

Aplikasi Plasma Lucutan Berpenghalang Dielektrik pada Peningkatan Kualitas Air dengan Mengalirkan Air secara Langsung dalam Reaktor Berkonfigurasi Elektroda Spiral-Silinder

Zaenul Muhlisin¹⁾, Wulandary Oktiyana¹⁾, Muhammad Nur¹⁾

1). Laboratorium Riset Nuklir dan Atom Jurusan Fisika Fakultas MIPA UNDIP

Corresponding author: E-mail: zaenul@undip.ac.id

Abstract

A dielectric barrier discharge plasma reactor has been realized and characterized with air source as a working gas. Ozone and dissolved ozone concentration were measured at various voltages (4 to 8 kV), treatment time (1 to 5 minutes), water flow rate 4.167 l/min and different air flow rates (1.5 and 2.5 l/min). And the other hand, for understand the ability of ozone to improve water quality, dissolved oxygen has been measured at various voltage (3.6 to 5.2 kV) and after treatment time (until 90 minutes). Spiral electrode is made by copper wire with circumference length 500 mm and diameters 1 mm, while cylindrical electrode is made from aluminum foil with 450 mm in length. Aluminum foil is stuck at inner wall of PVC tube with 500 mm in length and diameter 1.25 inch. Pyrex is used as dielectric material, with length 500 mm, inner diameter 10 mm and thickness 1 mm. The result show ozone is produced have maximum concentration 15.613 ppm and dissolved ozone have maximum concentration 10.305 ppm. As a whole ozone concentration higher than dissolved ozone concentration. Both of ozone and dissolved ozone concentration increases by increase of the voltage applied, increases by increase treatment time and increases by decrease of the gas flow rate inside the reactor. Command dissolved oxygen increases with the increase of the high voltage applied and increases after dissociation ozone in water.

Key Words : spiral cylindrical electrode, dielectric barrier discharge, the ozone concentration, the dissolved ozone concentration, dissolved oxygen

Abstrak

Telah terealisasi dan dikarakterisasi reaktor plasma lucutan berpenghalang dielektrik sebagai pembangkit ozon (O₃) dengan sumber masukan udara. Ozon dan ozon terlarut diukur pada variasi tegangan (4-8kV), waktu ozonisasi (1-5 menit), kecepatan aliran air 4,167 liter/menit dan kecepatan aliran udara yang berbeda (1,5 dan 2,5 liter/menit). Selain itu, untuk mengetahui kemampuan ozon untuk meningkatkan kualitas air, juga dilakukan pengukuran konsentrasi oksigen terlarut pada variasi tegangan (3,6-5,2 kV) dan waktu setelah ozonisasi (sampai 90 menit). Elektroda yang digunakan berkonfigurasi spiral silinder. Elektroda spiral terbuat dari kawat tembaga dengan panjang lilitan 500 mm yang 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 dimensi panjang 500 mm, diameter dalam 10 mm dan tebal 1 mm. Pembangkitan plasma lucutan berpenghalang dielektrik menggunakan tegangan AC dengan tegangan sebesar 4-8 kV dan frekuensi 333,33 Hz. Volum air yang akan diozonisasi 1 liter. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi maksimum ozon adalah 15,613 mg/L dan konsentrasi ozon terlarut 10,305 mg/L. Secara keseluruhan, konsentrasi ozon yang dihasilkan lebih besar daripada konsentrasi ozon terlarut. Konsentrasi ozon maupun ozon terlarut meningkat dengan meningkatnya penggunaan tegangan dan penambahan waktu ozonisasi serta penurunan kecepatan aliran udara. Kadar oksigen terlarut meningkat dengan peningkatan penggunaan tegangan dan meningkat setelah ozon di dalam air terurai.

