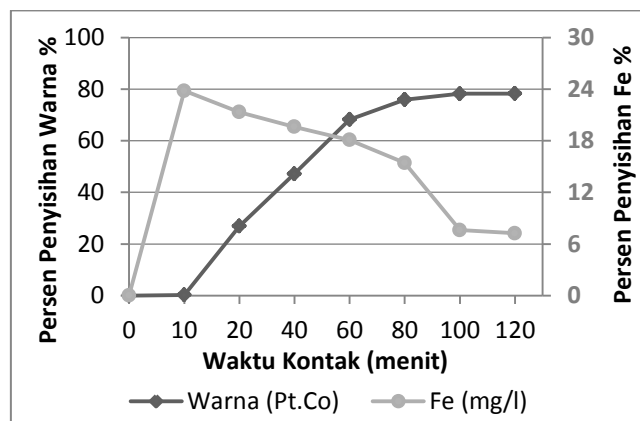


Gambar 5. Grafik Penyisihan Kadar Fe dengan Variasi Waktu Kontak
(Sumber: Data Hasil Pengukuran)

Gambar 5. di atas memperlihatkan bahwa pada menit-menit awal yaitu dari menit ke-10 sampai 60 terjadi penurunan nilai kadar Fe dengan nilai tertinggi dari kadar Fe awal sebesar 3,5 mg/l menjadi sebesar 2,67 hingga 2,87 mg/l, namun mulai dari menit ke-80 sampai 120 nilai kadar Fe meningkat hingga mendekati nilai kadar Fe awal yaitu sebesar 2,96 hingga 3,25 mg/l.

Penerapan variasi waktu kontak menunjukkan persentasi yang berbeda antara penyisihan intensitas warna dengan penyisihan kadar Fe pada proses ozonisasi. Panjangnya rentang waktu kontak ozonisasi menyebabkan persentasi penyisihan warna sampel air mengalami peningkatan. Persentasi

penyisihan warna terbesar dihitung mulai dari menit ke-80 sampai 120 yaitu sebesar 75,95% hingga 78,38%. Hal ini disebabkan oleh semakin lama waktu kontak ozon, maka akan menyebabkan tersuplainya oksigen dalam air semakin banyak. Sehingga senyawa-senyawa organik (komponen utama yang mempengaruhi warna air gambut) yang sifatnya mengkonsumsi oksigen terlarut akan semakin sedikit jumlahnya (Purwadi, 2006). Adapun persentasi penyisihan warna dan Fe dapat dilihat pada Gambar 6. sebagai berikut:



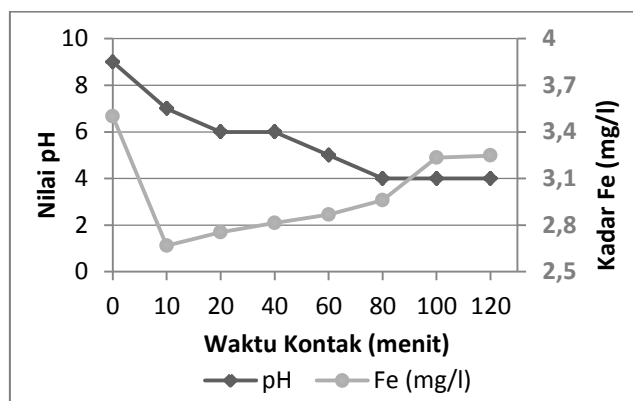
Gambar 6. Grafik Persentasi Penyisihan Intensitas Warna dan Kadar Fe (Sumber: Data Hasil Pengukuran)

Sedangkan pada rentang waktu kontak yang lama persentasi penyisihan kadar Fe tidak begitu signifikan. Hal ini disebabkan ozon bereaksi sangat selektif sehingga hanya kontaminan organik dan beberapa kontaminan anorganik yang disukai ozon terlebih dahulu dioksidasi menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana (Ratnawati, 2011). Oleh karena itu, penyisihan kadar Fe dengan variasi waktu kontak pada penelitian ini yang efektif menurunkan kadar Fe yakni pada waktu kontak dengan rentang yang lebih pendek selama 10 menit dengan persentasi penyisihan sebesar 23,81 % sedangkan pada waktu kontak dengan rentang yang lebih lama penyisihan kadar Fe dengan ozonisasi hanya sedikit.

