

KONSTRUKSI REAKTOR OZONIZER MULTI KAMAR TIPE KOAXIAL

Agus Purwadi, Widdi Usada, Suryadi, Isyuniarto, Sri Sukmajaya, Mintolo
Puslitbang Teknologi Maju - BATAN

ABSTRAK

KONSTRUKSI REAKTOR OZONIZER MULTI KAMAR TIPE KOAXIAL. Telah dikonstruksi reaktor ozonizer multi kamar dalam bentuk tabung lucutan yang siap untuk dioperasikan sebagai generator ozon. Tabung-tabung ozonizer identik guna memperluas permukaan lucutan, masing-masing terdiri dari bagian bagian; elektroda dimana katoda dibuat dari bahan stainless steel (SS) dan anoda dari aluminium (Al) dengan garis tengah 23 mm dan 15 mm, yang panjang dan tebalnya sama yakni masing-masing 190 mm dan 1 mm, dan dielektrik dibuat dari bahan gelas silinder dengan garis tengah 17 mm, panjang 200 mm dan tebal 1 mm. Semua tabung ozonizer beroperasi pada tegangan tinggi bolak-balik sebesar 25 kV. Terbentuknya ozon dibuktikan dengan adanya bau khas ozon dari selang keluaran ozonizer serta dapat terpisahnya molekul I_2 (yodium) dari larutan KI (kalium yodida) yang terkontaminasi gas (keluaran) ozonizer. Hasil penentuan kuantitas keluaran ozon selama jangka waktu operasi efektif 6 detik adalah sebanyak 0,25 mg serta hasil pengukuran konsentrasi ozon secara langsung menggunakan detektor ozon A-21ZX adalah sebesar 9 ppm (part per million).

ABSTRACT

CONSTRUCTION OF COAXIAL TYPE THE MULTI TUBE OZONIZER REACTOR. It has been constructed the multi tube ozonizer reactor in the shape of discharge tube which is ready to be operated as an ozone generator. Some identic tubes for expanding the discharge surface consist of electrode made of stainless steel (SS) and anode made of alluminium (Al). The diameter of cathode was 23 mm and anode was 15 mm as diameter. Both their length and thickness were the same as 190 mm and 1 mm. The dielectric was made of cylindrical glass with 17 mm of diameter, 200 mm of length and 1 mm of thickness. All of the ozonizer tubes operate on the alternating high voltage discharge of 25 kV. The ozone gas formation is proved by the existing of special ozone smell from the ozonizer output and the sparated of yodium molecule (I_2) from the kalium yodida (KI) solution which had been contaminated by the gas ozonizer output. Calculation result of the ozone output quantity during the efective ozone operation of 6 seconds was 0,25 mg and the direct measurement result of the ozone concentration value as long as 6 seconds by using A-21ZX ozone detector was 9 part per million (ppm).

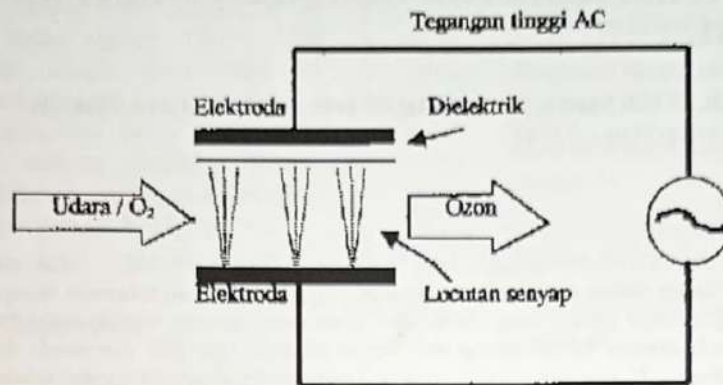
PENDAHULUAN

Ozon selain sebagai bahan pengoksidasi yang sangat kuat akan terurai membentuk oksigen. Kalau tidak bereaksi atau sebelum bereaksi dengan unsur lain. Karena itu teknologi ozon sangat ramah lingkungan atau sering dikatakan ozon merupakan kimia hijau masa depan. Secara alamiah ozon dibentuk oleh cahaya ultraviolet matahari di lapisan atmosfer. Ozon juga dapat diproduksi sendiri dengan cara eksitasi molekul-molekul oksigen ke tingkat tenaga yang lebih tinggi untuk memproduksi atom-atom oksigen yang tak stabil. Atom-atom tunggal tak stabil yang biasanya berpresentase rendah tersebut akan bergabung dengan molekul oksigen membentuk ozon. Karena sifat ozon yang labil maka ozon tidak dapat dipaketkan untuk dibawa ke suatu tempat, tetapi ozon harus dibuat di

tempat yang memerlukan (in situ).⁽¹⁾

Gas ozon dapat direalisasi pada tabung reaktor ozonizer atau tabung reaktor lucutan senyap (*silent discharge*) yang skemanya seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Tabung reaktor ozonizer terdiri dari komponen elektroda (anoda) yang salah satunya dilapisi bahan dielektrik, celah lucutan yang dialiri gas masukan udara atau oksigen serta sumber tegangan tinggi bolak-balik untuk melucut gas masukan secara radial dari dielektrik hingga katoda.

