

PENGARUH OZON YANG DIBANGKITKAN MENGGUNAKAN REAKTOR DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE PLASMA (DBDP) TERHADAP KONSENTRASI OKSIGEN TERLARUT, KESADAHAN, DAN pH PADA AIR MURNI

*Adhi Prasetyo*¹⁾, *Muhammad Nur*¹⁾, *Zaenul Muhlisin*¹⁾, dan *Sapto Purnomo Putro*²⁾

¹⁾*Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang*

²⁾*Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang*

E-mail: adhi.prasetyo@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

A research on the application of dielectric barrier discharge reactor configured as a cylindrical spiral using ozone-producing which using the air as source and in atmospheric conditions. In this study, the observed effect of ozonation to show the influence to dissolved oxygen, pH and Calcium carbonate. Active Electrode using copper wire spiral and has pyrex to be the dielectric. Plasma produce using AC voltages of 2 kV, 10 kV, 12.5 kV and frequencies between 880 Hz to 891 Hz. Air flow rate of 1.5 L / min. At the same time ozonation, using different voltage produce different ozone concentrations. If more voltage applied, the concentration of ozone is increasing. Similarly, the measurement of dissolved oxygen concentration and Calcium carbonate. But of water pH measurements obtained tends to be stable.

Keywords: *Calcium carbonate, DBD reactor, dissolved oxygen, ozone, pH.*

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang aplikasi reaktor dielectric barrier discharge berkonfigurasi spiral silinder sebagai penghasil ozon menggunakan sumber udara bebas pada kondisi atmosfer. Pada penelitian ini diamati pengaruh ozonasi terhadap kadar oksigen terlarut, pH, dan kesadahan. Eelektroda aktif menggunakan kawat tembaga yang dibentuk spiral dan berdielektrik pyrex. Pembangkitan plasma menggunakan tegangan AC sebesar 2 kV, 10 kV dan 12,5 kV serta frekuensi antara 880 Hz sampai 891 Hz. Kecepatan aliran udara sebesar 1,5 L/menit. Pada waktu ozonasi yang sama, menggunakan tegangan yang berbeda mendapatkan konsentrasi ozon yang berbeda. Semakin besar tegangan yang diberikan maka konsentrasi ozon semakin meningkat. Begitu pula hasil pengukuran konsentrasi oksigen terlarut dan kesadahan. Namun dari pengukuran pH air diperoleh cenderung stabil.

Kata kunci: *Kesadahan, Reaktor DBD, oksigen terlarut, ozon, pH.*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pada zaman modern ini tidak hanya bertujuan untuk teknologi itu sendiri, melainkan yang lebih penting adalah untuk kesejahteraan manusia. 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 enam kali kekuatan oksidasi klorin. Karena sifatnya tersebut ozon digunakan secara luas untuk sterilisasi air dari sampah organik, warna dan desinfektan serta

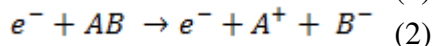
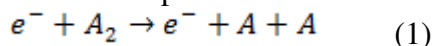
membunuh virus dan meningkatkan suplemen dalam air karena hasil akhir reaksinya berupa oksigen [1].

Lucutan plasma penghalang dielektrik berbentuk koaksial (*Coaxial Dielectric Barrier Discharge*) merupakan sistem tertutup. Lucutan plasma ini dihasilkan pada celah di antara dua elektroda yaitu elektroda kawat sebagai elektroda aktif di bagian dalamnya dan elektroda terluar (elektroda pasif) yang berupa lembaran aluminium dengan tabung gelas pyrex sebagai penghalang [2]. Bila kedua elektroda ini diberi tegangan listrik maka akan menghasilkan medan listrik yang tidak homogen, muatan

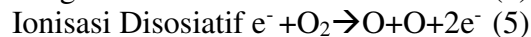
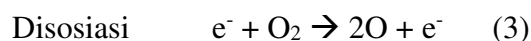
ruang (*space-charge*) akan timbul sebelum terjadinya tembus total dan distribusi medan listrik yang terjadi akan mempengaruhi nilai dari tegangan dadal [3].