Kata kunci: elektroda spiral-silinder, lucutan berpenghalang dielektrik, konsentrasi ozon, konsentrasi ozon terlarut, oksigen terlarut

PENDAHULUAN

Pencemaran air merupakan penyebab utama krisis air bersih di dunia. Untuk mengatasi masalah tersebut, berbagai cara telah dilakukan untuk mengolah air agar layak digunakan. Salah satu metode utama yang digunakan yaitu pemanfaatan ozon. Ozon merupakan suatu gas yang terbentuk dari tiga atom oksigen yang bersifat sangat reaktif dan lebih tidak stabil dibandingkan oksigen. Ozon merupakan pengoksidasi yang kuat dengan kekuatan oksidasi 6 kali kekuatan oksidasi *chlorine*. Karena sifatnya tersebut ozon digunakan secara luas untuk sterilisasi air dari sampah organik, warna dan disinfektan serta membunuh virus dan meningkatkan suplemen dalam air karena hasil akhir reaksinya berupa oksigen [1-3].

Teknologi pembangkitan ozon yang paling banyak digunakan adalah teknologi lucutan plasma berpenghalang dielektrik. Penelitian menggunakan teknologi ini diantaranya telah dilakukan oleh Miyake *et al.* (2002) dengan elektroda kawat-bidang, kecepatan aliran air 300 mL/menit, kecepatan aliran udara 100–300 mL/menit. Hasilnya, konsentrasi ozon dan ozon terlarut dalam air meningkat pada peningkatan daya dan konsentrasi maksimal diperoleh pada kecepatan aliran udara 100 mL/menit [4]. Sedangkan pada tahun 2006, Supriati menggunakan reaktor spiral-silinder dengan panjang 9,52 cm untuk mensintesis ozon dan ozon terlarut menggunakan sumber udara bebas. Kecepatan aliran udara yang digunakan 1,5 liter/menit, 2,5 liter/menit dan 4 liter/menit. Hasilnya, konsentrasi ozon dan ozon terlarut meningkat pada peningkatan tegangan dan waktu ozonisasi serta menurun pada peningkatan kecepatan aliran udara [5].

Pada penelitian ini akan dikaji karakteristik arus-tegangan pada reaktor

lucutan berpenghalang dielektrik. Kemudian reaktor tersebut akan digunakan untuk mensintesis ozon dan ozon terlarut yang dikaji sebagai fungsi tegangan dan waktu ozonisasi pada perbedaan kecepatan aliran udara. Pada sintesis ozon terlarut dilakukan dengan mengalirkan air secara langsung melalui reaktor. Dalam penelitian ini juga terdapat kajian kandungan DO (*Dissolved Oxygen*) sebagai parameter penentu kualitas air pada air yang mengandung ozon terlarut.

EKSPERIMEN

Elektroda yang digunakan berkonfigurasi spiral silinder. Elektroda spiral terbuat dari kawat tembaga dengan panjang lilitan 500 mm yang berdiameter 1 mm sedangkan elektroda silinder dari lembaran aluminium yang direkatkan pada dinding bagian dalam pipa berdiameter 1,25 *inci* dengan panjang 450 mm. Bahan dielektrik yang digunakan adalah *pyrex*, dengan dimensi panjang 500 mm, diameter dalam 10 mm dan tebal 1 mm. Pembangkitan plasma lucutan berpenghalang dielektrik menggunakan tegangan AC dengan tegangan sebesar 4-8 kV dan frekuensi 333,33 Hz. Volum air yang diozonisasi 1 liter.

Agar dapat menghasilkan ozon, reaktor dihubungkan dengan sumber tegangan tinggi ac dan masukan udara bebas. Sedangkan ozon terlarut dihasilkan dengan memasukkan air dan udara ke dalam reaktor pada tegangan dan waktu ozonisasi tertentu. Elektroda spiral dihubungkan dengan sumber tegangan ac sedangkan elektroda silinder dengan *ground*. Pompa udara memompa udara dengan kecepatan aliran 1,5 liter/menit dan 2,5 liter/menit sedangkan pompa air memompa air dengan kecepatan aliran 4,167 liter/menit. Besarnya tegangan diukur menggunakan osiloskop yang dihubungkan dengan probe (pembagi

tegangan) dan arus lucutan diukur menggunakan amperemeter. Skema penelitian ditunjukkan gambar 1.

