

IDENTIFIKASI OZON DAN APLIKASINYA SEBAGAI DESINFEKTAN

Isyuniarto, Widdi Usada, Suryadi, Agus Purwadi, Mintolo, Tri Rusmanto

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju

ABSTRAK

IDENTIFIKASI OZON DAN APLIKASINYA SEBAGAI DESINFEKTAN. Telah dilakukan identifikasi ozon dan aplikasinya sebagai desinfektan. Ozon dibuat dari udara dan gas oksigen yang dihasilkan dari alat ozoniser. Untuk mengidentifikasi ozon digunakan metode spektrofotometri pada panjang gelombang maksimum 252 nm, waktu kestabilan 20-25 menit, sedang untuk menghitung ozon secara kuantitatif digunakan pembandingan larutan iodium (I_2) karena mol I_2 sebanding dengan mol ozon. Ozon ini kemudian dikontakkan dengan sampel air sumur yang tercemar bakteri E-coli dan ternyata hasilnya sangat efektif untuk membunuh bakteri E-coli tersebut.

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF OZONE AND ITS APPLICATION AS DESINFEKTAN. Identification of ozone and its application as desinfektan had been done. Ozone made of air and oxygen gas yielded from ozoniser instruments. To identify ozone used spectrophotometry method at maximum wavelength of 352 nm, stability time 20-25 minutes, while the calculation of ozone quantitatively was used the reference solution iodium I_2 , because the mole of I_2 was proportional with the ozone mole. This Ozone was then contacted with the sample of well water contaminated by E-coli bacterium and the result was obviously effective.

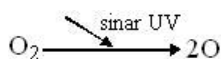
PENDAHULUAN

Pengetahuan dasar tentang dinamika dan kinetika materi ke empat yang biasa disebut plasma, telah berkembang dalam bidang produksi cahaya, astrofisika, laser gas dan meluas sampai fusi termonuklir. Namun dalam sepuluh tahun terakhir ini, minat penelitian plasma telah diarahkan dan dikembangkan pada bidang kimia yang dikenal sebagai kimia plasma, dan salah satu yang termasuk dalam bidang kimia plasma adalah dalam hal pembuatan gas ozon (O_3) dari gas oksigen murni maupun dari udara, dengan piranti yang disebut generator ozon (ozonizer).

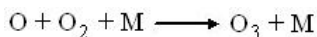
Dalam kehidupan di bumi ozon berguna untuk melindungi makhluk hidup dari radiasi ultra violet yang dipancarkan sinar matahari dimana radiasi ultra violet tersebut mempunyai panjang gelombang pendek namun mempunyai energi yang sangat tinggi.

Disamping sebagai perisai kehidupan makhluk di bumi, ozon dapat pula berfungsi sebagai zat pengoksidasi yang sangat kuat sehingga dapat digunakan sebagai desinfektan dalam proses pemurnian air minum dan bahkan akhir-akhir ini ozon dipakai pula dalam dunia medis untuk terapi yang dikenal sebagai terapi ozon.⁽¹⁾

Ozon (O_3) merupakan gas tri atomik, sebuah allotropi oksigen yang dapat terbentuk akibat rekombinasi diantara atom-atom oksigen. Secara alami ozon terbentuk pada lapisan stratosfir pada ketinggian lebih-kurang 35 km di atas permukaan bumi. Pada daerah ini cahaya ultra violet yang dipancarkan oleh matahari akan diserap oleh molekul-molekul oksigen, sehingga molekul oksigen akan terurai menjadi atom-atom oksigen sebagaimana reaksi berikut :



Tiap-tiap atom oksigen yang terbentuk kemudian akan bergabung dengan molekul-molekul oksigen lain sehingga akan membentuk molekul ozon menurut reaksi berikut :



Dari persamaan reaksi diatas M adalah partikel ke tiga yang harus ada seperti : molekul oksigen, N_2 , atau partikel lain yang ada dalam atmosfer, partikel-partikel tersebut berfungsi untuk menyerap energi yang dibebaskan pada saat terjadinya reaksi di atas, jika tidak, maka O_3 yang terbentuk akan segera terurai menjadi O_2 dengan cepat.

