

APLIKASI PLASMA LUCUTAN BERPENGHALANG DIELEKTRIK PADA PENGOLAHAN AIR SUMUR : PENGARUH TERHADAP pH, KESADAHAN, DAN TOTAL COLIFORM

Rizky Maylia S, Muhammad Nur, dan Zaenul Muhlisin

Laboratorium Fisika Atom dan Nuklir Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Matematika
Universitas Diponegoro
Jalan Prof. Soedarto, SH Tembalang Semarang
Rizky.maylia90@gmail.com

ABSTRACT

Has conducted research on dielectric barrier discharge plasma applications configured with spiral – cylindrical electrodes to generate ozone free air source. Purpose of this study was to determine the effect of ozone dissolved in water quality through pH, hardness (CaCO₃), and total coliform in the water in the eastern part of the village Gemah.

Electrodes used in this study has a diameter of 3 cm and a length of 15cm. Plasma generation using AC voltage with a voltage of 7 kV. Air flow velocity used 5,5 L/min with a volume of water that will be treated with ozone as much as 1 liter. Dissolved ozone free air is obtained by incorporating into the DBD reactor, out of the reactor, ozone is formed, and flowed into the water. Dissolved ozone concentration were determined by varying the time and use a constant voltage.

The result showed the concentration of dissolved ozone diminishing increments. pH values tend to be fixed and not affected by ozone treatment of water. Water hardness value decreased slightly and the number of total coliform as a whole are likely to remain.

Keywords :electrode spiral-cylindrical, dielectric barrier discharge, dissolved ozone concentrate, CaCO₃, total coliform, pH.

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang aplikasi plasma lucutan berpenghalang dielektrik berkonfigurasi elektroda spiral-silinder untuk menghasilkan ozon dengan sumber udara bebas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh ozon terlarut pada kualitas air melalui pH, kesadahan (CaCO₃), dan total coliform pada air di Kelurahan Gemah bagian timur.

Elektroda yang digunakan pada penelitian ini memiliki diameter 3 cm dan panjang 15 cm. Pembangkitan plasma menggunakan tegangan AC dengan tegangan 7 kV. Kecepatan aliran udara yang digunakan 5,5 L/menit dengan volume air yang akan diolah dengan ozon sebanyak 1 liter. Ozon terlarut diperoleh dengan memasukan udara bebas ke dalam reaktor DBD, keluar dari reaktor ozon sudah terbentuk, dan dialirkan ke dalam air. Konsentrasi ozon terlarut ditentukan dengan memvariasi waktu dan menggunakan tegangan konstan.

Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi ozon terlarut semakin berkurang dengan penambahan waktu. Nilai pH cenderung tetap dan tidak terpengaruh oleh perlakuan ozon terhadap air. Nilai kesadahan air sedikit menurun dan banyaknya total coliform secara keseluruhan cenderung tetap.

Kata kunci : elektroda spiral-silinder, lucutan berpenghalang dielektrik, konsentrasi ozon terlarut, CaCO₃, total coliform, pH

PENDAHULUAN

Air adalah sumber kehidupan manusia. Salah satu kegunaan air adalah untuk diminum. Di Indonesia banyak terdapat perusahaan air minum dalam kemasan, namun untuk membeli air dengan kualitas yang bagus memiliki harga jual yang tinggi. Perusahaan Air Minum milik Negara yang seharusnya bisa dinikmati seluruh warga Indonesia juga memasang tarif yang tidak semua orang mampu membelinya. Sehingga mereka memilih untuk membeli air minum pegunungan yang sedang marak dijual di Indonesia, khususnya di kota Semarang. Air minum pegunungan yang dijual murah tersebut ada yang bertuliskan “ Air Mengandung Ozon “. Teknologi Ozon memang sedang marak dikembangkan oleh para ilmuwan, terutama dibidang air. Ozon (O_3) merupakan salah satu contoh plasma *non-thermal* dapat dibangkitkan dengan cara melewati udara pada lucutan korona maupun lucutan berpenghalang dielektrik. Ozon dapat membunuh bakteri yang berbahaya, tetapi aman untuk makhluk hidup dan lingkungan sekitar. Hal tersebut berakibat pada peningkatan kualitas air (Summerfelt, 2007).