Konsentrasi ozon diperoleh dengan melarutkan gas ozon yang telah dihasilkan ke dalam larutan penyerap KI kemudian ditentukan nilai absorbansinya menggunakan Spektrofotometer UV-vis pada panjang gelombang 320 nm. Setelah nilai absorbansi diketahui, nilai konsentrasi dapat ditentukan dengan memasukkan nilai absorbansi pada grafik linier hubungan antara molaritas dan absorbansi dari larutan standart Iodin yang kemudian diolah dengan perhitungan 3.1. Demikian pula apabila menentukan konsentrasi ozon terlarut. Air yang dilewatkan ke dalam reaktor ketika diberikan tegangan, kemudian diberikan reagen pengikat KI. Selanjutnya ditentukan nilai absorbansi dan molaritas yang dilanjutkan dengan penentuan nilai konsentrasi melalui proses yang sama pada penentuan konsentrasi ozon.

$$C_{O_3} \text{ (mg/L)} = 48 \times 10^{-3} \times V_1 \times \frac{M_{O_3}}{V} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \quad (3.1)$$

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 (m^3) dan V adalah volume udara sampling (ml) [6].

Untuk mengetahui kandungan oksigen di dalam air yang sudah mengandung ozon perlu dilakukan uji kandungan DO. Sampel disimpan di dalam botol Winkler kemudian ditambahkan 2 ml larutan mangan sulfat di bawah permukaan cairan. Selanjutnya ditambahkan 2 ml larutan alkali iodida azida dan dikocok untuk kemudian dibiarkan menggumpal selama 10 menit. Pada proses penggumpalan tersebut, terdapat bagian yang jernih yang harus dikeluarkan. 2 ml larutan H_2SO_4 pekat

ditambahkan ke dalam sisa larutan yang mengendap dan digoyang. Seluruh isi botol Winkler yang sudah dipisahkan ini dicampur lagi ke dalam bagian larutan jernih yang dipisahkan sebelumnya dan akan menjadi Iodin. Iodin ini selanjutnya dititrasikan dengan larutan tiosulfat 0,025 N sehingga terjadi warna coklat muda. Ditambahkan indikator kanji 1 - 2 ml yang akan menimbulkan warna biru, titrasi dilanjutkan hingga warna biru hilang untuk pertama kalinya. Perhitungan yang digunakan terdapat pada persamaan 3.2

$$DO = \frac{a.N.8000}{V - 4} \quad (3.2)$$

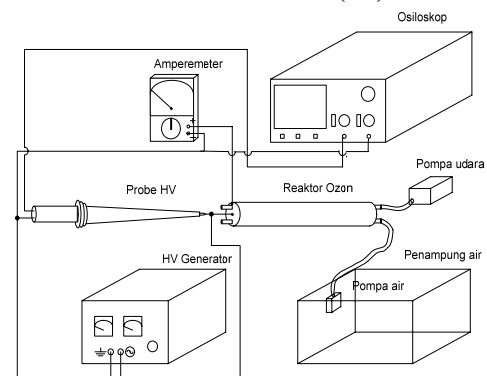
Keterangan :

DO adalah oksigen terlarut ($\text{mg O}_2 / \text{l}$)

a = volum titran natriumtiosulfat (ml)

N = normaliti larutan natriumtiosulfat (N)

V = volum botol Winkler (ml)

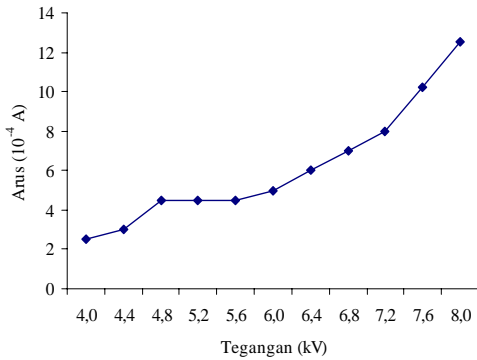


Gambar 1. Skema susunan peralatan penelitian

Hasil dan Pembahasan karakteristik arus-tegangan reaktor

Gambar 2 menunjukkan karakteristik kuat arus sebagai fungsi tegangan pada reaktor lucutan plasma berpenghalang dielektrik. Pada gambar tersebut menunjukkan terjadi peningkatan arus yang terukur pada peningkatan tegangan. Arus listrik yang terukur dari sistem reaktor plasma lucutan berpenghalang dielektrik ini akibat adanya muatan yang terakumulasi

di dalam reaktor (arus lucutan). Muatan listrik terbentuk dari adanya ionisasi berantai karena medan listrik mempercepat elektron sehingga elektron memiliki energi yang cukup untuk mengionisasi molekul yang berada dalam reaktor.