Secara teknik, ozon dapat dibuat dengan cara melewati oksigen atau udara ke dalam ruangan sempit diantara dua elektrode yang mempunyai beda tegangan yang sangat tinggi (biasanya dalam orde 5-20 kV) yang dikenal sebagai tabung reaktor lucutan senyap (silent discharge). Lucutan senyap sendiri merupakan plasma tak seimbang dalam arti elektron-elektron dalam plasma mempunyai tenaga/temperatur yang jauh lebih tinggi daripada partikel-partikel beratnya (gas netral). Medan susut E/n (perbandingan medan listrik E dengan kerapatan gas netral n) merupakan parameter penting dalam lucutan senyap karena harga parameter E/n disini menentukan distribusi tenaga elektron maupun tenaga elektron rerata dalam plasma, sehingga apakah plasma akan berada dalam kesetimbangan atau tidak sangat bergantung pada besaran fisis ini.⁽²⁾

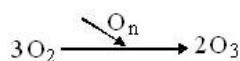
Pembagian plasma tak seimbang ke dalam kelompok lucutan tertentu, tergantung pada mekanisme yang dipakai meliputi : jenis gas kerja, besar tekanan dan geometri elektrode, yang semua ini akan mempengaruhi karakteristik parameter fisisnya. Lucutan senyap yang dipergunakan mempunyai karakteristik parameter seperti ditunjukkan pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Karakteristik parameter lucutan senyap.⁽²⁾

No.	Parameter	Harga Parameter
1	Tekanan	1 bar
2	Medan listrik	0,5 – 50 kV/cm
3	Medan susut	2,0 - 200 Td
4	Tenaga elektron	5 eV
5	Kerapatan elektron	10^{13} cm^{-3}
6	Derajat ionisasi	10^{-4}

Adanya dielektrik yang menutup salah satu elektrode adalah merupakan kunci dari keistimewaan lucutan senyap, dimana dielektrik dapat berfungsi sebagai sumber filamen arus yang berisi elektron energetik (1-10 eV). Besarnya tenaga ini merupakan daerah kisaran tenaga ideal untuk terjadinya eksitasi dari partikel atom dan molekul, sehingga mampu untuk memisahkan ikatan-ikatan kimia suatu partikel. Atom dan molekul yang tereksitasi akan memiliki reaktifitas yang lebih tinggi daripada mereka yang berada dalam keadaan dasar (ground state). Oleh karenanya lucutan senyap merupakan lucutan yang paling sesuai digunakan dalam bidang aplikasi kimia plasma dibandingkan dengan model lucutan tak seimbang lainnya seperti lucutan bara (glow discharge) ataupun lucutan gelombang mikro.⁽²⁾

Apabila tegangan satu arah dengan frekuensi menengah (1 KHz) diberikan pada celah lucutan diantara dua elektrode yang berisi oksigen maka dapat dihasilkan ozon. Ozon tidak stabil yang diperoleh dari masukan gas oksigen ini dapat terbentuk menurut persamaan reaksi :



Untuk menjamin perubahan oksigen ke ozon optimum maka lucutan bara homogen biru violet dipertahankan, lucutan bara dibuat dengan memasukkan material dielektrik antara kedua elektrode yang menyebabkan lucutan menyebar homogen dan mencegah runtuhnya ke arah lucutan busur. Perkalian tekanan dan jarak antara

elektrode dibuat sedemikian hingga tegangan operasi dapat dipertahankan relatif pada harga rendah. Material dielektrik tipis dengan harga konstanta dielektri tinggi yang konstan harus dipergunakan sehingga dapat diperoleh ozon dengan efisiensi tinggi.⁽²⁾ Pembuatan ozon menggunakan masukan gas oksigen lebih menguntungkan daripada menggunakan udara, karena pada kondisi operasi yang sama kuantitas ozon naik 2 – 3 kali, sedangkan kalau menggunakan udara maka air dalam udara harus dihilangkan dahulu, karena apabila konsentrasi uap air tinggi tidak hanya produksi ozon yang dipengaruhi tetapi oksida nitrogen juga dapat membentuk senyawa HNO_3 yang dapat mempercepat dekomposisi ozon dan dapat menyebabkan korosi pada logam sehingga resiko kerusakan dielektrik juga bertambah.