Penelitian tentang ozon untuk meningkatkan kualitas pada air telah dilakukan, diantaranya oleh Subedi dkk pada tahun 2012, diperoleh bahwa penggunaan ozon tidak terlalu berpengaruh pada pH, konduktivitas dan kekeruhan, namun dapat mempengaruhi sifat kimia dan biologi air tersebut. Pada penelitian ini, Subedi dkk menggunakan *Dielectric Barrier Discharge* (DBD) dengan pusat elektroda terbuat dari kawat baja dan elektroda luar terbuat dari film aluminium yang melilit gelas reaksi dengan jari - jari 3 mm dan ketebalan 1 mm. untuk produksi ozon dengan DBD, udara dipompa ke dalam reaktor sebanyak 300 cm^3 per menit dengan tekanan udara. Masukan yang digunakan bertegangan tinggi sebesar 1-20 kV dan frekuensi sebesar 10 – 30 kHz. Air yang

digunakan berasal dari lembah Kathmandu sebanyak 100mL/sampel, tiap sampel diperlakukan dengan ozon selama 20 menit. Sampel yang diperlukan sebanyak 5 (Subedi, 2012).

Pada tahun 2011, Rojas dkk melakukan penelitian tentang aplikasi ozon sebagai desinfektan untuk menghancurkan mikroorganisme. Penelitian ini ditinjau dengan menggunakan analisa secara biologi, sehingga tidak dijelaskan tentang metode ozon yang digunakan, namun terbukti bahwa ozon dapat menghancurkan mikroorganisme yang terdapat pada air limbah (Rojas, 2011). Oktiyana (2008), menggunakan lucutan berpenghalang dielektrik pada peningkatan kualitas air dengan mengalirkan air secara langsung melalui reaktor berkonfigurasi elektroda spiral – silinder. Pada penelitian ini menggunakan elektroda spiral yang terbuat dari kawat tembaga, dengan panjang lilitan 500 mm dan berdiameter 1 mm, sedangkan elektroda silinder dari lembaran aluminium yang direkatkan pada dinding bagian dalam pipa berdiameter 1,25 *inchi* dengan panjang 450 mm. bahan dielektrik yang digunakan adalah *pyrex*, dengan panjang 500 mm, diameter dalam 10 mm dan tebal 1 mm. sumber tegangan yang digunakan adalah AC dengan tegangan 4 – 5 kV dan frekuensi 333,333 Hz. Penelitian ini menghasilkan konsentrasi ozon maupun ozon terlarut meningkat dengan meningkatnya penggunaan tegangan waktu ozonisasi serta penurunan kecepatan aliran udara. Kadar oksigen terlarut meningkat dengan peningkatan penggunaan tegangan dan meningkat setelah ozon di dalam air terurai (Oktiyana, 2008).

Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran kesadahan ($CaCO_3$), bakteri, dan pH pada sampel air yang telah ditreatmen dengan ozon. Sampel air yang digunakan adalah sampel air sumur yang terletak di jalan Gemah Kencana VI nomor 4 Semarang. Sebagian besar air sumur di daerah tersebut, jika digunakan untuk mencuci pakaian

berwarna putih, maka pakaian tersebut lama – lama menjadi kekuningan dan apabila disimpan di bak penampungan air selama beberapa jam, maka tepi dari bak yang terbuat dari keramik akan menjadi seperti berminyak. Air sumur tersebut juga meninggalkan bekas putih disekitar tempat perebusan air.

METODE PENELITIAN

1. Mengkarakteristik Reaktor

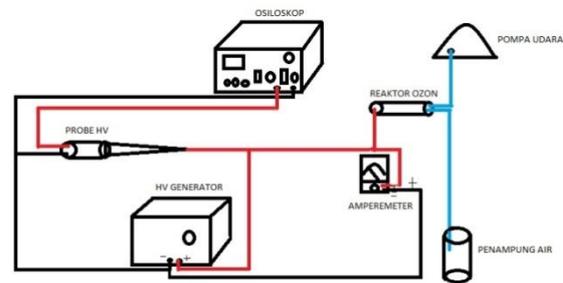
Mengkarakteristik reaktor dilakukan dengan cara member variasi tegangan dan mengamati kenaikan arus yang dihasilkan. Setelah diperoleh batas tegangan tertinggi dan terendah, maka reaktor lucutan berpenghalang dielektrik dapat digunakan untuk mengolah air pada daerah tersebut. Reaktor lucutan berpenghalang dielektrik ini memiliki diameter 3cm dan panjang 15cm.