Gambar 2. Grafik karakteristik kuat arus sebagai fungsi tegangan

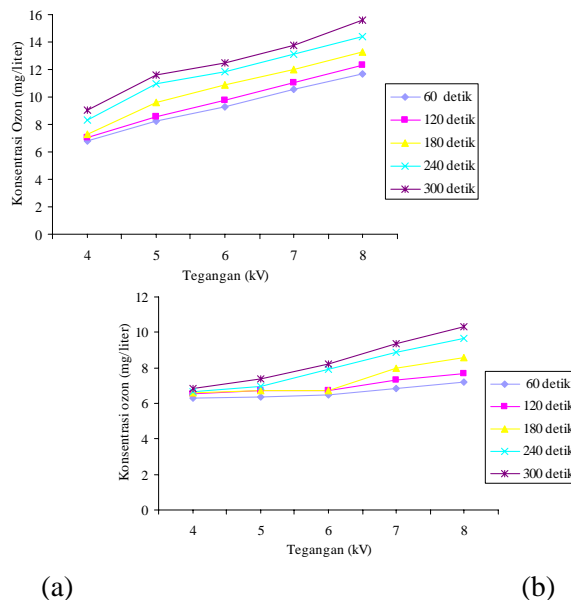
Pengaruh Tegangan pada Konsentrasi Ozon dan Ozon Terlarut

Pengaruh tegangan terhadap konsentrasi ozon dan ozon terlarut pada kecepatan aliran udara tetap (bagian (a) kecepatan aliran udara 1,5 liter/menit

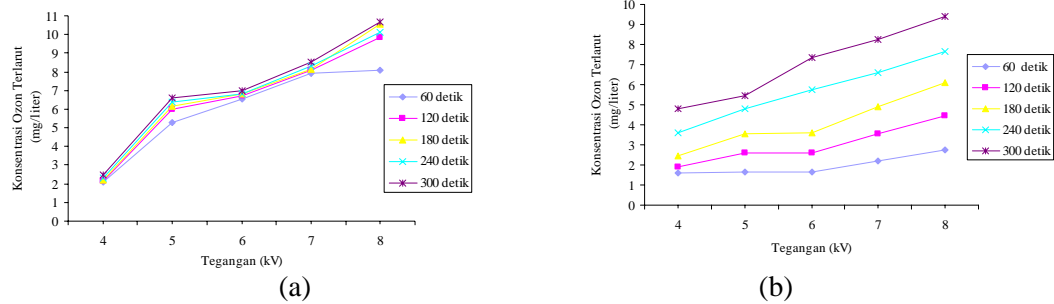
dan bagian (b) kecepatan aliran udara 2,5 liter/menit) ditunjukkan pada gambar 3 dan 4.

Pada waktu ozonisasi 60 detik, konsentrasi ozon pada kecepatan aliran udara 1,5 liter/menit dan tegangan 4 kV mencapai 6,804 mg/L sedangkan pada tegangan 8 kV diperoleh konsentrasi sebesar 11,716 mg/L. Demikian pula pada kecepatan aliran udara 2,5 liter/menit, konsentrasi ozon mencapai 6,296 mg/L pada tegangan 4 kV dan 7,717 mg/L pada tegangan 8 kV.