Salah satu aplikasi ozon di lapangan adalah sebagai desinfektan air, khususnya penyediaan air minum. Pencemar air yang sering mengganggu masyarakat pedesaan atau perkotaan adalah adanya bakteri E.Coli. Bakteri E.Coli sangat dominan hidup di saluran pencernaan manusia atau hewan, bila melebihi ambang batas akan menimbulkan penyakit perut yang serius. Contoh penyakit yang ditimbulkan antara lain penyakit deare, desentri, tipus, kholera dan lain-lain.

Pencemaran Bakteri E.Coli berasal dari kotoran manusia atau hewan yang terbawa oleh media air dan masuk meresap kedalam lapisan tanah, sehingga mencemari sumur disekitarnya atau dapat juga melalui udara yang langsung terhirup melalui saluran pernapasan manusia. Diharapkan dengan teknologi ozon ini mampu menekan adanya polusi bakteri ini.

Mengingat manfaat ozon yang begitu banyak dan besar bagi umat manusia, maka penelitian ozon dan aplikasinya perlu dikembangkan seperti yang saat ini sedang dirintis dan dilakukan di Pusat Penelitian

dan Pengembangan Teknologi Maju (P3TM) BATAN Yogyakarta.

TATA KERJA

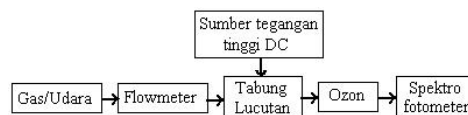
Bahan

Bahan-bahan kimia yang diperlukan adalah : Iodida, KI, NH_2HPO_4 dan KH_2PO_4 , gas oksigen dan aquades.

Alat

Tabung lucutan terhalang dielektrik (LTD), sumber tegangan tinggi DC, Flowmeter, Spektrofotometer, neraca analitik dan alat-alat gelas.

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan ozon dan analisisnya tertera pada Gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. Skema pembuatan ozon dan analisisnya.

Cara Kerja

1. Pembuatan larutan induk iodida

16,0 gr KI + 3,173 gr I_2 dilarutkan dalam aquades. Volumnya dijadikan 500 ml, maka konsentrasi larutan induk I_2 adalah 0,025 M I_2 . Larutan ini disimpan dalam botol coklat/gelap.

2. Pembuatan larutan penyangga (buffer)

13,61 gr KH_2PO_4 + 14,2 gr Na_2HPO_4 + 10 gr KI. Volume akhir dijadikan 1 liter dengan aquades. Larutan ini disimpan dalam botol coklat/gelap dan selalu dalam kondisi baru.

3. Penentuan panjang gelombang maksimum larutan I_2

Dari larutan I_2 induk no. (1) diambil 5 ml, kemudian diencerkan menjadi 100 ml dengan larutan buffer. Dari larutan ini diambil 1 ml dan dijadikan 50 ml dengan larutan buffer, kemudian diamati

menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang : 300 - 400 nm.

4. Penentuan waktu kestabilan larutan iodida

Dari larutan I_2 induk no. (1) diambil 5 ml, kemudian diencerkan menjadi 50 ml dengan larutan buffer. Kemudian larutan ini diamati absorbansinya pada berbagai variasi waktu pada panjang gelombang maksimum no.(2).

5. Pembuatan kurva standar larutan iodida

Larutan induk I_2 no. 1 diambil 5 ml, diencerkan dengan buffer menjadi 100 ml, maka akan diperoleh larutan I_2 dengan konsentrasi 0,00125 M atau 1250 μmol . Dari larutan ini dipipet berturut-turut : 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 dan 1,0 ml, maka akan diperoleh deret standar I_2 sebagai berikut : 5, 10, 15, 20 dan 25 μmol . Setelah diamati dengan spektrofotometer kemudian dibuat kurva standar I_2 .