2. Pengambilan Sampel dan Penyaringan Air

Pengambilan sampel air dilakukan di sumur, jalan Gemah Kencana VI nomor 4 kelurahan Gemah, kecamatan Pedurungan, kota Semarang. Air yang diambil sebanyak 19 liter pada hari yang sama, yaitu pada hari Minggu tanggal 1 September 2013. Penyaringan air menggunakan kain mori atau biasa disebut dengan kain kafan pada saat pengambilan sampel. Hal ini dilakukan agar pasir dan kotoran dapat tersaring.

3. Mengolah Air dengan Ozon

Air diolah dengan menggunakan Ozon dengan reaktor yang sudah tersedia pada labolatorium Fisika Atom dan Nuklir Universitas Diponegoro. Air diozon selama 5 sampai 45 menit dengan konsentrasi ozon diudara sekitar 0,89 – 1,25 ppm dan pada tegangan 7 kV. Adapun gambar susunan peralatan penelitian adalah sebagai berikut.



Gambar 1 Skema Susunan Peralatan Penelitian
4. Pengujian kadar Kesadahan (CaCO_3), Bakteri, pH dan ozon terlarut pada Air

Setelah air diolah dengan menggunakan ozon, air tersebut diukur kadar kesadahan (CaCO_3), bakteri, dan pH oleh orang ahli di bidang tersebut di Balai Pengujian dan Informasi Konstruksi selama 7 hari kerja.

Pengujian ozon terlarut dilakukan dengan cara memasukkan ozon ke dalam botol air mineral yang berisi *Kalium Dihidrogen Phosphate* (KH_2PO_4), *Natrium Hidrogen Phosphate* (Na_2PO_4), dan *Kalium Iodida* (KI) 0.06 M yang berfungsi sebagai larutan pengikat ozon agar tidak terurai pada udara bebas. Perubahan warna pada larutan dari bening menjadi kuning merupakan indikasi bahwa ozon telah terikat. Setelah itu, larutan tersebut dimasukkan ke dalam alat Spektrometer UV-Vis dengan panjang gelombang 320 nm agar diketahui nilai absorbansinya dan dapat mengetahui konsentrasi ozon.

Sebelum melakukan pengujian ozon terlarut, dilakukan dengan membuat larutan standar yang terdiri dari 3,2 g *Kalium Iodida* (KI) dan 0,635 g *Iodium* (I_2) untuk menentukan daerah efektif absorbansi dari konsentrasi ozon yang akan ditentukan. KI dan I_2 dilarutkan di dalam labu ukur dengan volume aquadest sebesar 100 ml, kemudian didiamkan pada temperatur kamar tanpa terkena sinar matahari selama satu hari. Ambil 4 ml dari larutan ini, larutkan kembali dengan volume aquadest sebesar 100 ml di dalam labu ukur agar memperoleh larutan I_2 0,001 M. Menggunakan larutan ini untuk standar

kalibrasi di dalam labu ukur dengan volume sebesar 50 ml, setiap kali mengencerkan larutan dari 0,001 M I₂ untuk memperoleh konsentrasi I₂ : 0,5 ml (0,00001 M) sampai 6,0 ml (0,00012 M), dengan selisih volume 0,5 ml (0,00001 M).

Larutan standar ini digunakan untuk membuat grafik kalibrasi menggunakan nilai absorbansi yang dibaca dengan spektrometer UV-Vis. Grafik kalibrasi standar ini digunakan untuk membandingkan nilai absorbansi dari konsentrasi I₂ dengan nilai absorbansi dari konsentrasi ozon di dalam *absorbing solution*. Selanjutnya, dengan melinierkan grafik kalibrasi standar, dapat mengetahui nilai regresi linier. Hal ini bertujuan agar dapat mengetahui nilai absorbansi dari konsentrasi di dalam larutan penyerap.