Konsentrasi ozon terlarut pada waktu ozonisasi 60 detik dan kecepatan aliran udara 1,5 liter/menit minimal diperoleh 2,098 mg/L pada tegangan 4 kV dan maksimal pada tegangan 8 kV yaitu sebesar 8,107 mg/L. Sedangkan pada kecepatan aliran udara 2,5 liter/menit diperoleh konsentrasi ozon terlarut minimal pada tegangan 4 kV yaitu sebesar 1,584 mg/L dan konsentrasi maksimal pada tegangan 8 kV yaitu sebesar 2,731 mg/L.



Gambar 3. Konsentrasi ozon sebagai fungsi dari tegangan (a) Kecepatan aliran udara 1,5 liter/menit dan (b) Kecepatan aliran udara 2,5 liter/menit



Gambar 4. Konsentrasi ozon terlarut sebagai fungsi dari tegangan (a) Kecepatan aliran udara 1,5 liter/menit dan (b) Kecepatan aliran udara 2,5 liter/menit

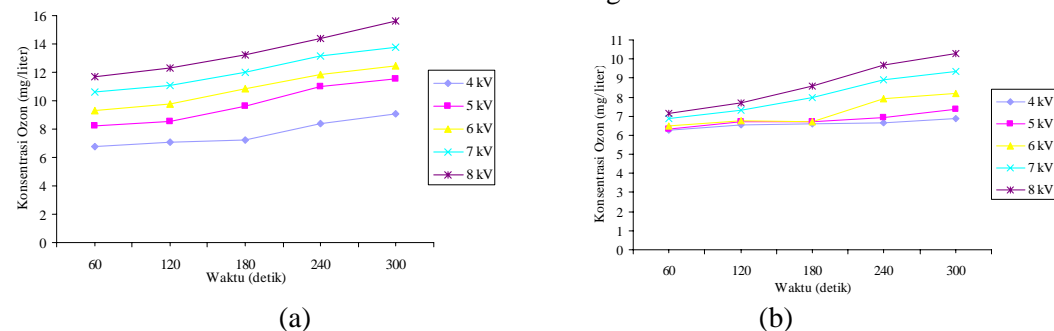
Pengaruh Waktu Ozonisasi pada Konsentrasi Ozon dan Ozon Terlarut

Pengaruh waktu ozonisasi terhadap konsentrasi ozon dan ozon terlarut pada kecepatan aliran udara tetap (bagian(a) kecepatan aliran udara 1,5 liter/menit dan bagian(b) kecepatan aliran udara 2,5 liter/menit) ditunjukkan gambar 5 dan 6.

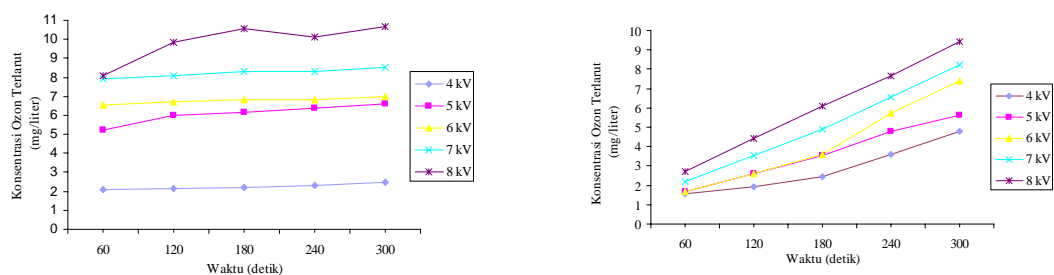
Pada tegangan dan kecepatan aliran udara konstan, konsentrasi ozon dan ozon terlarut meningkat pada peningkatan waktu ozonisasi. Pada tegangan konstan 8 kV dan kecepatan aliran udara 1,5 liter/menit, konsentrasi minimal yaitu 11,716 mg/L pada waktu ozonisasi 60 detik dan konsentrasi maksimal sebesar 15.613 mg/L pada waktu ozonisasi 300 detik. Demikian

pula pada kecepatan aliran udara 2,5 liter/menit, konsentrasi ozon minimal sebesar 7,717 mg/L pada waktu ozonisasi 60 detik dan konsentrasi maksimal sebesar 10,305 mg/L pada waktu ozonisasi 300 detik.