6. Pembuatan ozon dari oksigen maupun udara pada variasi kecepatan aliran umpan

Ke dalam gelas erlenmeyer 250 ml, dimasukkan 100 ml larutan buffer, lalu dikontakkan dengan pipa keluaran gas ozon pada tabung ozonizer. Kran pada tabung oksigen dibuka sampai tekanan pada manometer menunjuk pada skala 5 psia. Kran pada flowmeter dibuka dan diatur aliran gasnya pada kecepatan 0,25 lpm (liter per menit), setelah kecepatan aliran gas stabil dilakukan lucutan selama 5 detik. Kemudian diambil larutan pada erlenmeyer dan diamati serapannya pada panjang gelombang maksimum no. (3). Langkah ini diulang dengan kecepatan aliran gas diatur pada 0,5 sampai dengan 2,0 lpm.

7. Proses pembuatan ozon dari oksigen dan udara pada berbagai variasi waktu lucutan

Ke dalam erlenmeyer 250 ml dimasukkan 100 ml larutan buffer, lalu gelas erlenmeyer dikontakkan dengan pipa keluaran gas generator ozon. Kran pada tabung oksigen dibuka hingga tekanan pada manometer berada pada skala 5 psia. Kemudian kran dibuka pada flowmeter dan diatur kecepatan aliran oksigen pada 1 lpm. Setelah kecepatan gas stabil dilakukan lucutan selama 1 detik, kemudian larutan pada erlenmeyer diambil dan diamati serapannya pada panjang gelombang maksimum no. (3). Langkah ini diulang dengan waktu lucutan 2 sampai dengan 5 detik untuk oksigen dan 10 sampai 60 detik untuk udara.

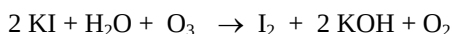
8. Ozonisasi sampel air yang tercemar bakteri E-coli

Pengambilan sampel air dari sumur gali menggunakan botol steril sesuai dengan prosedur di laboratorium biologi, kemudian disimpan dalam termos yang diberi es dan siap untuk diproses ozonisasi. Setiap sampel (100 ml) diukur pH dan suhunya, kemudian dilakukan ozonisasi dengan bervariasi waktu : 0,10, 20, 30,40, 50, dan 60 menit, sedang kondisi proses dijaga supaya tetap sama. Setiap sampel air yang telah mengalami ozonisasi ditampung dengan botol yang telah disterilkan. Kemudian sampel air tersebut dibawa ke laboratorium biologi untuk dianalisis kandungan bakteri *E-coli*.

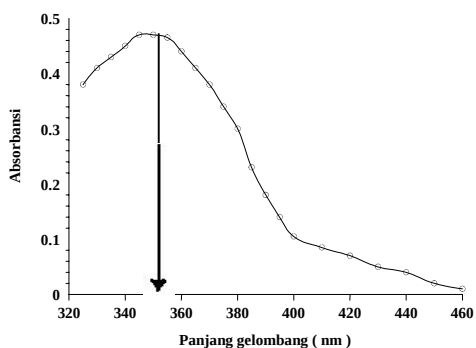
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai langkah awal identifikasi ozon adalah mencari panjang gelombang larutan iodium yang tepat, yaitu pada puncak maksimumnya. Dengan mengetahui panjang gelombang (λ) maksimum tersebut maka akan mempermudah langkah selanjutnya. Adapun panjang gelombang

maksimum larutan iodium dapat dilihat pada Gambar 2. Dari data penelitian dapat diketahui bahwa pada panjang gelombang 352 nm larutan iodium memberikan absorbansi yang maksimum, setelah itu menurun. Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan panjang gelombang 352 nm. Sebenarnya pada panjang gelombang 340 nm larutan iodium juga memberikan puncak (*peak*), meskipun besaran absorbansinya lebih kecil bila dibandingkan dengan panjang gelombang 352 nm. Tetapi puncak pada 340 nm relatif tidak stabil, artinya puncak yang diperoleh agak mendatar tidak lancip, sehingga puncak ini tidak dapat dipergunakan sebagai identifikasi larutan iodium. Larutan iodium sebetulnya tidak berwarna (putih), tetapi dengan adanya oksidasi dari ozon maka larutan tersebut berubah menjadi kuning, sehingga perubahan dari putih menjadi kuning ini dapat digunakan sebagai identifikasi adanya ozon. Reaksi kimia yang terjadi dalam proses oksidasi tersebut adalah sebagai berikut :