Untuk menghitung konsentrasi ozon, digunakan perumusan sebagai berikut :

$$C_{O_3} (mg/L) = 48 \times 10^{-3} \times V_1 \times \frac{M_{O_3}}{V} \left(\frac{mg}{L} \right) \quad (1)$$

dengan M_{O_3} adalah konsentrasi Ozon di dalam larutan absorbing (mol/liter) yang didapat dengan pengukuran kalibrasi standar dari nilai absorbansi sampel ozon, V_1 adalah volume larutan penyerap ozon (ml) dan V adalah volume udara sampling (m³).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Arus – Tegangan Reaktor

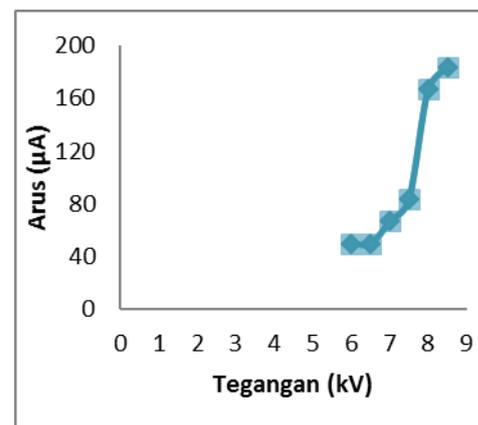
Sumber tegangan tinggi yang diberikan adalah tegangan tinggi arus bolak-balik. Setiap detiknya, arus ini selalu berubah dan biasanya membentuk gelombang sinusoidal yang dapat dibaca dengan osiloskop. Elektron bergerak ke satu arah, lalu bergerak ke arah sebaliknya. Arus dianggap positif ketika elektron mengalir ke satu arah, dan negatif jika arus mengalir ke arah yang berlawanan (Giancoli, 1998).

Arus pada reaktor lucutan plasma berpenghalang dielektrik merupakan arus kapasitif, yaitu

$$i = \frac{dQ}{dt} \quad (2)$$

Arus terjadi karena perubahan muatan listrik pada reaktor karena perubahan waktu. Hal tersebut menyebabkan perpindahan muatan dari satu elektroda dan menambahkannya ke elektroda yang lain. Medan listrik diantara kedua elektroda tersebut akan mempercepat elektron sehingga partikel menumbuk partikel lainnya. Semakin besar tegangan yang diberikan, medan listrik yang muncul juga semakin besar. Pada setiap tumbukan elektron, sebagian energi elektron dipindahkan ke atom yang ditumbuk, sehingga mengakibatkan elektron pada atom yang ditumbuk menjadi tereksitasi (Tipler, 1991). Hal ini mengakibatkan peningkatan temperatur dan terbentuklah plasma non-termal.

Pada penelitian ini, digunakan sistem pembangkit lucutan plasma berpenghalang dielektrik dengan diameter 3 cm dan panjang 15 cm. Sumber tegangan yang diberikan adalah sumber tegangan tinggi AC sebesar 6 kV sampai 8,5 kV. Pemberian tegangan pada rentang tersebut sudah dapat menghasilkan ozon dengan konsentrasi 0,7 ppm sampai 1,2 ppm. Grafik karakteristik arus – tegangan ditunjukkan pada gambar 2



Gambar 2 Grafik Karakteristik Kuat Arus Sebagai Fungsi Tegangan

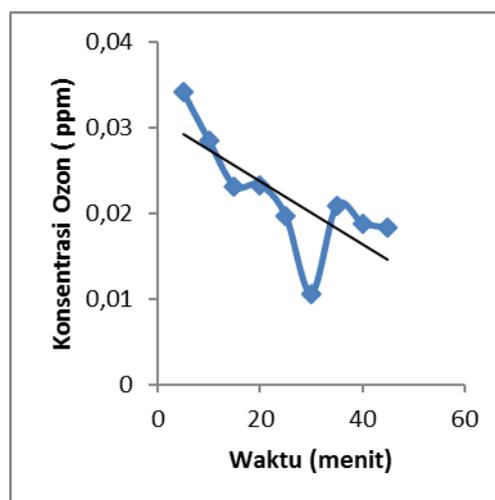
Pada gambar 2 diperoleh bahwa arus yang mengalir sebanding dengan tegangan. Semakin tinggi tegangan, maka arus yang dihasilkan semakin tinggi.

$$(4.1)$$

Tegangan tinggi yang diberikan ke elektroda pada reaktor akan menimbulkan medan listrik. Medan listrik mempercepat pergerakan elektron ke anoda. Sebelum menuju anoda, elektron tersebut bertumbukan dengan atom – atom udara yang terdapat di reaktor. Akibat tumbukan tersebut terjadi eksitasi, ionisasi, deeksitasi, dan rekombinasi pada atom – atom atau udara bebas, sehingga terdapat elektron bebas yang mengalir sebagai arus. Hal tersebut mengakibatkan semakin tinggi tegangan yang diberikan, maka kuat arus menjadi meningkat.