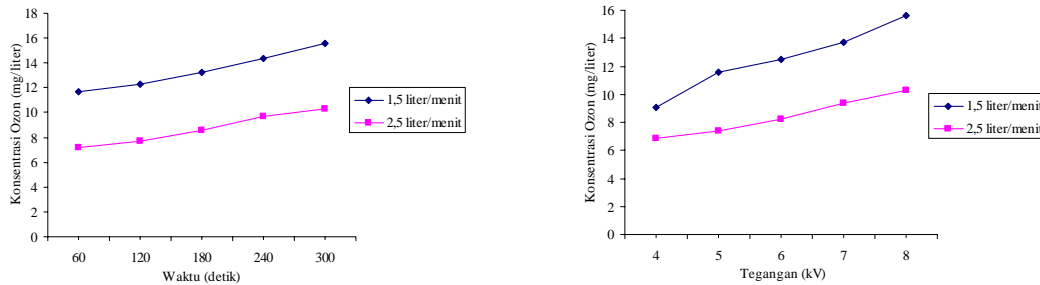
Konsentrasi ozon terlarut juga meningkat pada peningkatan waktu ozonisasi. Pada tegangan konstan 8 kV dan kecepatan aliran udara 1,5 liter/menit, konsentrasi minimal sebesar 8,107 mg/L pada waktu ozonisasi 60 detik dan konsentrasi maksimal sebesar 10,647 mg/L pada waktu ozonisasi 300 detik. Sedangkan pada kecepatan aliran udara 2,5 liter/menit, konsentrasi pada 60 detik sebesar 2,731 mg/L dan waktu ozonisasi 300 detik yaitu sebesar 9,423 mg/L.



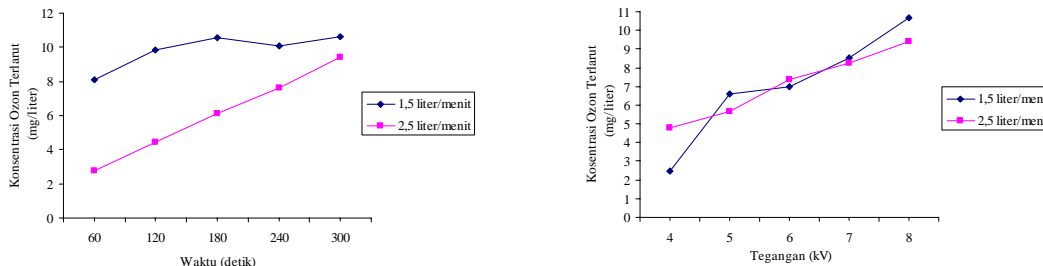
Gambar 5. Konsentrasi ozon sebagai fungsi dari waktu (a) Kecepatan aliran udara 1,5 liter/menit dan (b) Kecepatan aliran udara 2,5 liter/menit



(a) (b)
 Gambar 6. Konsentrasi ozon terlarut sebagai fungsi dari waktu (a) Kecepatan aliran udara 1,5 liter/menit dan (b) Kecepatan aliran udara 2,5 liter/menit



(a) (b)
 Gambar 7. Konsentrasi ozon sebagai fungsi dari kecepatan aliran udara masukan ke dalam reaktor (a) pada tegangan konstan 8 kV (b) pada waktu ozonisasi konstan 300 detik



Gambar 8 Konsentrasi ozon terlarut sebagai fungsi dari kecepatan aliran udara masukan ke dalam reaktor (a) pada tegangan konstan 8 kV (b) pada waktu ozonisasi konstan 300 detik

Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Terhadap Konsentrasi Ozon dan Ozon Terlarut

Gambar 7 dan 8 menunjukkan grafik perbandingan konsentrasi ozon maupun ozon terlarut pada kecepatan aliran udara 1,5 liter/menit dan 2,5 liter/menit. Dari grafik tersebut diketahui bahwa, konsentrasi ozon maupun ozon terlarut lebih besar pada kecepatan aliran udara yang lebih kecil yaitu 1,5 liter/menit. Hal ini terkait dengan densitas (rapat molekul atau muatan) yang ada di dalam reaktor. Ketika diberikan debit udara yang lebih kecil, maka di densitas molekul menjadi lebih kecil sehingga jarak jalan bebas rata-rata masing-masing molkeul untuk dapat bergerak menjadi lebih panjang. Hal ini menyebabkan transfer energi ketika terjadi tumbukan menjadi lebih

efektif apabila dibandingkan dengan densitas yang lebih tinggi.