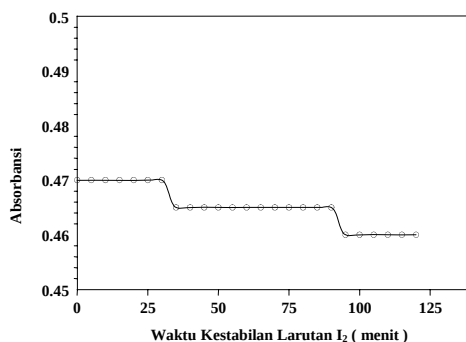
Dari reaksi tersebut akan terbentuk KOH, padahal larutan yang dianalisis harus netral, sehingga diperlukan larutan penyangga (buffer).



Gambar 2. Absorbansi larutan iodium (I_2) pada berbagai panjang gelombang.

Larutan iodium tidak stabil, sangat mudah berubah dengan adanya sinar matahari. Oleh karena itu untuk tujuan

analisis perlu diketahui waktu kestabilan larutan tersebut. Diharapkan dengan mengetahui waktu kestabilan ini, proses analisis dilakukan dalam tenggang waktu tersebut, jangan melebihi waktu kestabilan yang maksimum, karena warna larutan akan berubah. Waktu kestabilan larutan iodium dapat dilihat pada Gambar 3, yaitu sekitar 25 menit. Jadi untuk analisis larutan iodium dilakukan paling lama 25 menit setelah diozonisasi, karena setelah 25 menit warna larutan akan berubah seiring dengan luruhnya ozon menjadi oksigen kembali. Hal ini dibuktikan dengan semakin turunnya absorbansi larutan. Untuk proses selanjutnya waktu kestabilan larutan iodium diambil 20 - 25 menit. Hasil percobaan variabel ini dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini :



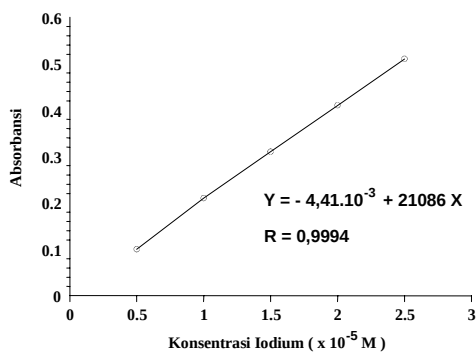
Gambar 3. Waktu kestabilan larutan iodium (I_2)

Dari data kedua percobaan tersebut, kemudian digunakan untuk membuat kurva baku larutan iodium, seperti pada Gambar 4.

Dari Gambar 4, dapat dilihat kurva berbentuk garis lurus, hal ini menunjukkan adanya hubungan yang linier positif antara konsentrasi dengan absorbansi, dan hubungan tersebut apabila dibuat persamaan garis lurus dengan rumus $Y = a + bX$, dengan Y = absorbansi, X = konsentrasi I_2 , a = intersep (garis yang memotong sumbu Y) dan b = slope (kemiringan kurva), maka dengan memasukkan harga konsentrasi dan absorbansi larutan standar iodium maka diperoleh persamaan garis lurus :

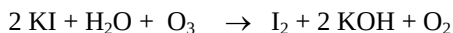
$Y = -0,0044 + 21086 X$ dengan koefisien korelasi $R = 0,9994$.

Harga koefisien korelasi R yang mendekati angka 1 di atas menunjukkan adanya hubungan yang kuat (linier) antara konsentrasi dengan absorbansi sehingga kurva maupun persamaan garis lurus di atas dapat digunakan untuk intrapolasi maupun ekstrapolasi harga absorbansi dari larutan iodium, sehingga konsentrasi dari larutan tersebut dapat diketahui.



Gambar 4. Kurva baku larutan iodium (I_2)

Dari Gambar 4 ini dapat digunakan untuk mencari konsentrasi ozon (kuantitatif) yang dihasilkan oleh ozoniser, yaitu dengan mengukur absorbansi sampel. Absorbansi sampel setelah diplotkan kedalam kurva baku maka akan diperoleh konsentrasi I_2 , dengan menggunakan reaksi kimia sebagai berikut akan dapat dihitung berat O_3 .