DASAR TEORI

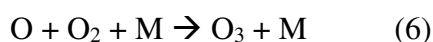
Ionisasi didefinisikan sebagai proses terlepasnya elektron suatu atom atau molekul dari ikatannya. Energi yang dibutuhkan untuk melepas satu atau lebih elektron dari orbitnya pada sebuah atom atau molekul dapat didefinisikan sebagai energi ionisasi E_i . Suatu atom atau molekul akan menjadi ion positif apabila memiliki kelebihan muatan positif, dan akan menjadi ion negatif apabila kelebihan muatan negatif [4]. Sedangkan eksitasi adalah peristiwa ketika elektron yang berada di tingkat energi lebih rendah berpindah ke tingkat energi lebih tinggi dengan menyerap energi elektron yang menemukannya [5]. Peristiwa ionisasi dapat menyebabkan terjadinya disosiasi, atau disebut juga pemisahan suatu molekul menjadi atom-atom penyusunnya. Proses disosiasi ditunjukkan dalam persamaan reaksi berikut:



Lucutan plasma penghalang dielektrik ini dapat dengan mudah menghasilkan O^* , O_2^* , OH^* dan H^* , karena formasi radikal berorde 10 eV maka energi elektron pada lucutan plasma ini mendekati besarnya energi yang dibutuhkan untuk pembentukan radikal. Pembentukan ozon dalam lucutan plasma ini diawali dengan pembentukan oksigen radikal bebas dengan reaksi sebagai berikut :



Lalu radikal oksigen akan bereaksi dengan oksigen untuk menghasilkan ozon.



Dengan $M = N_2$ atau O_2 [6]. Dari senyawa oksidasi pada umumnya, ozon adalah senyawa kedua setelah fluor.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2014 - Februari 2015 di Laboratorium Atom dan Nuklir Jurusan Fisika. 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 288 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 aquades 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 aquades 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 I_2 untuk memperoleh konsentrasi I_2 : 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 [7] :

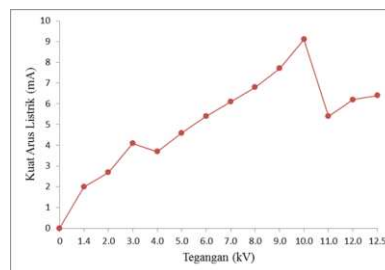
$$C_{O_3} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 48 \times 10^3 \times V_1 \times \frac{M_{O_3}}{V} \quad (7)$$

Dengan M_{O₃} adalah konsentrasi Ozon di dalam larutan *absorbing* (mol/liter) yang didapat dengan pengukuran kalibrasi standar dari nilai absorbansi sampel ozon, V₁ adalah volume larutan penyerap ozon (ml) dan V adalah volume udara sampling (m³).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Arus Listrik Terhadap Tegangan pada Reaktor DBDP

Penelitian ini dimulai dengan menentukan karakteristik arus dan tegangan pada reaktor *Dielectric Barrier Discharge Plasma*. Tegangan yang diberikan ke elektroda pada reaktor akan menimbulkan medan listrik yang tidak homogen. Medan listrik tersebut akan mempercepat pergerakan elektron menuju elektroda yang sesuai sehingga terjadi aliran muatan listrik. Sebelum menuju elektroda, 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. Grafik karakteristik arus-tegangan ditunjukkan pada gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Grafik karakteristik kuat arus listrik (mA) sebagai fungsi tegangan (kV)

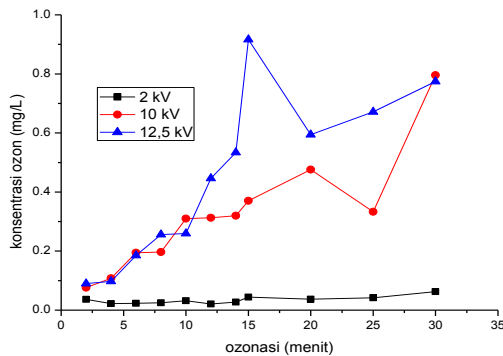
Efek total dari pemuatan dalam reaktor adalah memindahkan muatan dari satu elektroda dan menambahkannya ke elektroda yang lain maka medan listrik di antara kedua elektroda akan mempercepat elektron sehingga elektron menumbuk partikel lainnya. Arus di dalam reaktor lucutan plasma berpenghalang dielektrik merupakan arus kapasitif yakni [8]:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (8)$$