Atom dan molekul pada celah lucutan yang tereksitasi memiliki reaktivitas yang lebih tinggi dari pada mereka yang dalam keadaan *ground state*. Oleh karenanya lucutan senyap merupakan lucutan yang paling cocok digunakan dalam bidang aplikasi kimia plasma volum dibandingkan dengan model lucutan tak seimbang lainnya.



Gambar 1. Skema tabung reaktor ozonizer.

Gas masukan udara atau oksigen setelah melewati tabung reaktor ozonizer dapat berubah menjadi gas ozon. Lucutan senyap sendiri merupakan plasma yang tak seimbang dalam arti elektron-elektron dalam plasma mempunyai tenaga/temperatur yang jauh lebih tinggi daripada partikel-partikel berat (gas netral). Medan tereduksi E/n (medan listrik E dibagi dengan kerapatan gas netral n) merupakan parameter penting dalam lucutan senyap. Harga parameter E/n menentukan distribusi tenaga elektron dan besar tenaga elektron rata dalam plasma. Plasma akan berada dalam kesetimbangan atau tidak sangat bergantung pada besaran fisis ini. Parameter tersebut dapat ditentukan secara empiris, yakni dengan menentukan kerapatan gas normal n pada tegangan lucut V dan jarak antar elektroda d , mengingat E/n adalah identik dengan V/nd . Pada harga E/n yang sangat rendah ($< 1 T_d$), tenaga elektron hampir sama (mendekati) dengan tenaga kinetik partikel-partikel berat (gas netral), sehingga dimungkinkan sekali akan terjadi keseimbangan plasma. Plasma dalam keseimbangan ini biasa disebut plasma panas, sedang plasma dingin adalah sebutan untuk plasma tak seimbang. Keadaan yang terakhir ini yang harus dipertahankan untuk memproduksi ozon.

Pembagian plasma tak seimbang kedalam kelompok lucutan tertentu, tergantung pada mekanisme yang dipakai yang meliputi jenis gas kerja, besar tekanan dan geometri elektroda. Semua hal ini akan mempengaruhi karakteristik parameter fisisnya. Adanya dielektrik yang menutup salah satu elektroda adalah merupakan fungsi kunci dari keistimewaan lucutan senyap yang 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. Dalam ruang/daerah lucutan, interaksi antar partikel bermuatan (ion, elektron) dengan partikel kimia lain (atom, molekul dan radikal) sangat memegang peranan. Interaksi ini dapat merubah partikel kimia, eksitasi molekul yang menimbulkan disosiasi, sintesa atau membentuk jenis partikel baru.

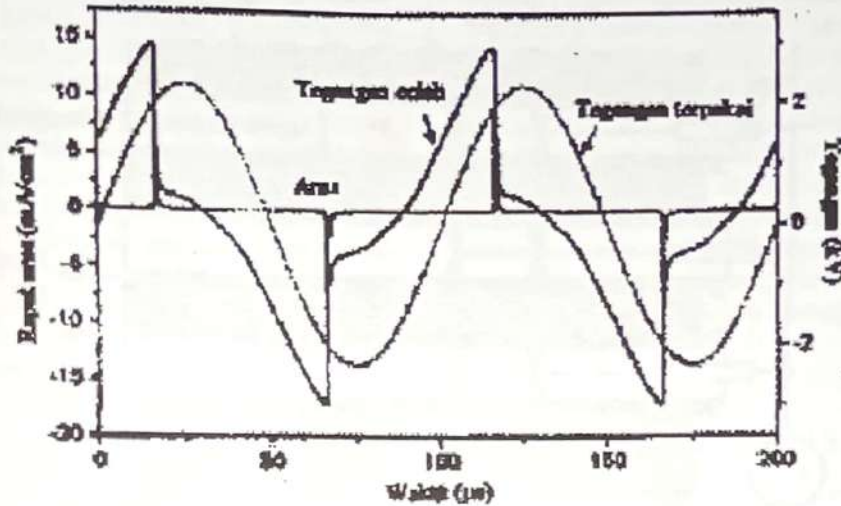
Lucutan terhalang dalam udara atau oksigen pada tekanan atmosfer dibuat dalam jumlah sangat besar dari lucutan-lucutan mikro yang terdistribusi secara acak. Masing-masing lucutan mikro berlangsung hanya beberapa mikro sekon (μs) dan mencapai rapat arus puluhan milliAmper tiap cm^2 (mA/cm^2) dalam filamen yang bentuknya mirip silinder dengan jejari sekitar 100 mikro meter (μm).⁽²⁾ Pada dielektrik, lucutan mikro ini menyebar ke dalam permukaan lucutan yang dapat menutup luasan daerah yang lebih lebar. Masing-masing lucutan mikro terdiri dari arus tipis yang terang dan menyebar pada dielektrik membentuk pola-pola muatan.