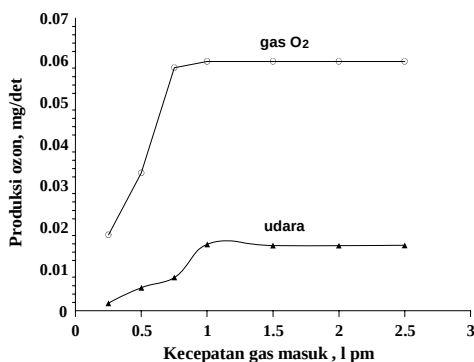


$$\text{mol } O_3 \approx \text{mol } I_2$$

$$\begin{aligned} \text{berat } O_3 &= (\text{mol } I_2) \times 48 \text{ gram/mol} \\ &= \dots\dots\dots \text{ gram } O_3 \end{aligned}$$

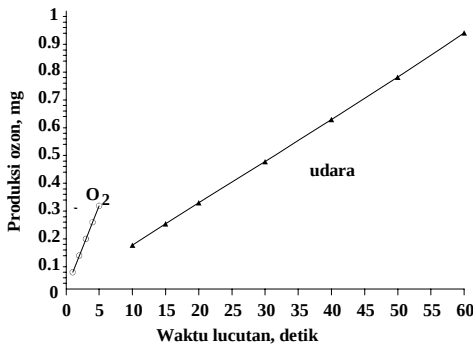
Dari percobaan dengan mevariasi kecepatan aliran gas masuk seperti yang ditunjukkan Gambar 5 dibawah ini, terlihat bahwa pada kecepatan 1,0 lpm (liter per menit) ozon yang terbentuk telah mencapai titik maksimum, yaitu kurva yang diperoleh relatif mendatar meskipun kecepatan aliran

gas masuk dinaikkan hingga 2,5 lpm. Hal ini menunjukkan bahwa filamen arus yang ada pada ozoniser hanya mampu untuk merubah oksigen maupun udara dengan kecepatan 1 liter per menit tersebut.



Gambar 5. Pengaruh kecepatan gas masuk dengan O_3 yang dihasilkan.

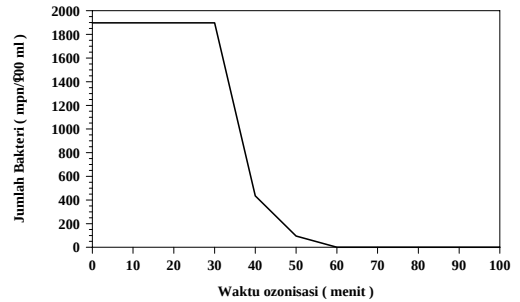
Disamping itu terlihat pula adanya perbedaan hasil ozon yang begitu besar antara umpan oksigen dengan umpan udara, dimana untuk umpan oksigen kecepatan terbentuknya ozon = 0,06 mg per detik sedangkan untuk udara = 0,016 mg per detik, hampir empat kalinya. Hal ini dapat dimengerti karena kandungan oksigen di dalam udara hanya sekitar 20 % dan sisanya adalah nitrogen dan gas-gas lain, sehingga ozon yang terbentuk juga rendah. Dari percobaan mevariasi waktu lucutan diperoleh data seperti pada Gambar 6 dibawah ini. Pada Gambar 6 tersebut terlihat bahwa semakin lama waktu lucutan dilakukan, maka hasil ozon yang diperoleh juga bertambah banyak. Hal ini dapat dipahami karena filamen arus yang dibangkitkan oleh ozoniser bersifat kontinyu dan umpan masukan yang berupa oksigen maupun udara bersifat mobil (bergerak) sehingga selama kedua elemen itu terjadi kontak maka akan terjadi pula reaksi pembentukan ozon dan ini akan terjadi terus menerus.



Gambar 6. Pengaruh waktu lucutan dengan O₃ yang dihasilkan.