2. Pengaruh Waktu Ozonisasi Terhadap Konsentrasi Ozon Terlarut

Pada penelitian ini menggunakan tegangan konstan, yaitu sebesar 7 kV dan waktu pengolahan selama 5 menit sampai 45 menit. Volume larutan yang digunakan adalah 1 L. Udara bebas yang dimasukkan ke dalam reaktor memiliki kecepatan aliran udara 5,5 L/menit. Proses menghasilkan ozon dilakukan dengan mengalirkan udara ke dalam reaktor dan bereaksi dengan partikel plasma yang telah dibangkitkan. Agar ozon dapat terikat dengan sempurna, maka digunakan larutan pengikat KI yang kemudian dapat ditentukan nilai absorbansinya dari perubahan warna pada larutan. Untuk mengukur nilai absorbansi, digunakan spektrometer UV-Vis dengan panjang gelombang 360 nm. Hasil yang diperoleh, ditunjukkan oleh gambar 3.



Gambar 3 Grafik Konsentrasi Ozon Terlarut

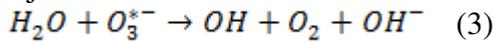
Gambar 3 diperoleh bahwa pada menit ke 5 sampai 15, konsentrasi ozon mengalami penurunan dan terjadi sedikit peningkatan pada menit ke 20. Menit ke 25 sampai 30 kembali mengalami penurunan dan kembali meningkat di menit ke 35. Pada menit ke 40 dan 45, ozon mulai beranjak konstan. Hal tersebut terjadi karena ozon memiliki waktu paruh selama 15 menit dan ozon mulai terurai menjadi oksigen pada waktu 40 menit.

3. Pengaruh Waktu Ozonisasi Terhadap pH

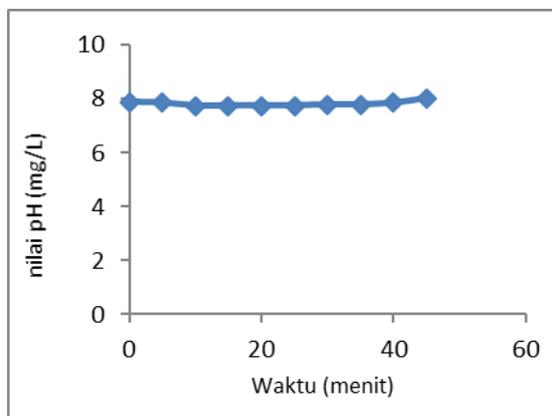
pH merupakan parameter untuk mengetahui derajat keasaman pada air. Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai nilai pH pada 7,0 – 8,5. Nilai pH dapat mempengaruhi proses biokimiawi (Effendi, 2003).

Gambar 4 menunjukkan pengaruh waktu ozonisasi terhadap pH. Pada kondisi 0 menit hingga 10 menit perlakuan, pH air tersebut mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena ion molekul H_2O bertemu dengan molekul O_3^{*-} yang memiliki energi ikat rendah, sehingga menyebabkan ion ^-OH menjadi banyak yang hilang agar reaksi menjadi seimbang sesuai dengan persamaan (3). Apabila ion ^-OH berkurang, maka ion H^+ menjadi lebih banyak, itu berarti air menjadi lebih asam. Jika air tersebut bersifat lebih

asam dari sebelumnya, maka besarnya nilai pH menjadi turun.



Pada menit ke 10 hingga ke 25, konsentrasi ozon cenderung stabil, sehingga nilai pH juga stabil. Hal ini terjadi karena ion pada air dapat mengikat ozon dengan maksimal. pH meningkat pada waktu 30 menit, karena ion pada air mulai jenuh mengikat ozon. Menit ke 30 dan 35 merupakan zona kritis ion pada air dapat mengikat ozon dengan maksimal. Ion pada air menjadi jenuh dan tidak dapat mengikat ozon dengan sempurna pada menit ke 35 hingga 45.