Tegangan listrik bolak-balik yang dipasang antara anoda (terlapis dielektrik) sampai katoda, awalnya diinduksikan pada celah diantara dielektrik-katoda dan setelah mencapai tegangan runtuh (*breakdown voltage*), akan terjadi lucutan listrik. Grafik kerapatan arus (mA/cm^2) dan tegangan lucutannya (kV) terhadap waktu (μs) ditunjukkan pada Gambar 2.

Terlihat pada Gambar 2 bahwa besar arus lucutan terbatas dengan adanya halangan dielektrik sehingga lucutan nyala (*glow discharge*) tidak berubah menjadi lucutan *arc*. Ketika terjadi lucutan homogen, runtuh listrik terjadi sekali setiap

setengah periode. Dalam keadaan bagaimanapun, bentuk lucutan dielektrik adalah merupakan filamen-filamen (serabut). Untuk mencapai kehomoginan dari suatu lucutan listrik (tidak hanya untuk lucutan terhalang dielektrik) maka keberadaan elektron harus besar kuantitasnya sebelum terjadi runtuhannya

listrik. Keberadaan elektron ini dapat terjadi karena berbagai macam proses. Mereka dapat tinggal di celah lucutan setelah adanya runtuhnya sebelumnya, atau karena diproduksi dengan adanya ionisasi secara kumulatif atau dipancarkan dari dielektrik.⁽³⁾



Gambar 2. Grafik rapat arus dan tegangan lucutan terhadap waktu pada lucutan terhalang dielektrik.

Besarnya diameter filamen arus dan jangka waktu lucutan mikro yang terjadi bergantung pada jenis dan besar tekanan gas yang digunakan. Keseluruhan arus mengalir dalam filamen dan terjadi penukaran tenaga antara elektron yang dipercepat dengan atom dan atau molekul yang berada dalam lucutan mikro. Elektron dan ion yang bertenaga pada lucutan mikro akan menumbuk partikel atom, molekul, radikal dan partikel kimia lainnya sehingga akan terjadi pembentukan berbagai proses hasil tumbukan seperti ionisasi, eksitasi, hamburan elastis, disosiasi, ionisasi disosiativ, tangkapan disosiativ, rekombinasi, pertukaran muatan ataupun juga terjadi reaksi kimia.

Pembentukan ozon dicapai terutama dalam kolom lucutan mikro dan semakin berkurang ke arah daerah yang mendekati permukaan elektroda. Keuntungan besar dari lucutan senyap adalah dapat dipengaruhinya tenaga rerata elektron dengan merubah besarnya perkalian antara kerapatan plasma terhadap jarak celah. Perkalian antara besar tekanan dan jarak antar elektroda hendaknya dibuat sedemikian hingga tegangan operasi dapat dipertahankan relatif pada harga rendah. Material dielektrik tipis dengan harga konstanta dielektrik tinggi yang konstan harus dipilih sehingga dapat diperoleh ozon dengan efisiensi tinggi.⁽⁴⁾

Seperti diuraikan di atas, ozon dapat dibuat dengan cara melewatkan udara atau oksigen melalui lucutan listrik yakni lucutan jenis *silent discharge* atau lucutan senyap. Saat ini di P3TM Batan telah dibuat tabung ozonizer bentuk planar ataupun bentuk silinder meskipun ozon yang terproduksi belum/kurang optimum. Dalam rangka untuk mengoptimalkan produksi ozon, maka telah dilakukan penelitian dan pengembangan dengan cara memvariasi/merubah luas permukaan elektroda pada kamar reaktor ozonnya yakni dengan cara melipat gandakan tabung lucutannya. Dengan perlakuan rekayasa tersebut diharapkan tujuan akhir produksi ozon optimal dapat tercapai.