Bila digunakan umpan gas masuk berupa gas oksigen, maka ozon yang dihasilkanpun lebih besar bila dibandingkan dengan umpan udara. Hal ini seperti yang sudah diterangkan di depan bahwa udara masih mengandung gas-gas lain, misalnya nitrogen dan lain-lain, sehingga sangat mempengaruhi produk ozon.

Dari produk ozon seperti yang sudah dikemukakan tersebut kemudian diaplikasikan terhadap sampel air yang berasal dari sumur gali, yang sangat tercemar oleh bakteri E-coli. Air sumur ini diambil dari Dusun Setren, Sidoarum, Godean, Sleman, Yogyakarta, letak sumur sangat berdekatan dengan kandang sapi dan bebek, kurang lebih 3 - 4 m. Warna air bening tetapi sangat berbau. Air ini digunakan oleh warga untuk segala macam kebutuhan, dari menyiram tanaman sampai untuk memasak. Herannya, menurut mereka sejak dahulu air sumur tersebut tidak menimbulkan wabah penyakit, alasannya sebelum digunakan air direbus dahulu sehingga semua bakteri mati. Dari Gambar 7 dibawah ini dapat dilihat bagaimana ozon dapat membunuh seluruh bakteri yang ada dalam air. Waktu ozonisasi 0 menit menunjukkan bahwa sampel air belum diproses, kandungan bakterinya sangat tinggi. Tetapi setelah waktu ozonisasi berjalan selama 60 menit semua bakteri telah mati.



Gambar 7. Pengaruh waktu ozonisasi terhadap jumlah bakteri.

Telah diketahui bahwa ozon merupakan oksidan yang paling kuat setelah fluor, padahal bakteri tersusun atas partikel-partikel protein, yang dengan mudah diputus rantainya oleh ozon, akibatnya bakteri mati. Sebenarnya ozon dapat membunuh bakteri dengan cepat, antara 10–20 menit, tetapi dengan kecepatan produk ozon 2 ppm/detik.⁽¹⁰⁾ Apabila digunakan ozoniser yang dapat memproduksi ozon 2 ppm/detik, maka waktu ozonisasi yang diperlukan tidak sampai 60 menit.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dikemukakan di muka, maka dapat diambil kesimpulan bahwa ozon (O₃) mempunyai panjang gelombang maksimum 352 nm, waktu kestabilan 20-25 menit. Bila menggunakan umpan masukan gas O₂ dapat menghasilkan O₃ lebih banyak (4 kalinya). Ozon dapat juga dimanfaatkan untuk membunuh bakteri E-coli, dan hasilnya sangat efektif untuk membunuh bakteri tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penelitian ini disampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada rekan-rekan di Laboratorium Plasma, atas bantuan penyediaan alat ozoniser dan semua fasilitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. V. DARSONO, "Pengantar Ilmu Lingkungan", Edisi Revisi, Univ. Atma Jaya, Yogyakarta, (1985).
2. AGUS PURWADI, WIDDI USADA, SURYADI, ISYUNIARTO, SRI SUKMAJAYA, "Studi dan Pembuatan Generator Ozon Menggunakan Lucutan Listrik ", Jurnal Nusantara Kimia, Vol. VIII, No. 1, Januari (2001).
3. FARDIAZ, "Polusi Air dan Udara", Penerbit Kanisius, Yogyakarta, (1992).
4. SUGIHARTO, "Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah ", Penerbit Univ. Indonesia (UI Press), Jakarta, (1987).
5. KRT TJOKROKUSUMO, "Pengantar Engineering Lingkungan", Jilid 2, Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan, Yogyakarta, (1999).
6. U. SURIAWIRIA, "Mikrobiologi Air", Alumni, Bandung, (1996).
7. C. POTTER, "Limbah Cair Berbagai Industri Indonesia", EMDI-BAPEDAL, Jakarta, (1994).
8. A. DJAJANINGRAT, "Pengendalian Pencemaran Limbah Industri", Bandung, (1992).
9. .A WARDHANA, "Dampak Pencemaran Lingkungan", Penerbit Andi Offset, Yogyakarta, (1999).
10. R. AMATO, What Is Ozone ?, Osmonics, Inc., (1995).