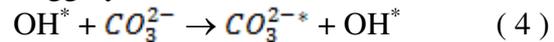
Gambar 4 Grafik Hubungan antara Waktu Ozonisasi Terhadap pH

4. Pengaruh Waktu Ozonisasi Terhadap Kesadahan

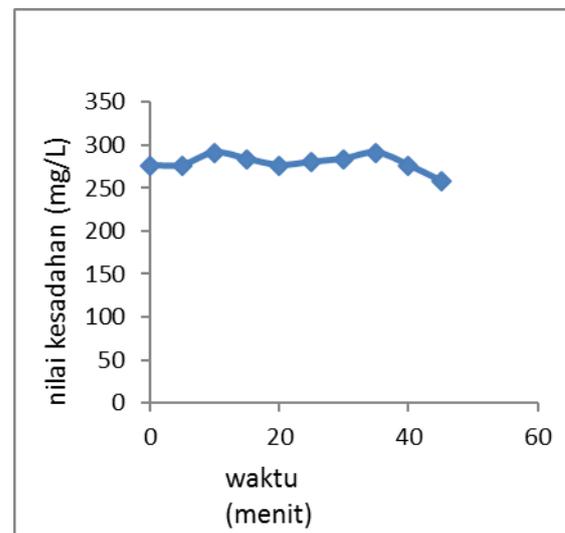
Perairan dengan nilai kesadahan tinggi pada umumnya merupakan perairan yang berada di wilayah yang memiliki lapisan tanah pucuk (*top soil*) tebal dan batuan kapur (Effendi, 2003).

Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa 10 menit pertama, kadar kesadahan meningkat. Hal ini terjadi karena air bersifat asam, maka senyawa karbonat dan batuan kapur dapat larut dalam air. Untuk menit ke 15 hingga ke 20, kesadahan menurun, karena pH air meningkat. Menit ke 20 sampai 35, kadar kesadahan kembali meningkat. Menurut persamaan (4), menunjukkan bahwa kandungan karbonat (CO_3^{2-}) menyebabkan waktu paruh ozon meningkat akibat melambatnya reaksi berantai

pada OH radikal. Itulah yang menyebabkan ozon melemah sehingga nilai kesadahan kembali meningkat. Semakin tinggi pH, maka nilai kesadahan menjadi rendah seperti pada ada menit ke 35 sampai 45. Lokasi sumur air sampel yang dekat dengan sumur pembuangan fases sementara, juga termasuk penyebab tingginya kadar kesadahan.



Dengan * merupakan ion radikal

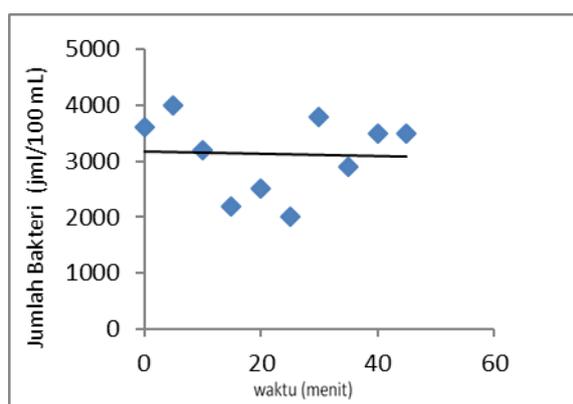


Gambar 5 Grafik Hubungan antara Waktu Ozonisasi dengan Kesadahan ($CaCO_3$)

5. Pengaruh Waktu Ozonisasi Terhadap Total Coliform

Apabila konsentrasi ozon menurun, maka bakteri pathogen dapat berkembang biak lebih banyak. Hal tersebut terjadi karena proses desinfektan dengan menggunakan ozon juga melemah dan bakteri semakin kebal dengan ozon. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sururi, akibat konsentrasi sisa ozon yang rendah, efisiensi yang tidak mencapai 100% dipengaruhi proses transfer ozon dari bentuk gas ke bentuk cair yang terjadi dengan lambat, bahkan lebih lambat dari proses desinfeksi yang terjadi. Karakteristik air juga mempengaruhi konsentrasi sisa ozon terlarut dalam air (Sururi, 2010).

Pada penelitian ini dapat dilihat bahwa jumlah bakteri mengalami peningkatan dan penurunan seperti yang digambarkan oleh gambar 6. Peningkatan dan penurunan tersebut hampir sama dengan peningkatan dan penurunan konsentrasi ozon terlarut pada gambar 3. Jumlah bakteri meningkat saat pH mengalami peningkatan, tetapi nilai kesadahan cenderung menurun.