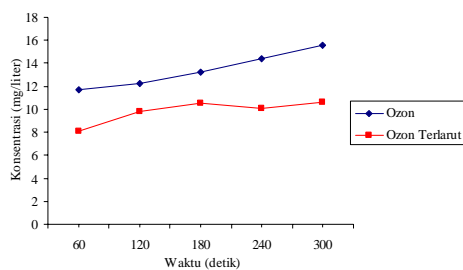
Perbandingan Konsentrasi Ozon dan Ozon Terlarut

Dari grafik pada gambar 9 dan 4.8 dapat diketahui bahwa perbandingan konsentrasi ozon dengan ozon terlarut pada kecepatan aliran udara masukan dan tegangan yang sama, konsentrasi ozon lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi ozon terlarut. Hal ini disebabkan karena untuk menghasilkan ozon terlarut, air langsung mengalir ke dalam reaktor sehingga menempati lebih dari sebagian ruang tempat terjadinya reaksi. Hal ini menyebabkan reaksi yang terjadi antara elektron dan molekul-molekul udara bebas menjadi lebih

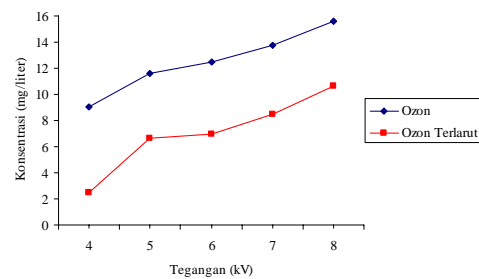
sedikit dibandingkan dengan ketika produksi ozon tanpa masukan air.

Air di dalam reaktor juga dapat bertindak sebagai bahan dielektrik tambahan selain *pyrex* yang menyebabkan medan listrik di antara elektroda tersebut menjadi semakin kecil karena dapat menghasilkan medan balik dengan arah medan berlawanan dengan medan listrik yang dihasilkan oleh elektroda, sehingga medan antar elektroda menjadi lebih kecil. Apabila

medan listrik antar elektroda lebih kecil ,maka energi yang diterima oleh elektron awal juga menjadi lebih kecil. Akibatnya, jumlah eksitasi atau ionisasi yang terjadi semakin menurun dan akan menyebabkan produksi ozon semakin berkurang. Ozon yang dihasilkan ketika terdapat masukan air ke dalam air juga tidak terserap secara keseluruhan, selain larut dalam air, ozon tersebut juga keluar dari reaktor.

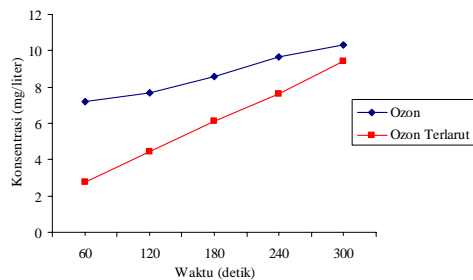


(a)

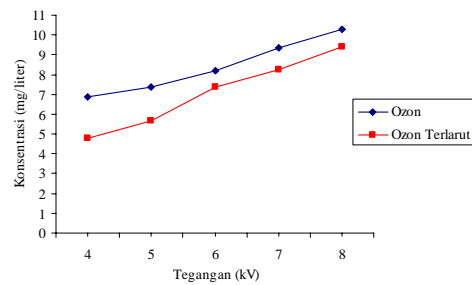


(b)

Gambar 9. Grafik perbandingan konsentrasi ozon dan ozon terlarut untuk kecepatan aliran udara 1,5 L/menit (a) pada tegangan konstan 8 kV dan (b) pada waktu ozonisasi konstan 300 detik