Daya yang digunakan pada rangkaian Reaktor DBD adalah sebesar 90 Watt. Segingga terdapat arus listrik maksimum yang terukur pada rangkaian. Dari gambar 1 diperoleh nilai arus listrik terus meningkat hingga kemudian mengalami penurunan. Nilai tertinggi arus listrik menunjukkan arus maksimum rangkaian, sehingga apabila diberikan tegangan berlebih maka arus listrik menjadi turun karena dayanya tetap.

2. Pengaruh Tegangan Listrik Terhadap Konsentrasi Ozon

Sumber udara bebas yang dimasukkan ke dalam reaktor dengan kecepatan aliran udara 1,5 liter/menit pada tegangan 1,38 kV, 10 kV, dan 12,5 kV. Grafik yang menunjukkan hubungan antara tegangan yang digunakan dengan konsentrasi ozon yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 2.



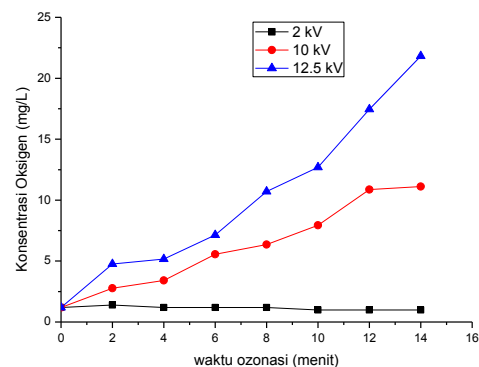
Gambar 2. Konsentrasi ozon sebagai fungsi waktu pada tegangan 2 kV, 10 kV, dan 12,5 kV menggunakan kecepatan aliran udara 1,5 L/menit.

Dari Gambar 2 terlihat konsentrasi ozon semakin meningkat dengan peningkatan tegangan yang diberikan. Konsentrasi ozon pada tegangan yang berbeda di waktu yang sama menghasilkan konsentrasi yang berbeda pula. Ini dikarenakan ketika tegangan semakin tinggi, medan listrik yang terbentuk di dalam reaktor menjadi lebih tinggi. Hal ini mengakibatkan elektron awal akan mempunyai energi yang lebih tinggi yang dapat digunakan untuk menghasilkan proses ionisasi yang lebih banyak. Pergerakan elektron semakin cepat dan probabilitas tumbukan menjadi lebih tinggi sehingga menyebabkan konsentrasi ozon lebih tinggi [9].

3. Pengaruh Tegangan pada Konsentrasi Oksigen Terlarut

Oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) merupakan parameter kualitas air yang paling umum digunakan. Kelarutan oksigen dalam air segar/tawar berkisar dari 14,6 mg/liter pada suhu 0°C hingga 7,1 mg/liter pada suhu 35°C pada tekanan 1 atm [10]. Rendahnya kandungan oksigen terlarut dalam air berpengaruh buruk terhadap kehidupan ikan dan kehidupan akuatik lainnya, dan apabila tidak terdapat oksigen terlarut mengakibatkan munculnya kondisi anaerobik dengan bau busuk dan permasalahan estetika lainnya. Untuk mengetahui pengaruh ozonasi terhadap

kadar DO, dilakukan pengujian DO pada air sebelum dan sesudah dikenai ozon dengan beberapa variasi tegangan. Mula-mula tanpa pemberian ozon, konsentrasi DO yang terukur sebesar 1,1906 mg/liter pada suhu 30°C dan aliran udara sebesar 1,5 liter/menit. Hubungan konsentrasi DO dan waktu ozonasi pada beberapa tegangan konstan dapat dilihat pada gambar 4.4 sebagai berikut:

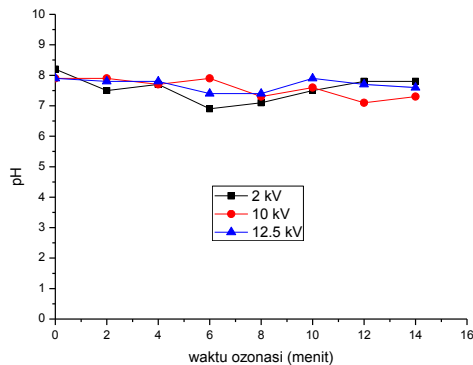


Gambar 3. Konsentrasi oksigen sebagai fungsi waktu pada tegangan 2 kV, 10 kV, dan 12,5 kV menggunakan kecepatan aliran udara 1,5 L/menit.