Lamanya rentang waktu kontak juga tidak menunjukkan persentasi penyisihan yang mencapai 100% pada kedua parameter. Setelah menit ke-60 dapat dilihat persentasi penyisihan parameter warna menunjukkan nilai konstan bahkan pada persentasi penyisihan kadar Fe justru menurun. Hal ini dapat disebabkan oleh kapasitas dari generator ozon yang digunakan mampu menghasilkan ozon sebanyak 3g/jam. Ketika 60 menit pertama terdapat 3g ozon yang mampu mendegradasi senyawa-senyawa kompleks yang umunya bermolekul besar menjadi senyawa-senyawa bermolekul kecil yang lebih sederhana (Rizqa,2009), sehingga membentuk koloid-koloid yang saling berikatan satu sama lain lalu membentuk endapan yang tidak terlarut dalam air. Namun, dengan bertambahnya rentang waktu kontak menyebabkan konsentrasi ozon yang dihasilkan generator ozon dalam larutan semakin bertambah, sehingga terjadi ketidakseimbangan ion dalam larutan dan senyawa-senyawa yang telah teroksidasi oleh ozon kembali pada fase larut dalam air.

Penyisihan kadar Fe yang kurang optimum juga dapat disebabkan oleh kondisi pH saat terjadi ozonisasi. Pada penelitian ini pH sampel air setelah ozonisasi mengalami penurunan seiring lamanya waktu kontak. Kondisi pH setelah ozonisasi mengalami penurunan yang signifikan, bahkan mulai dari menit ke-80 hingga 120 kondisi pH sampel air cenderung kembali pada keadaan pH awal yaitu dengan rentang pH sekitar 4.

Hal tersebut dapat terjadi karena senyawa-senyawa yang teroksidasi oleh ozon melepaskan ion-ion hidrogen. Sedangkan air akan bersifat asam jika semakin banyak ion hidrogen yang terdapat dalam sampel air. Saat menit ke-80 sampai 120 nilai pH terlihat konstan memungkinkan terjadi karena larutan banyak mengandung ion-ion hidrogen yang berarti kondisi air menjadi asam sebagai penyebab oksidasi oleh oksidator ozon menjadi lebih lambat (Purwadi, 2006).



Gambar 7. Grafik Pengaruh Kondisi pH terhadap Penyisihan Kadar Fe (Sumber: Data Hasil Pengukuran)

Berdasarkan Gambar 7. di atas dapat dilihat bahwa nilai pH terhadap variasi waktu kontak mengalami penurunan. Jika ion OH^- dan H^+ pada sampel air seimbang maka akan menunjukkan nilai pH yang cenderung stabil. Karena bila nilai ion H^+ semakin banyak, maka air akan menjadi bersifat asam sehingga besarnya nilai pH menjadi turun. Ketidakseimbangan ion yang terkandung dalam air menyebabkan energi ikat antara ion dan ozon menurun (Prasetyo, 2015). Menurunnya nilai pH pada penelitian ini menyebabkan proses Fe terlarut yang teroksidasi oleh ozon menjadi Fe yang tidak terlarut dalam air menjadi tidak maksimal, sehingga penyisihan kadar Fe dalam sampel air tergolong rendah.