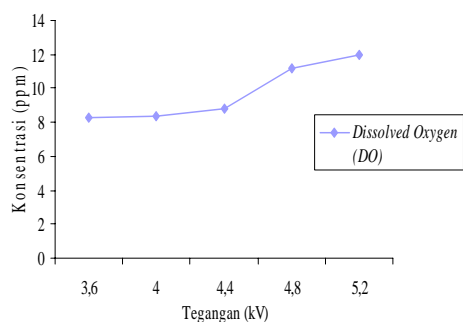


(a)

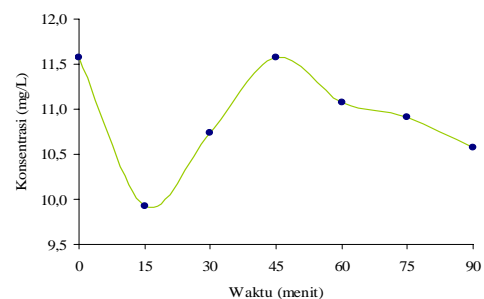


(b)

Gambar 10 Grafik perbandingan konsentrasi ozon dan ozon terlarut untuk kecepatan aliran udara 2,5 L/menit (a) pada tegangan konstan 8 kV (b) dan pada waktu ozonisasi konstan 300 detik



Gambar 11. Konsentrasi DO (*Dissolved Oxygen*) sebagai fungsi tegangan dengan kecepatan aliran udara 1,5 liter/menit



Gambar 12. Konsentrasi DO (*Dissolved Oxygen*) sebagai fungsi waktu setelah ozonisasi dengan kecepatan aliran udara 1,5 liter/menit lama ozonisasi 20 menit

Pengaruh Pembentukan Ozon Terlarut pada Peningkatan Kualitas Air

Gambar 11 menunjukkan hasil pengukuran konsentrasi *dissolved oxygen* (DO) pada air dengan kondisi suhu 30°C. Konsentrasi DO control sebesar 8,4 mg/L. Pada perlakuan dengan ozonisasi pada tegangan 3,6 – 4,4 kV, nilai DO cenderung tidak mengalami perubahan. Nilai DO meningkat setelah memberikan tegangan 4,8 kV yaitu mencapai 12 mg/l pada tegangan 5,2 kV.

Gambar 12 menunjukkan pengukuran DO setelah diozonisasi sampai menit ke 90. Nilai kontrol DO air pada suhu 26°C yaitu 9,09 mg/L. Nilai DO meningkat sesaat setelah diozonisasi mencapai 11,57 mg/L karena adanya masukan udara ke dalam reaktor. Pada menit ke 15, konsentrasi DO menurun karena masih terjadi proses pembentukan ozon yang mengurangi persediaan oksigen. Kemudian nilai DO naik lagi setelah menit 15 sampai menit 45, hal ini disebabkan karena ozon yang terbentuk sangat tidak stabil dan perlahan-lahan terurai kembali menjadi oksigen.

KESIMPULAN

1. Dengan menggunakan reaktor plasma lucutan berpenghalang dielektrik, konsentrasi ozon yang dihasilkan lebih besar dibanding konsentrasi ozon terlarut.
2. Kadar DO (*Dissolved Oxygen*) meningkat ketika diozonisasi dan ozon terurai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lukes, P. dkk, *Czechoslovak Journal of Physics*, Vol.54, April 2004
- [2] Masschelein, W., *Ozone Science and Engineering*, Vol.20, hal.191-203, Juni 1998
- [3] Summerfelt, S. dkk, *Aquaculture Engineering*, Vol.32 hal 209-233, Juni 2004
- [4] Miyake, Y., *et al*, 2002, *Generation of Ozonized Water by Surface Discharge*, Musashi Institute of Technology, Japan
- [5] Supriati, A., 2006, *Aplikasi Lucutan Plasma Penghalang Dielektrik Berkonfigurasi Spiral-Silinder Menggunakan Udara Bebas Sebagai Gas Sumber untuk Menghasilkan Ozon (O₃)*, Skripsi S1 Jurusan Fisika Universitas Diponegoro, Semarang