Data yang diperoleh sesuai grafik pada gambar 3 menunjukkan bahwa pada waktu yang sama menggunakan tegangan yang berbeda maka diperoleh kadar oksigen yang berbeda. Semakin tinggi tegangan yang diberikan maka semakin tinggi pula oksigen yang dihasilkan. Hal tersebut dapat terjadi karena hasil samping ozonasi adalah oksigen, yaitu pelepasan satu atom O dari O₃. Sehingga ozonasi dapat meningkatkan kualitas air pada parameter DO.

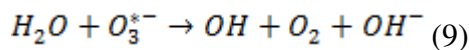
4. Pengaruh Waktu Ozonisasi Terhadap pH

Parameter untuk mengetahui derajat keasaman pada air disebut pH. Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai nilai pH pada 7,0–8,5. Nilai pH dapat mempengaruhi proses biokimiawi [11]. Gambar 4.5 menunjukkan pengaruh waktu ozonasi terhadap pH.



Gambar 4. Grafik karakteristik nilai Ph terhadap fungsi waktu pada tegangan 2 kV, 10 kV dan 12,5 kV menggunakan kecepatan aliran udara 1,5 L/menit

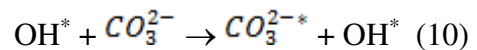
Dari hasil pengukuran diperoleh pH air tersebut cenderung stabil. Hal ini terjadi karena ion molekul H_2O bertemu dengan molekul O_3^{*-} yang memiliki energi ikat rendah, sehingga menyebabkan ion OH^- menjadi banyak yang hilang agar reaksi menjadi seimbang sesuai dengan (R.7). Apabila ion OH^- dan ion H^+ seimbang, maka nilai pH cenderung stabil. Karena bila nilai H^+ semakin banyak, maka air menjadi bersifat asam.



Meskipun konsentrasi ozon semakin meningkat sesuai dengan kenaikan tegangan, namun nilai pH cenderung stabil. Hal ini terjadi karena ion pada air dapat mengikat ozon dengan maksimal. Dari gambar 4 nilai pH cenderung stabil, pada penelitian ini karena ion pada air mulai jenuh mengikat ozon dan karena terdapat zona kritis ion pada air dapat mengikat ozon dengan maksimal. Ion pada air menjadi jenuh dan tidak dapat mengikat ozon dengan sempurna.

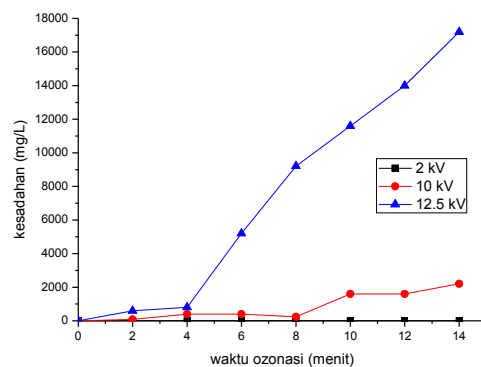
5. Pengaruh Ozonasi Terhadap Kesadahan ($CaCO_3$)

Sifat kesadahan air berkaitan dengan adanya ion Kalsium (Ca^{+2}) dan Magnesium (Mg^{+2}) dalam air. Air yang mempunyai kesadahan tinggi sangat merugikan. Saat menit ke 4 hingga 14, kesadahan meningkat karena proses ozonasi. Menurut reaksi (R.7), menunjukkan bahwa kandungan karbonat (CO_3^{2-}) menyebabkan waktu paruh ozon meningkat akibat melambatnya reaksi berantai pada OH radikal.