Selain kondisi pH, kondisi suhu juga mempengaruhi klearutan Fe dalam air dan keberadaan ozon dalam air. Keadaan suhu sampel air selama penyimpanan mengalami perubahan, yaitu yang awalnya keadaan suhu air 28°C berubah menjadi 31°C . Sedangkan pada kondisi suhu yang tinggi kelarutan dan keberadaan ozon dalam air akan berkurang serta kelarutan Fe semakin tinggi. Waktu paruh ozon dalam air pada suhu 25°C adalah 15 menit, sedangkan pada suhu 35°C waktu paruh ozon adalah 8 menit (Sari, 2013). Oleh karena itu, semakin tinggi kondisi suhu sampel air maka semakin singkat waktu paruh ozon yang terkandung di dalamnya yang menyebabkan keberadaan dan kelarutan ozon dalam sampel air berkurang. Sehingga penyisihan kadar Fe tidak menunjukkan nilai yang besar karena kondisi suhu tinggi yang menyebabkan ozon lebih mudah terdekomposisi menjadi oksigen kembali.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah kinerja ozon terhadap penurunan intensitas warna dan kadar Fe pada air gambut dengan variasi pH dan waktu kontak terjadi penyisihan terbaik pada pH 9, yaitu masing-masing penyisihan sebesar 78,31% selama 120 menit dan 23,81% selama 10 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- Eri, I. R. dan Hadi, W. (2010). *Kajian Pengolahan Air Gambut Menjadi Air Bersih dengan Kombinasi Proses Upflow Anaerobic Filter dan Slow Sand Filter*. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Surabaya.
- Hartono, R. dkk. (2010). *Pemutihan Pulp Enceng Gondok Menggunakan Proses Ozonisasi*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses. ISSN : 1411 – 4216. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Semarang.
- Pharmawati, K. dkk. (2010). Penyisihan Fe-Organik pada Air Tanah dengan Proses Ozonisasi. *Prosiding Seminar Nasional Sains & Teknologi*. Lembaga Penelitian, Universitas Lampung. Lampung.
- Prasetyo, A. dkk. (2015). Pengaruh Ozon yang Dibangkitkan Menggunakan reaktor Dielectric Barrier Discharge Plasma (DBDP) Terhadap Konsentrasi Oksigen Terlarut, Kesadahan dan pH pada Air Murni. *Youngster Physics Journal*, 4(3), 237-242. ISSN : 2302-7371.
- Purwadi, A. dkk. (2006). Aplikasi Ozon Hasil Lucutan Plasma untuk Menurunkan Nilai pH, COD, BOD dan Jumlah Bakteri Limbah Cair Rumah Sakit. *Prosiding PPI-PDIPTN 2006*. ISSN : 0216-3128.
- Putri, K. dkk. (2016). Pengaruh pH dan Waktu Kontak Ozonisasi Terhadap Biodegradability Limbah Cair Tahu dan Kotoran Sapi. *JOM FTEKNIK*, 3(1).
- Ratnawati, E. 2011. Pengolahan Limbah Penyamakan Kulit dengan Metode Ozonasi Katalitik. *Majalah Forum Ilmiah UNIJA*, 15(01). ISSN : 1410-5586. Program Studi Teknik Kimia, Institut teknologi Indonesia. Tangerang Selatan.
- Rizqa, M. N. (2009). *Penurunan Kadar COD, TSS dan Warna Limbah Cair Industri Tekstil Sasirangan dengan Metode Ozonisasi*. Yogyakarta: STTL.
- Sari, N. N. dkk. (2013). Efek Perlakuan pH pada Ozonisasi. *Jurnal Institut Teknologi Nasional*, 1(1). Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Itenas. Bandung.
- Suherman, D. dan Sumawijaya N. (2013). Menghilangkan Warna dan Zat Organik Air Gambut dengan Metode Koagulasi-Flokulasi Suasana Basa. *Riset Geologi dan Pertambangan*, 23(2), 127-139. ISSN 0125-9849.
- Susilawati. (2010). *Model Pengolahan Air Gambut untuk Menghasilkan Air Bersih dengan Metode Elektrokoagulasi*. Program Doktor Ilmu Kimia, Fak. Matematika & Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Syafarudin, A. dan Novia. (2013). Produksi Ozon dengan Bahan Baku Oksigen Menggunakan Alat Ozon Generator. *Jurnal Teknik Kimia*, 19(2). Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Yazid, M. dkk. (2007). Pengaruh Ozonisasi Terhadap DO, BOD dan Pertumbuhan Bakteri di dalam Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit. *GANENDRA*, 10(1). ISSN: 1410-6957. Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, Badan Tenaga Nuklir Nasional.