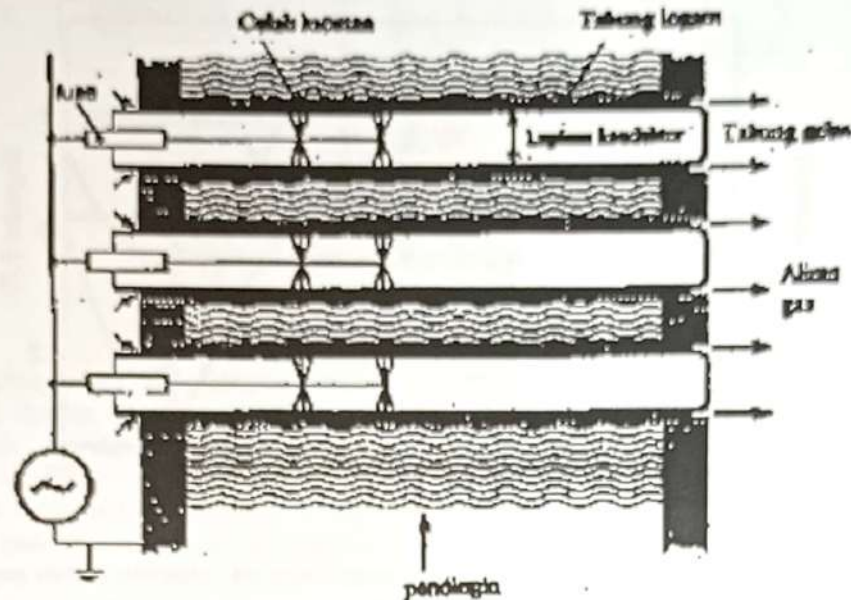
TATAKERJA DAN PERCOBAAN

Peralatan dan Bahan

Peralatan utama yang harus direalisasi dalam konstruksi reaktor ozon multi kamar tipe koaxial terdiri dari tabung lucutan yang merupakan tempat terjadinya proses ozonisasi dan bahan gas alir udara atau oksigen yang hendak diubah menjadi gas ozon. Pencatu daya tegangan tinggi bolak-balik (orde kV) berfungsi untuk melucut elektroda. Reaktor ozonizer

multi kamar tipe koaxial beserta pencatu dayanya yang digunakan dalam percobaan adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Reaktor ozonizer terdiri atas 3 (tiga) buah tabung lucutan yang masing-masing tabung terdiri dari bagian-bagian elektroda katoda dan anoda : Elektroda katoda terbuat dari

bahan tabung logam yakni dari bahan stainless steel (SS) dengan garis tengah 23 mm. Lapisan konduktor (anoda) dari bahan aluminium (Al) dengan garis tengah 15 mm, serta panjang dan tebalnya masing-masing 190 mm dan 1mm.



Gambar 3. Reaktor ozonizer multi kamar tipe koaxial dan pencatu daya.

Dielektrik dibuat dari bahan gelas silinder dengan garis tengah 17 mm, panjang 200 mm dan tebal 1 mm. Celah lucutan berjarak 2 mm untuk tempat mengalirnya gas masukan udara atau oksigen yang akan diubah menjadi ozon (pada keluaran tabung). Pendingin yang dalam hal ini dipakai baling-baling rotary model FP8025, DC 25V berguna untuk mendinginkan tabung lucutan dan atau beberapa komponen elektronik yang berada di sekitarnya. Suhu rendah merupakan salah satu syarat utama untuk diperolehnya efisiensi produksi ozon yang optimal.

Sebagai komponen pendukung lainnya meliputi pompa hisap gas (oksigen atau udara) digunakan pompa udara yang biasa digunakan pada aquarium, kran dan flowmeter untuk mengontrol aliran gas udara atau oksigen dimana kran untuk mematikan aliran gas dari tangki reservoir, sedang volume gas yang mengalir sebagai fungsi kecepatan alir dan jangka waktu aliran (dapat ditentukan). Spektrometer HP 8452A untuk menganalisa larutan penyerap yang terkontaminasi ozon. Bahan yang digunakan untuk identifikasi dan penentuan jumlah produksi ozon, meliputi larutan penyerap

(dikontaminasi oleh keluaran gas ozon dari tabung lucutan) merupakan campuran antara larutan standar I_2 dengan larutan pewarna; bahan-bahan kimia yang digunakan untuk larutan standar I_2 terdiri dari Kalium Iodida (KI), Iodium (I_2), dan air ultra murni, sedang untuk larutan pewarna menggunakan bahan Kalium dihidrogen fosfat (KH_2PO_4), Dinatrium hidrophospat (Na_2HPO_4), KI dan air ultra murni.

Keberadaan komponen sumber daya tegangan tinggi bolak balik sangat mutlak diperlukan dalam unit generator ozon yakni untuk melucut tabung lucutan tempat terjadinya proses pembentukan ozon. Sumber daya tegangan tinggi yang digunakan terdiri dari komponen IC NE 555 sebagai osilator, transistor daya 2N3055 sebagai penguat daya dan Ignition Coil 12V sebagai pelipat tegangan.

Pelaksanaan Percobaan

Pelaksanaan konstruksi reaktor ozonizer diawali dengan pembuatan elektroda luar (katoda) dan elektroda dalam (anoda) bentuk silinder dengan garis tengah 23 mm dan 15 mm. Masing-masing anoda dan katoda terbuat dari bahan stainless steel

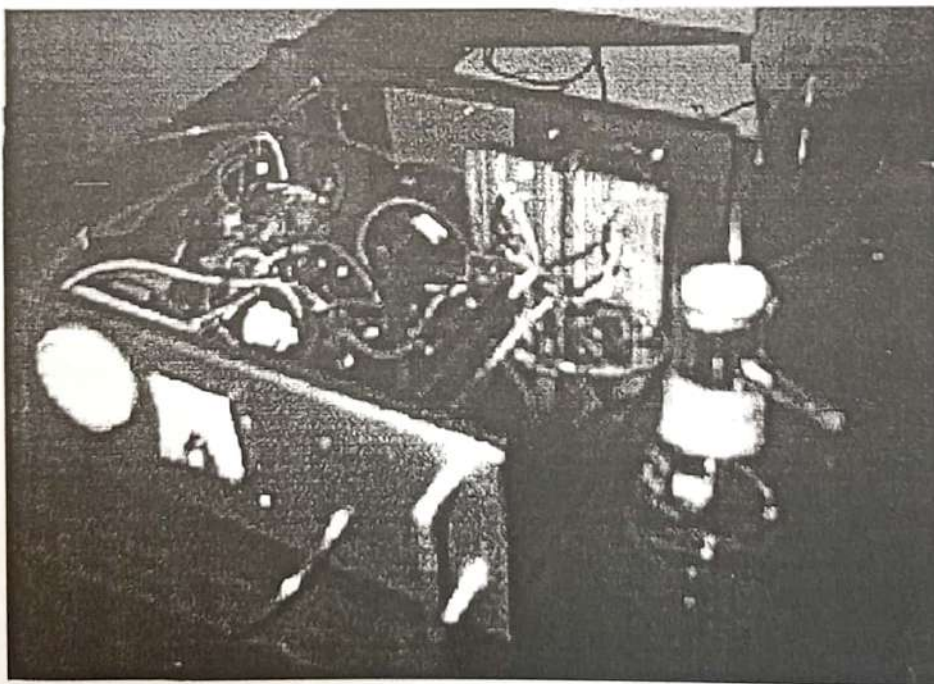
(SS) dan aluminium (Al) dengan panjang 190 mm dan tebal 1 mm. Dielektrik bentuk silinder (dari bahan gelas pyrex) setebal 1 mm, panjang 200 mm dan garis tengah 17 mm dilapiskan pada anoda. Rongga bentuk celah axial dengan jarak celah 2 mm diantara dielektrik dan katoda merupakan ruang reaktor tempat proses pembentukan ozon. Gas udara kering dari luar dimasukkan kedalam ruang reaktor ozonizer dengan kecepatan tertentu yang selanjutnya dilucut dengan tegangan tinggi bolak-balik maka sebagian udara (sekitar 60%) akan terproses diubah menjadi gas ozon. Percobaan diawali dengan pengoperasian pompa hisap udara yang besar kecepatannya dapat ditera dengan flowmeter. Selanjutnya pada tabung lucutan tempat ozon diproduksi dilucut dengan tegangan tinggi bolak-balik 25 kV, berfrekuensi 1,5 MHz. Sampel larutan penyerap (merupakan campuran antara larutan standar I_2 dengan larutan pewarna) dikontaminasi dengan gas ozon keluaran dari tabung ozonizer untuk penentuan kuantitas produk ozon.

Larutan standar I_2 dibuat sebanyak 500 ml dengan mencampurkan bahan 16 gr KI + 3,173 gr I_2 + air ultra murni, sedang untuk larutan pewarna dibuat sebanyak 2 liter dengan mencampurkan bahan 27,22 gr KH_2PO_4 + 28,4 gr Na_2HPO_4 + 20 gr KI + air ultra murni. Sampel larutan penyerap dengan konsentrasi tertentu yang telah dikontaminasi ozon selama dalam waktu tertentu pula, selanjutnya dianalisa dengan bantuan alat spektrometer HP

8425A untuk ditentukan harga absorbansinya (data absorpsi dapat langsung terbaca dari layar monitor komputer). Dengan diketahuinya harga absorbansi untuk berbagai konsentrasi larutan penyerap (divariasi dari 0, 20, 40,... hingga sampai 100 $\mu\text{mol}/50\text{ ml}$), selanjutnya dapat digunakan untuk perhitungan penentuan kuantitas produksi ozon selama waktu operasi tertentu. Metode yang digunakan adalah metode absorpsi mengingat disamping ozon mempunyai sifat menyerap terhadap sinar ultraviolet (UV) ozon juga dapat memisahkan yodium (I_2) dari larutan potassium yodida (KI). Atas dasar kedua sifat inilah maka harga kuantitas produk keluaran gas ozon dari pembangkit ozon dapat ditentukan.⁽⁵⁾ Disamping digunakan metoda absorpsi untuk penentuan kuantitas berat produk ozon juga dilakukan pengukuran secara langsung konsentrasi ozon dengan menggunakan detektor ozon A-21ZX.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil konstruksi reaktor ozonizer multi kamar tipe koaxial pada Gambar 3 telah dilengkapi dengan komponen-komponen panel tegangan, timer, flowmeter, selang saluran udara dan pompa udara menjadi satu unit rangkaian elektronik dan mekanik dari ozonizer yang kompak seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



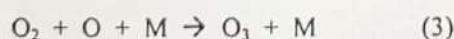
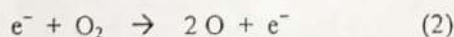
Gambar 4. Unit ozonizer multi kamar tipe coaxial.

Ozonizer dengan multi kamar tipe koaxial ini telah siap dioperasikan di sembarang tempat (portable) dengan konsentrasi produksi ozon sebesar 9 ppm. Pemilihan katoda dari bahan SS karena bahan ini relatif tahan terhadap gaya benturan elektron saat lucutan berlangsung sehingga diharapkan katoda akan tahan lama tidak mudah keropos, sedang anoda dari bahan Al karena bahan ini relatif ringan dan dilapisi oleh bahan dielektrik sehingga benturan terhadap elektron otomatis sudah terlindungi. Gelas pyrex digunakan sebagai bahan dielektrik karena disamping bahan ini mudah didapat di pasaran, tetapan dielektriknya juga relatif tinggi sehingga diharapkan produksi ozon akan optimum mengingat besar ozon yang diproduksi akan berbanding langsung dengan harga tetapan dielektrik bahan yang digunakan. Disamping konstanta dielektrik (ϵ), produksi ozon juga berbanding lurus dengan harga luasan permukaan elektroda (A), frekuensi tegangan tinggi yang digunakan (f) dan kwadrat tegangan yang lewat celah lucutan (V), tetapi berbanding terbalik dengan ketebalan dielektrik (d).⁽⁵⁾ Reaktor ozonizer multi kamar yang telah terkonstruksi adalah sudah optimum sebagai sumber penghasil ozon mengingat semua komponen kerasnya telah dipilih dan memenuhi rumusan syarat untuk perolehan produksi ozon optimum, misalnya seperti luasan elektroda telah dibuat maksimum dengan cara melipatkan jumlah tabung reaktor ozonizer (multi) menjadi sebanyak 3 buah tabung, frekuensi tegangan tinggi telah dibuat orde kilo Hertz (kHz), tegangan operasi dibuat orde kilo Volt (kV) dan tebal dielektrik disesuaikan sebesar 1 milli meter (mm).

Ozon yang terbentuk pada ruang reaktor merupakan proses penguraian dan selanjutnya penggabungan kembali dari partikel oksigen. Diketahui bahwa tenaga reaksi tak dapat dibentuk oleh proses aktivasi termal. Kenyataan ozon mudah terurai pada suhu yang lebih tinggi. Pembentukan dan penguraian ozon berlangsung menurut persamaan reaksi sebagai berikut:



Sedang reaksi pembentukan ozon dalam lucutan akan terjadi menurut reaksi :

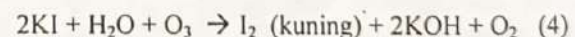


dimana e^- adalah elektron dan M adalah partikel ke tiga yang dapat berupa O_2 , N_2 , OH dan sebagainya. Untuk terjadinya reaksi maka tenaga minimum yang harus dipunyai elektron adalah 5,1 elektron volt (eV) yang dalam hal ini dapat terjadi pada lucutan terha-

lang dielektrik (lucutan senyap), selanjutnya elektron ini bereaksi dengan molekul oksigen untuk membentuk dua oksigen radikal. Radikal-radikal ini selanjutnya bereaksi dengan molekul oksigen (dengan adanya partikel ke tiga) membentuk gas ozon.⁽⁶⁾

Selama berlangsungnya reaksi (proses) ada beberapa reaksi yang bersaing dan perlu dipertimbangkan. Pertama, gas nitrogen akan langsung bereaksi dengan elektron-elektron berenergi dari partikel saingan lain nitrogen oksida. Oleh karenanya akan lebih baik bila menggunakan gas oksigen murni dari pada menggunakan gas masukan udara pada pembuatan ozon (efisiensi bisa lebih besar dua kali lipat), namun hal ini resikonya biaya operasional akan lebih tinggi (boros). Kedua, uap air akan berpengaruh pada reaksi sehingga digunakan gas udara kering agar ozon yang terbentuk optimum. Kalau sudah digunakan gas kering oksigen akan langsung bereaksi dengan uap air sehingga akan berakibat hilangnya kesempatan oksigen untuk bereaksi membentuk ozon. Ada banyak faktor yang mempengaruhi penguraian ozon. Ozon akan terurai secara dramatis dengan kenaikan temperatur dan hal ini dalam konstruksi/praktek telah diatasi dengan penambahan baling-baling rotary pendingin terhadap tabung reaktor ozonizer. Ozon juga akan terurai dengan adanya tumbukan elektron saat terjadi lucutan, sehingga dalam hal ini aktivitas lucutan telah dibatasi dengan mengatur tegangan lucutan tidak terlalu tinggi (dioperasikan pada tegangan maksimum yang sesuai dengan luasan elektroda)

Dari hasil percobaan telah terdeteksi bau khas (gas ozon) yang keluar dari lubang keluaran tabung lucutan. Deteksi secara visual, juga telah tampak adanya perubahan warna dari larutan kalium yodida (KI) yang semula berwarna jernih menjadi kuning (warna I_2) setelah dikontaminasi dengan keluaran gas udara yang telah dilewatkan tabung lucut ozonizer. Hal ini menunjukkan bahwa gas masukan udara pada tabung lucutan senyap telah diubah menjadi gas ozon sesuai dengan reaksi :

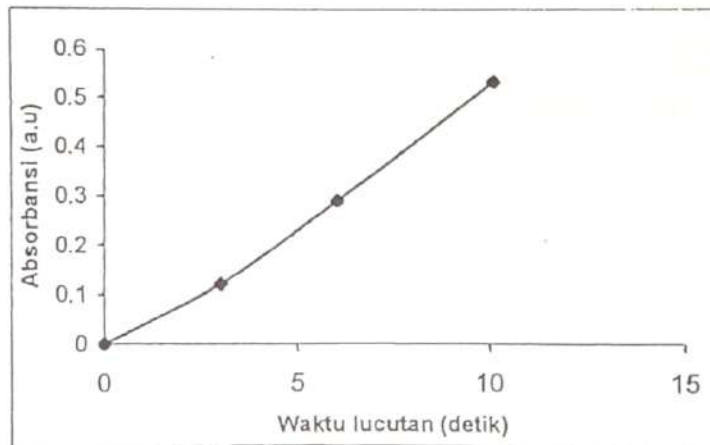


Atas dasar hasil reaksi persamaan (4) diatas, dapat ditentukan berat kuantitas produk ozon yang diproduksi oleh tabung lucutan. Dari persamaan reaksi terlihat bahwa 1 gram molekul (grol) I_2 dibebaskan oleh 1 grol O_3 , sehingga dengan menggunakan larutan penyerap standar I_2 untuk menyerap gas ozon maka dapat ditentukan konsentrasi O_3 yang dihasilkan oleh pembangkit ozon. Grafik standar hubungan konsentrasi I_2 terhadap harga absorbansi dapat dibuat dengan cara memvariasi konsentrasi larutan penyerap, kemudian masing-masing disinari

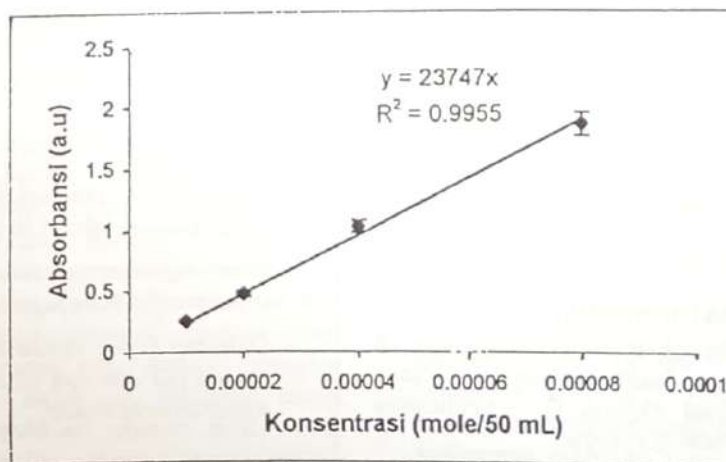
UV selama waktu tertentu.⁽⁷⁾ Karena absorbansi dari larutan penyerap yang telah terkontaminasi gas ozon (keluaran tabung lucutan) dapat diukur dengan bantuan alat spektrometer maka konsentrasi ozon dapat ditentukan langsung dengan membandingkan pada grafik standar. Untuk menentukan gas ozon yang diproduksi oleh tabung lucutan maka keluaran gas ozon dikontaminasikan pada larutan penyerap (50 ml) selama jangka waktu tertentu. Kalau kecepatan alir gas masukan udara dipilih/ditetapkan sebesar 2,50 lpm (harga kecepatan alir dapat divariasikan sesuai dengan kebutuhan, sampai harga maksimum 25 lpm) dan jangka waktu lucutan efektif 6 detik maka volume udara yang digunakan adalah sebanyak 0,25 liter. Larutan penyerap yang telah terkontaminasi gas ozon selama 6 detik harga absorbannya (dengan alat Spektrometer HP8425A) adalah sebesar 0,30 seperti dapat ditunjukkan pada hasil percobaan Gambar 5.

Dari grafik standar diketahui bahwa pada absorbansi sebesar 0,30 maka konsentrasinya adalah sebesar 13 $\mu\text{mol}/50\text{ml}$ atau 260 $\mu\text{mol}/\text{l}$ diperoleh dalam jangka waktu selama 6 detik seperti dapat ditunjukkan oleh Gambar 6.

Dengan mengingat bahwa berat 1 mol ozon adalah sebesar 24 gram molekul (grol) dalam volume molar 24,45 liter pada suhu kamar dan tekanan 1 atmosfer⁽⁸⁾, maka hubungan kesetaraan jumlah ozon dalam satuan $\mu\text{mol}/\text{l}$ dengan mikro gram (μg) dapat dinyatakan sebagai 1 $\mu\text{mol}/\text{l}$ = 0,98 μg , sehingga hasil penentuan kuantitas ozon yang diperoleh sebesar 260 $\mu\text{mol}/\text{l}$ dapat ditulis sebanyak 255,32 μg = 0,25 milli gram (mg) dalam selang waktu operasional (lucutan) 6 detik. Hasil pengukuran konsentrasi keluaran ozon secara langsung juga dilakukan dengan menggunakan detektor ozon A-21ZX, adalah sebesar 9 ppm (part per million).



Gambar 5. Grafik hubungan antara absorbansi terhadap waktu lucutan (detik).



Gambar 6. Grafik hubungan antara absorbansi terhadap konsentrasi.

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa:

1. Telah terkonstruksi reaktor ozonizer multi kamar tipe koaxial untuk merealisasikan satu unit alat portable ozonizer. Ozonizer tersebut dilengkapi dengan panel-panel *voltmeter*, *timer* dan *flowmeter*.
2. Dengan menggunakan gas masukan udara berkecepatan alir 2,50 lpm serta waktu operasi ozonizer selama 6 detik telah diperoleh kuantitas keluaran ozon sebesar 0,25 mg, serta hasil pengukuran konsentrasi keluaran ozon secara langsung dengan menggunakan detektor ozon A-21ZX diperoleh konsentrasi sebesar 9 ppm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Sdr. Sudaryanto dan A. Zaenuri atas bantuannya selama dalam merealisasikan tabung reaktor ozonizer dan para teknisi analis di laboratorium BTFK-P3TM serta kepada Proyek Pengolahan Limbah Radioaktif TA. 2003 atas bantuan dananya, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. KOGELSCHATZ, U. and ELIASSON, B., *Ozone Generation and Application*, Asea Brown Boveri Baden, Switzerland, 1999.
2. PIPER, L.G. and CALEDONIA, G.E., *Portable Sensor for Hazardous Waste*, Physical Sciences Inc.(Oct.), 20 New England Business Center, Andover Massachusetts, 01810-1022, 1995.
3. YU. B. GOLUBOVSKII'S team, *Barrier Discharge*, Plasma Physics Research Team, [http : // optics.phys.spbu.ru/~golub/english/barrier.html](http://optics.phys.spbu.ru/~golub/english/barrier.html).
4. ELIASSON, B. and KOGELSCHATZ, *Modeling And Application Of Silent Discharge Plasmas*, IEEE Transactions On Plasma Science, Vol. 19, No. 2, April 1991.
5. BASTEIN, F. and MARODE, E., *The Determination Of Basic Quantities During Glow To Transition In A Positive Point To Plane Discharge*, Journal Physics D : Application Physics, 12: pg 249-263, 1979.
6. NN, *Ozone Generation and Application*, <http://www.dsp.pub.ro/leonardo/itc-incsee/C> Chapter % 2001/Sub./SubChapter 2.3 ht.
7. AGUS PURWADI, WIDDI USADA, SURYADI, ISYUNIARTO DAN SRI SUKMA JAYA, *Pembentukan dan Pengukuran Produk Ozon Pada Ozonizer Plasma*, Prosiding PPI Litdas Iptek Nuklir P3TM-Batan Yogyakarta, 7-8 Agustus 2001.
8. YEEN, W.S., *Construction and Studies Of Plasma Ozonizer*, Malaysia Department Of Physics University Of Malaya, 1996.

TANYA JAWAB

Giri Slamet

- Mengapa dalam konstruksi alat ozonizer ini :
 - Digunakan tipe aksial?
 - Menggunakan tenaga lucutan listrik dan bukan tenaga sinar UV?

Agus Purwadi

- Karena efisiensi produk ozon dapat lebih besar bila dibandingkan dengan tipe plat sejajar.
- Karena tenaga sinar UV kurang efektif (umurnya pendek) dan terbukti efisiensi produk ozon menggunakan lucutan plasma (listrik) adalah lebih besar.

Yunanto

- Mengapa memakai sistem multi kamar.
- Apa keuntungan dibanding satu kamar.
- Mengapa diameter anoda dibuat berbeda.

Agus Purwadi

- Multi kamar dimaksudkan untuk memperluas permukaan elektroda (lucutan).
- Keuntungannya, semakin luas permukaan lucutan maka produk ozon juga akan maksimal.
- Diameter anoda dibuat berbeda dengan diameter katoda (15 mm dan 23 mm) agar terjadi lucutan listrik ke arah radial.