Dengan (*) merupakan ion radikal

Hal tersebut yang menyebabkan ozon terurai. Dari Gambar 5 menunjukkan bahwa kadar kesadahan mengalami peningkatan dengan semakin bertambahnya waktu ozonasi. Karena semakin banyaknya padatan terlarut yang lepas dari mortar ke lingkungan (larutan ozon). Aquades yang sebelumnya tidak mengandung logam-logam terlarut atau unsur lainnya akan menyebabkan kesetimbangan, adanya kesetimbangan tersebut menyebabkan terjadinya penyerapan ion atau unsur mortar ke dalam aquades.



Gambar 5. Grafik karakteristik kesadahan ($CaCO_3$) terhadap waktu ozonasi pada tegangan 2 kV, 10 kV, dan 12,5 kV menggunakan kecepatan aliran udara 1,5 L/menit

Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai kesadahan pada ozonasi menggunakan tegangan 2 kV bernilai 0 mg/L baik dari menit

pertama hingga menit ke 14. Pada tegangan 10 kV terdapat kenaikan nilai kesadahan hingga 2200 mg/L. Hingga pada tegangan 12,5 kV nilai kesadahan menjadi 17200 mg/L pada menit ke 14. Terdapat dua jenis kesadahan yaitu kesadahan sementara dan kesadahan tetap. Pada kesadahan sementara, agar nilai sadah dapat turun, maka hanya perlu dilakukan pemanasan. Namun, pada kesadahan tetap, perlu dilakukan proses kimiawi agar nilai sadah dapat turun. Dari hasil penelitian diperoleh nilai kesadahan yang cukup tinggi baik menggunakan tegangan 10 kV maupun 12,5 kV.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal, sebagai berikut:

1. Karakteristik arus pada reaktor DBDP menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya tegangan yang diberikan hingga pada tegangan 10 kV merupakan puncak atau daya maksimum dari reaktor DBDP.
2. Konsentrasi ozon, oksigen terlarut, dan kesadahan semakin meningkat dengan pertambahan waktu ozonasi. Namun pH cenderung stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Lukes, P., 2004, *Czechoslovak Journal of Physics*, Vol.54.
- [2]. Kuraica, M.M., 1996, *Application of Coaxial Dielectric Barrier Discharge for Portable and Waste Water Treatment*, Faculty of Physics, Serbia and Montenegro.
- [3]. Abduh, S., 2001, *Teknik Tegangan Tinggi*, Edisi Pertama, Salemba Teknika, Jakarta.
- [4]. Lieberman, M.A., Lichtenberg, A.J., 1994, *Principles of Plasma Discharges and Material Processing*, John Wiley & Sons inc, USA.
- [5]. Nur, M., 2011, *Fisika Plasma dan Aplikasinya*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
- [6]. Tseng, C.H., 1999, The Application of Pulsed Corona Discharge Technology in Flue Gas Desulfurization, The Air and Waste Management Association's, 92nd Annual Meeting & Exhibition, St Louis, Missouri, USA.
- [7]. Radojevic, M., Bashkin, V.N., 1998, *Practical Environmental Analysis*, MPG Books Ltd, Bodmin, Cornwall, UK.
- [8]. Maylia, R., Nur, M., Muhlisin, Z., 2014, Aplikasi Plasma Lucutan Berpenghalang Dielektrik Pada Pengolahan Air Sumur: Pengaruh Terhadap pH, Kesadahan, dan Total Coliform, *Youngster Physics Journal*, Vol. 2, No. 1, Januari, Hal 55-62.
- [9]. Rijal, S. Dan Nur, M. 2015. Analisa Pengaruh Ozonasi Hasil Lucutan Plasma Berpenghalang Dielektrik Pada Beras terhadap Perubahan Amilografi, Kekerasan, dan Warna, *Youngster Physics Journal*, Vol 4, No 1, Januari, hal 61-66.
- [10]. Canter, L.W., 1997, *Environmental Impact Assessment*, McGraw-Hill Book Company, Inc. New York Ch.5.pp.86-119.
- [11]. Effendi, H., 2003, *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*, Kanisius Media, Yogyakarta.