Gambar 6 Grafik Hubungan antara Waktu Ozonisasi dengan Total Coliform

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil – hasil penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Konsentrasi ozon cenderung menurun dengan penambahan waktu.
2. Nilai pH tidak mengalami perubahan yang signifikan. Konsentrasi ozon tidak terlalu mempengaruhi pH.
3. Penentuan nilai Kesadahan (CaCO_3), dan total coliform dipengaruhi konsentrasi ozon terlarut.

DAFTAR PUSTAKA

Bechaux, J., 1979, *Water Treatment Handbook Fifth Edition*. John Wiley and Sons, New York

Beltran, Fernando J., 2004, *Ozone Reaction Kinetics For Water and Waste Water Systems*, Lewis Publishers, Boca Raton

Chen, J., & Davidson, J.H., 2002, *Ozone Production in the Positive DC Corona Discharge: Model and Comparison to Experiments*, Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol. 22, No. 4

Effendi, Hefni, 2003, *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*, Kanisius Media, Yogyakarta

Ensiklopedia bebas, 2013, pH. <http://id.wikipedia.org/wiki/PH>, 27 Agustus

Fridman, Alexander, 2008, *Plasma Chemistry*, Cambridge University Press, New York

Giancoli, Douglas C., 2001, *Fisika jilid 2*, Edisi Kelima, Erlangga, Jakarta

Kogelschatz, U. dkk., 1999, *From Ozone to Flat Television Screen : History and Future Potential of Dielectric Barrier Discharge*, ABB Corporate Research Ltd, Switzerland

Lagouge, Matthieu, 2013, *Microtechnology-Dry Etching*, 19 November

Nicholson, D.,R., 1976, *Introduction To Plasma Theory*, John Wiley and Sons. Inc., Canada

Nollet, Leo M.L, *Handbook of Water Analysis Second Edition*, CRC Press, Boca Raton

Nur, Muhammad, 2011, *Fisika Plasma dan Aplikasinya*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang

Oktiyana, Wulandary, 2008, *Aplikasi Plasma Lucutan Berpenghalang Dielektrik pada Peningkatan Kualitas Air dengan Mengalirkan Air Secara Langsung Melalui Reaktor Berkonfigurasi Elektroda Spiral-Silinder*, Skripsi S1 Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro, Semarang

- Piel, Alexander, 2010, *Plasma Physics*, Springer, Germany
- Rahel, J, 2000, *Study of Ozone Production by Negative Corona Discharge in Mixtures of Oxygen with some Chlorinated Methanes*, Department of Plasma Physics, Comenius University, Slovakia
- Raizer, Y.P.,1991, *Gas Discharge Physics*, Pringer-Verlag, Berlin
- Rauscher, H., Perucca, M., & Buyle, G., 2010, *Plasma Technology For Hyperfunctional Surface*, Wiley-vch, Italy
- Rojas, M. N, Valencia, 2011, *Research on ozone application as disinfectant and action mechanisms on wastewater microorganisms*, Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances, Institute of Engineering. National Autonomous University of Mexico, Mexico
- Sears, F. W., Zemansky, M. W, 1987, *Fisika untuk Universitas 3 Optika dan Fisika Modern*. (diterjemahkan oleh : Katib, Nabris dan Achmad, Amir), Binacipta, Jakarta
- Sigler, W. Adam, & Bauder, Jim, *Total Coliform and E. coli Bacteria*, Department of Land Resources and Environmental Sciences, Montana State University Extension Quality Program
- Subedi, D. P., dkk, 2012, *Physicochemical and Microbiological Analysis of Drinking Water Treated by Using Ozone*, Sains Malaysia
- Summerfelt, S. T., & Sharer, M. J., 2007, *Ozonation Followed by Ultraviolet Irradiation Provides Effective Bacteria Inactivation in a Freshwater Recirculating System*, Aquaculture Engineering The Conservation Fund's Fresh Water Institute, Shepherdsrown USA
- Sururi, Rangga, dkk, 2010, *Penyisihan Fe-Organic pada Air Tanah dengan Proses Ozonisasi*, Seminar Nasional Sains dan Teknologi Universitas Lampung, Lampung
- Tippler, P.A., 1991, *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 2*, Edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta