

PRODUKSI OZON DENGAN BAHAN BAKU OKSIGEN MENGUNAKAN ALAT OZON GENERATOR

Angky Syafarudin*, Novia

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
Jln. Raya Palembang Prabumulih Km. 32 Inderalaya Ogan Ilir (OI) 30662
Email: angky_syafarudin@ymail.com

Abstrak

Pemanfaatan teknologi ozon pada berbagai sektor telah menunjukkan kegunaan dan keunggulan dari pemanfaatan ozon. Ozon tidak menimbulkan dampak samping seperti pemanfaatan khlor yaitu terbentuknya senyawa trihalomethan yang bersifat karsinogen. Teknologi ozon sangat ramah lingkungan dan ozon merupakan senyawa kimia hijau masa depan. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menghasilkan ozon melalui peluahan muatan listrik. Pada penelitian ini, digunakan cara peluahan muatan listrik dengan menggunakan ozon generator. Bahan baku yang digunakan yaitu oksigen yang telah tersedia dalam tabung yang dilengkapi flowmeter. Ozon yang dihasilkan diukur pada variasi tegangan (6800; 7650; 8500; 9350; 10200 volt), laju alir oksigen (1; 2; 3; 4; 5 liter/menit), dan waktu ozonasi (5; 10; 15; 20; 25 menit). Produk ozon diuji dengan mereaksikan gas ozon yang dihasilkan oleh generator menggunakan larutan KI (metode iodometri). Hasil menunjukkan bahwa semakin menurunnya laju alir oksigen, konsentrasi ozon meningkat. Semakin meningkatnya penggunaan tegangan, konsentrasi ozon meningkat. Konsentrasi maksimum ozon yang terbentuk adalah 17,7216 mg/liter pada voltase 9350 volt dan laju alir oksigen 1 liter/menit.

Kata kunci: *Metode Iodometri, Ozon, Ozon Generator*

Abstract

Using of ozone technology at various sectors have shown excellence and usefulness of ozone. Application ozone do not generate impact from other side like of chlorine which form of compound of trihalomethane having the character of carcinogen. Ozone technology is an environmentally friendly and ozone represents chemical compound of future green. One of the waysto produce ozone is by electric discharge. In this research, it is used the electric discharge by using the generator ozone. The raw material to produce ozone was oxygen which is already in available cylinder with flowmeter. Ozone was measured at various voltage of (6800; 7650; 8500; 9350; 10200 volt), oxygen flowrate of (1; 2; 3; 4; 5 litre/minutes) and ozonation time of (5; 10; 15; 20; 25 minutes). Ozone products were tested by reacting ozone gas with KI solution (method of iodometry). Result indicated that the decreasing of oxygen flowrate leads ozone concentration increase. Furthermore, the increasing of voltage, causes the concentration of ozone increase. Maximum concentration of ozone is 17.7216 mg/liter at voltage of 9350 volt and the oxygen flowrate of 1 liter/minutes.

Keywords: *Generator Ozone, Method of Iodometri, Ozone*

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan ozon saat ini telah banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang, seperti di Eropa ozon telah dimanfaatkan sebagai disinfektan untuk mengolah air minum pada akhir abad ke-19, demikian pula Amerika dan bahkan Jepang. Pemanfaatan ozon tidak hanya

digunakan sebagai disinfektan dalam pengolahan air minum. Banyak sekali sektor-sektor yang memanfaatkan ozon, antara lain: pengolahan air minum, akuakultur, pengolahan air untuk akuarium, disinfeksi untuk air minum dalam kemasan, disinfeksi untuk pengolahan limbah cair, sterilisasi bahan makanan mentah, pengawetan bahan makanan, sterilisasi peralatan

kedokteran, pengolahan air untuk kolam renang umum dan spa, pengolahan air untuk keperluan air pendingin, pengelantangan pada pabrik tekstil, pulp dan kertas, pengolahan limbah cair hasil industri dan hasil pemurnian minyak, mengontrol bau dan warna, pembuatan ultrapure water pada industri elektronik, laundry untuk kepentingan industri atau komersial (Prihatinnyas, 2006)

Dibandingkan dengan desinfektan konvensional seperti senyawa klor (klorin) atau kaporit yang umum digunakan untuk pengolahan air minum, ozon mempunyai beberapa kelebihan. Klorin misalnya, dapat menimbulkan bau yang tajam (bau kaporit). Selain itu desinfektan dengan klor (klorin) dapat menimbulkan dampak sampingan dengan terbentuknya senyawa trihalomethan (THMs) yang bersifat karsinogen. Sedangkan ozon selain tidak menimbulkan bau juga dapat membuat air menjadi lebih segar (Said, 2012).

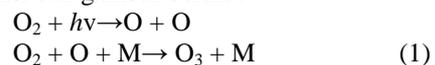
Penelitian mengenai pembuatan ozon dengan menggunakan reaktor ozon yang menerapkan prinsip peluahan muatan listrik telah banyak dilakukan, diantaranya oleh Purwadi, et al (2006) yang menekankan tentang konstruksi tabung lucutan plasma pembangkit ozon 100 watt. Penelitian lain yang dilakukan oleh Yusuf, et al (2011) dengan reaktor batch, lebih menekankan kinerja ozonator yang memberikan gambaran dan informasi tentang kinerja produksi ozon. Namun dalam penelitian itu tidak banyak yang membahas tentang parameter-parameter yang berpengaruh dalam penentuan konsentrasi ozon yang dihasilkan dari reaktor ozon tersebut.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian mengenai "Produksi Ozon dengan Bahan Baku Oksigen Menggunakan Alat Ozon Generator". Parameter yang dipelajari adalah waktu ozonasi, tegangan listrik serta laju alir oksigen. Konsentrasi ozon yang terbentuk ditentukan dengan metode Iodometri.

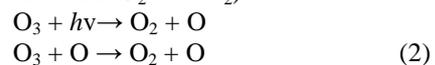
Ozon

Molekul ozon merupakan bagian terkecil dari atmosfer bumi (hanya 0,03% dari seluruh total volume atmosfer) (Soenarmo (2004) dalam (Slamet (2005)). Pada lapisan stratosfer, ozon berfungsi sebagai penyaring (filter) dan pelindung terhadap masuknya sinar ultraviolet dari matahari. Dengan adanya lapisan ozon, sinar ultraviolet yang masuk ke bumi menjadi berkurang jumlah dan intensitasnya, karena sinar ultraviolet dalam jumlah yang melebihi sangat membahayakan kehidupan makhluk hidup di bumi.

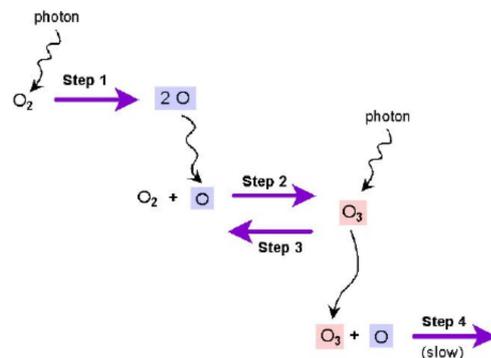
Secara alami ozon dapat terbentuk melalui radiasi sinar ultraviolet pancaran sinar matahari. Watak interaksinya dengan sinar UV merupakan hal terpenting dalam fungsinya sebagai perisai bumi. Ozon mudah menyerap sinar UV, terutama diantara 240-320 nm. Chapman (1930), menjelaskan bahwa sinar ultraviolet dari pancaran sinar matahari mampu menguraikan gas oksigen (O_2) di udara bebas. Molekul oksigen tadi terurai menjadi dua buah atom oksigen (O^*), dimana proses ini dikenal dengan nama photolysis. Kemudian atom oksigen tersebut secara alami bertumbukan dengan molekul gas oksigen yang ada disekitarnya, sehingga terbentuklah ozon (O_3). Ozon dapat menyerap radiasi sinar matahari pada panjang gelombang antara 240-340 nm dan terurai kembali menjadi satu gas oksigen (O_2) dan satu atom oksigen (O^*). Ozon dapat bereaksi dengan atom oksigen (O^*) untuk regenerasi dua molekul gas oksigen (O_2). Seperti yang disajikan dari reaksi dan gambar berikut :



(dimana M adalah O_2 atau N_2)



(Sumber : Chapman, S., 1930)



Gambar 1. Pembentukan Ozon di Atmosfer (Chapman, S., 1930)

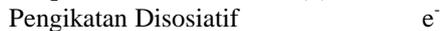
Ozon dapat terbentuk melalui dua proses yang berbeda, yaitu melalui proses tumbukan dan melalui proses penyerapan cahaya.

Pembentukan Ozon Melalui Proses Tumbukan

Proses ini dapat dilakukan dengan melewati gas oksigen (O_2) pada daerah yang dikenai tegangan tinggi. Molekul oksigen ini akan mengalami ionisasi, yaitu proses terlepasnya suatu atom atau molekul dari ikatannya, menjadi ion-ion oksigen (O^*). Molekul-molekul oksigen yang terionisasi ini

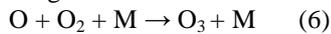
biasa disebut dalam kondisi plasma. Jenis dari ion oksigen tersebut adalah O^* , O_2^* , O^- , O^{2-} dan O_3^- . Kombinasi dari kesemuanya dapat menghasilkan ozon.

Pembuatan ozon dalam proses ini diawali dengan pembentukan oksigen radikal bebas dengan reaksi sebagai berikut :

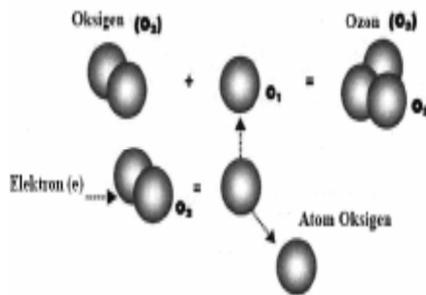


(Bimo, dkk. 2011)

Kemudian radikal oksigen bereaksi dengan oksigen menghasilkan ozon.



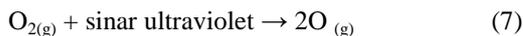
Dimana M adalah N_2 atau O_2 .



Gambar 2. Pembentukan gas ozon melalui proses tumbukan. (Bimo, dkk. 2011)

Pembentukan Ozon Melalui Proses Penyerapan Cahaya

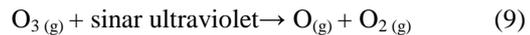
Baik gas oksigen (O_2) maupun ozon (O_3) dapat menyerap radiasi sinar ultraviolet. Gas oksigen dapat menyerap radiasi sinar ultraviolet dengan panjang gelombang kurang dari 240 nanometer, sedangkan ozon dapat menyerap radiasi sinar ultraviolet dengan panjang gelombang antara 240 nanometer sampai 290 nanometer. Karena gas oksigen menyerap radiasi sinar ultraviolet dengan panjang gelombang kurang dari 240 nanometer, maka gas oksigen tersebut akan terurai menjadi dua atom oksigen.



Atom oksigen hasil reaksi tersebut sangat reaktif dan dapat bereaksi dengan O_2 dan membentuk ozon (O_3).



Reaksi ini bersifat eksotermik, dan akibat dari kedua reaksi tersebut adalah perubahan tiga molekul oksigen (O_2) menjadi dua molekul ozon (O_3) dan konversi radiasi sinar ultraviolet menjadi panas. Ozon menyerap radiasi sinar ultraviolet dengan panjang gelombang antara 240 sampai 290 nanometer. Reaksi tersebut menyebabkan ozon mengalami perubahan komposisi menjadi gas oksigen dan atom oksigen,



Reaksi ini juga bersifat eksotermik, sehingga mengkonversi radiasi sinar ultraviolet menjadi panas.

Sifat ozon

Ozon merupakan oksidator kuat yang berbau tajam dan merupakan bentuk tidak stabil dari oksigen yang terdiri dari tiga atom O (rumus kimia ozon adalah O_3). Nama ozon berasal dari kata Yunani yaitu "ozein" yang berarti berbau. Ozon merupakan zat yang sangat beracun, lebih beracun daripada sianida (KCN atau $NaCN$), striknina, dan karbon monoksida.

Memasuki tahun 1990-an pemanfaatan ozon berkembang sangat pesat, antara lain: untuk pengolahan air minum dan air limbah, untuk sterilisasi makanan mentah serta untuk sterilisasi peralatan. Hal ini tidak terlepas dari sifat ozon yang dikenal memiliki sifat radikal (mudah bereaksi dengan senyawa disekitarnya) serta memiliki oksidasi potensial 2.07 V.

Dibandingkan dengan klorin kecepatan ozon sebagai bahan desinfektan dalam membunuh mikroorganisme bisa 3250 kali lebih cepat serta 150% lebih kuat tenaga oksidatifnya. Ozon sebelum atau setelah bereaksi dengan unsur lain akan selalu menghasilkan oksigen (O_2) sehingga teknologi ozon sangat ramah lingkungan atau sering dikatakan ozon merupakan kimia hijau masa depan (Patel et al, (2001) dalam Purwadi dkk, (2006)). Ozon dengan kemampuan oksidasinya dapat digunakan sebagai oksidator kuat untuk mendegradasi fenol. Selain itu ozon sebagai oksidator yang paling kuat setelah radikal hidrosida (OH^*), dapat digunakan untuk mengoksidasi logam-logam berat (terlarut dalam air), mendegradasi senyawa-senyawa organik (termasuk juga senyawa organo-klorida dan aromatik), menghilangkan warna dan bau, ataupun rasa (Bismo. S, dkk, 2008).

Sedangkan dalam perindustrian, ozon digunakan untuk:

1. Membasmi kuman sebelum dibotolkan (antiseptik)
2. Menghapus pencemar dalam air (besi, arsen, hidrogen sulfida, nitrit, dan bahan organik kompleks yang dikenal sebagai warna)
3. Membantu proses flokulasi (proses pengabungan molekul untuk membantu penapisan menghilangkan besi dan arsenik)
4. Mencuci dan memutihkan kain
5. Pengawet bahan makanan
6. Proses pretreatment biomassa (proses pengrusakan lignin/Delignifikasi)

Proses pretreatment biomassa lignoselulosa menggunakan ozonasi belum banyak diteliti. Sementara metode pretreatment menggunakan ozon memiliki banyak kelebihan diantaranya: lebih ramah lingkungan serta ozon adalah oksidator yang kuat sehingga lebih efektif dalam proses pengrusakan liqnin.

Tabel 1. Struktur Alotropik Ozon

	
Nama IUPAC	Trioksigen
Sifat	
Rumus molekul	O ₃
Massa molar	47,998 g.mol ⁻¹
Penampilan	Gas berwarna kebiruan
Densitas	2,144g.L ⁻¹ (0°C), gas
Titik lebur	80,7 K, -192,5°C
Titik didih	161,3 K, -111,9 °C
Kelarutan dalam air	0,105 g.100mL ⁻¹ (0°C)
Termokimia	
Entalpi pembentukan standar ($\Delta_f H_{298}^{\circ}$)	+142,3 kJ.mol ⁻¹
Entropi molar standar S ₂₉₈ ^o	237,7 J.K ⁻¹ .mol ⁻¹
Data diatas berlaku pada temperatur dan tekanan standar (25°C, 100kPa)	

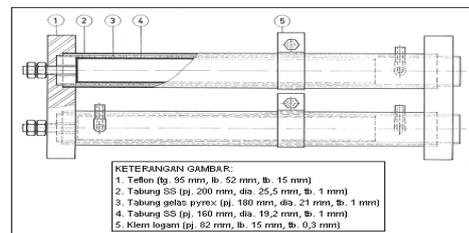
(Sumber : id.wikipedia.org/wiki/ozon)

Ozon Generator

Pembuatan ozon melalui proses tumbukan dengan melawatkan oksigen (O₂) pada daerah yang dikenai tegangan tinggi dapat dilakukan dalam sebuah ozon generator . Salah satu metode yang dapat digunakan untuk generator itu ialah metode lucutan plasma. Metode lucutan plasma dimaksudkan untuk mendapatkan gas ozon berkonsentrasi rendah antara 0,01 ppm sampai dengan 4,00 ppm yang dapat diaplikasikan khususnya untuk mendukung bidang kesehatan dan lingkungan, bidang industri dan pertanian (Purwadi A, et al, 2006).

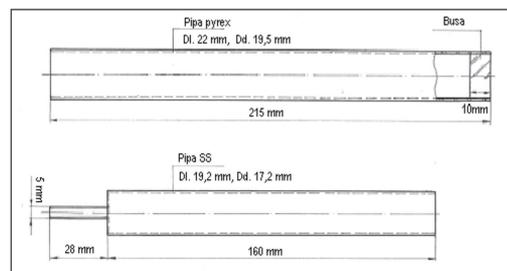
Molekul ozon yang terbentuk pada ozon generator relatif tak stabil karena disamping keberadaan tiga atom oksigen menjadi satu molekul ozon yang berjejal, juga karena adanya hamburan muatan elektronik dari masing-masing antar atom oksigen pada molekul ozon tersebut. Umur paroh ozon sekitar 20 menit didalam air dan udara 16 jam (Air Treatment With Ozone, 2000) dalam (Purwadi dkk., 2006).

Pada Gambar 3 berikut ditunjukkan desain susunan ozon generator penghasil gas ozon yang merupakan tempat proses terjadinya gas ozon.



Gambar 3. Desain tabung ozon generator (diambil dari Purwadi A, et al, 2006)

Gambar 4 menunjukkan desain detail dari tabung dielektrik dan tabung anoda beserta ukuran dari masing-masing komponennya (dalam mm). Tabung dielektrik dibuat dari bahan pyrex, sedang tabung anoda dari bahan Stainless Steel (SS).

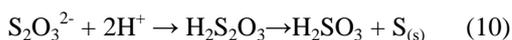


Gambar 4. Desain detail tabung dielektrik dan tabung anoda (diambil dari Purwadi A, et al, 2006)

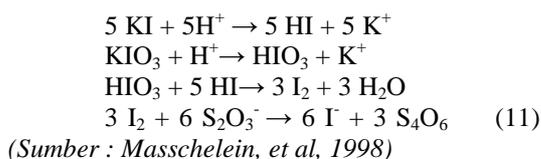
Penentuan Kadar Ozon Melalui Titrasi Iodometri

Jumlah ozon ditentukan secara tidak langsung melalui titrasi iodometri. Penentuan jumlah ozon didasari oleh reaksi I⁻ dengan O₃ yang menghasilkan I₂ pada kondisi sedikit asam. Selanjutnya jumlah ekuivalen I₂ ditentukan melalui titrasi dengan Natrium Thiosulfat yang sebelumnya sudah distandarisasi dengan Kalium Iodat. Jumlah ekuivalen KI yang kira-kira digunakan untuk menampung ozon ditentukan berdasarkan nilai teoritis ini. Konsentrasi I⁻ harus sedikit berlebih agar menambah kelarutan I₂ dalam air, sehingga kemungkinan I₂ yang hilang dapat diperkecil. Larutan KI harus sedikit asam, biasanya dengan penambahan HCL atau H₂SO₄ dengan konsentrasi tertentu.

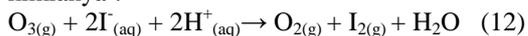
Pada kondisi asam, ozon mudah bereaksi dengan I⁻ membentuk I₂. Thiosulfat diuraikan lambat dalam larutan asam dengan membentuk belerang sebagai endapan mirip susu. Reaksinya adalah sebagai berikut :



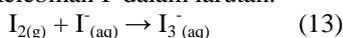
Reaksi diatas tidak akan mengganggu bila titrasi dilakukan dengan cepat dan larutan diaduk dengan baik. Reaksi antara Iod dan Thiosulfat berlangsung lebih cepat daripada reaksi penguraiannya. Metode iodometri ini langsung diterapkan pada kisaran 1g/m³ sampai 200g/m³ dari ozone, volume dinyatakan pada NTP (*Normal Temperature and Pressure*), yang sama dengan : 0°C atau 273.15 K dan 1.01325 x 10⁵ Pa atau 1 Atm (Masschelein , et al, 1998). Standarisasi titran berdasarkan prinsip :



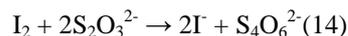
Dalam penentuan jumlah ozon yang dihasilkan dari ozon generator, ozon dialirkan kedalam wadah tertutup yang berisi larutan KI dengan konsentrasi tertentu. Persamaan reaksi kimianya :



Untuk menghindari I₂ yang terlepas, kelarutan I₂ dalam air dapat diperbesar dengan sedikit kelebihan I⁻ dalam larutan.



Selanjutnya Natrium Thiosulfat yang sudah distandarisasi digunakan sebagai titran untuk penentuan I₂ yang terbentuk.



Konsentrasi ozon dalam satuan g/L dapat ditentukan dengan : 24 x Volume thiosulfat dalam L x Normalitas Thiosulfat dibagi volume inlet gas dalam L (Masschelein, et al, 1998)

2. METODOLOGI

Bahan yang Digunakan

1. Oksigen
2. Sodium thiosulfate (Na₂S₂O₃) 0,2 N
3. Potassium iodide (KI) 2 %
4. Sulfuric acid (H₂SO₄) 2 N
5. Amilum 2 %

Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini ialah :

1. Ozon Generator beserta peningkat tegangan.
2. Tabung oksigen yang dilengkapi dengan flowmeter.
3. Tabung tempat larutan KI yang akan dikontakkan dengan gas ozon yang dihasilkan dari ozon generator.
4. Burret 50 ml (dua buah).
5. Erlenmeyer 500 ml (lima buah).
6. Gelas ukur 10 ml (dua buah).
7. Hot Plate Stirrer.
8. Transformer tegangan tinggi.

Prosedur Kerja

Penelitian ini menggunakan generator ozon sebagai tempat terjadinya ozonasi, dengan prosedur operasional sebagai berikut :

Power Listrik

1. Persiapan rangkaian kabel listrik: stop kontak – regulator voltase peningkat voltase/step - up-generator ozone.
2. Menghubungkan kabel listrik dari regulator kepeningkat voltase, kemudian dari peningkat voltase ke generator ozon.
3. Setelah OK baru menghubungkan kabel dari regulator voltase ke stop kontak.

ProduksiOzon

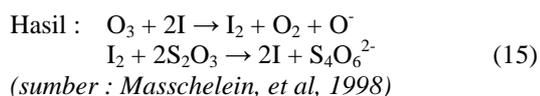
1. Memposisikan regulator voltase pada titik terendah (nol), sehingga generator ozon masih bertegangan rendah (220 volt).
2. Proses ozonasi berlangsung dengan melakukan variasi tiga variable pada masing-masing kondisi, yaitu: laju alir oksigen (O₂), voltase listrik (volt) dan waktu ozonasi (menit).

- Variasi laju alir oksigen (O₂) diatur dengan flowmeter, yaitu: 1 liter/menit, 2 liter/menit, 3 liter/menit, 4 liter/menit dan 5 liter/menit.
- Untuk variasi voltase diatur melalui regulator voltase, dengan variasi voltase yang diambil mulai dari 6800, 7650, 8500, 9350, dan 10200 volt.
- Untuk variasi waktu yang diambil, yaitu: 5, 10, 15, 20 dan 25 menit.
- Larutan KI 200 ml dimasukkan dalam tabung analisis ke-1 (tabung bawah) untuk proses penggelembungan dimana kepala tube berada pada kedalaman 15 cm atau lebih dibawah permukaan larutan KI.
- Lalu gas oksigen (bahan baku) dialirkan ke ozon generator pada berbagai variasi laju alir.
- Gas yang mengandung ozon dialirkan ke dalam tabung ke-1 (tabung bawah) yang telah berisi larutan KI sehingga terjadi penggelembungan/bubbling sampai warna larutan KI berubah yang semula berwarna jernih menjadi kuning. Hal ini menandakan gas ozon telah terbentuk dan dilakukan berulang-ulang dengan masing-masing variable yang telah ditentukan.
- Pengelembungan dihentikan sesuai dengan waktu yang telah divariasikan.
- Sampel larutan dalam tabung diambil untuk dianalisis konsentrasi ozon yang terbentuk dan mengulangi percobaan untuk masing-masing variable.

Analisa Produk (Metode Iodometrik)

Selanjutnya dilakukan penentuan konsentrasi ozon dari tabung dengan metode iodometri melalui prosedur sebagai berikut:

- Larutan KI 200 ml yang telah dilewatkan gas ozon, diletakkan di dalam erlenmeyer 500 ml dan ditambahkan dengan 10 ml H₂SO₄. Larutan berubah warna menjadi lebih gelap.
- Segera setelah penambahan asam sulfat (H₂SO₄), larutan tersebut dititrasikan dengan larutan natrium thiosulfat (Na₂S₂O₃ 0.2 N).
- Menjelang akhir titrasi, yang ditandai dengan warna larutan menjadi kuning pucat tambahkan 0,5 ml amylum 2 % (larutan berubah warna menjadi biru gelap) untuk melengkapi dan mengarahkan hasil akhir dari titrasi. Sehingga larutan berubah warna dari biru gelap menjadi tidak berwarna (bening).



Konsentrasi ozon dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Konsentrasi ozon (g/l)} = \frac{24 \times \text{Volume thiosulfat (liter)} \times \text{Normalitas thiosulfat}}{\text{Volume gas oksigen (liter)}} \quad (16)$$

(sumber : Masschelein, et al, 1998)

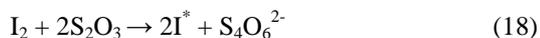
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Kadar Ozon Melalui Titrasi Iodometri

Jumlah ozon ditentukan secara tidak langsung melalui titrasi iodometri. Penentuan jumlah ozon yang terbentuk didasari oleh reaksi I⁻ dengan O₃ yang menghasilkan I₂ pada kondisi sedikit asam. Reaksinya adalah sebagai berikut :



Jumlah ekuivalen I₂ yang terbentuk dalam larutan KI dapat ditambahkan Asam Sulfat (H₂SO₄ 10 ml), segera setelah pengasaman dengan larutan asam sulfat, dititrasikan dengan Natrium Thiosulfat (Na₂S₂O₃ 0.2 N).



Setelah penambahan asam sulfat warna larutan berubah dari kuning terang (tergantung banyaknya konsentrasi ozon yang dihasilkan) menjadi lebih gelap. Lalu secepatnya larutan ini dititrasikan dengan Natrium Thiosulfat dan dilakukan pengadukan dengan baik untuk meminimalisasi terjadinya oksidasi iodide oleh udara bebas. Menjelang akhir titrasi yang ditandai dengan warna larutan menjadi kuning pucat, indikator amylum 2% ditambahkan (untuk melengkapi dan mengarahkan hasil akhir titrasi). Jika amylum ditambahkan pada awal titrasi karena beberapa alasan. Alasan pertama amylum-I₂ terdisosiasi sangat lambat akibatnya banyak I₂ yang akan terabsorpsi oleh amylum. Alasan kedua adalah biasanya iodometri dilakukan pada media asam kuat sehingga akan menghindari terjadinya hidrolisis amylum. Titrasi dihentikan ketika larutan tidak berwarna lagi (bening). Berikut tabel data hasil titrasi terhadap volume natrium thiosulfat yang dibutuhkan pada kondisi variasi masing-masing variabel:

Tabel 2. Volume Thiosulfat yang dibutuhkan (ml) pada berbagai Laju Alir Oksigen dan Tegangan Listrik (Waktu Ozonasi: 25 menit)

Laju Alir Oksigen (Liter/menit)	Voltase (volt)	Volume Thiosulfat yang Dibutuhkan (ml)
1	6800	0,8
2		1,1
3		1,9
4		2,0
5		2,5
1	7650	15,5
2		17,8
3		20,9
4		37,7
5		19,5
1	8500	43,8
2		65,8
3		64,0
4		88,0
5		115,4
1	9350	92,3
2		98,8
3		100,3
4		113,1
5		153,6

Tabel 3. Volume Thiosulfat yang dibutuhkan (ml) pada berbagai Waktu Ozonasi dan Laju Alir Oksigen (Tegangan Listrik: 6800 volt)

Waktu ozonasi (menit)	Laju alir oksigen (liter/menit)	Volume thiosulfat yang dibutuhkan (ml)
5	1	2,8
10		6,6
15		8,0
20		9,6
25		6,6
5	2	3,3
10		5,1
15		8,2
20		9,1
25		13,9
5	3	4,4
10		5,6
15		5,4
20		8,1
25		12,3

Penentuan Jumlah Ozon Yang Diproduksi

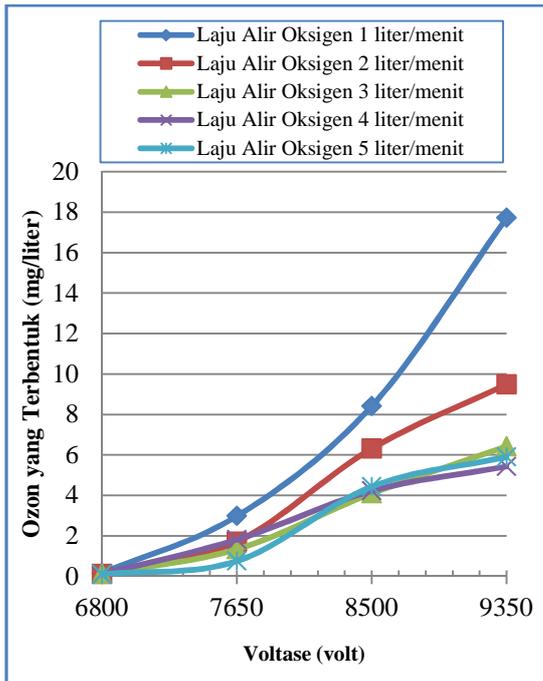
Kadar ozon yang terbentuk pada proses ozonasi dalam percobaan ini dilakukan dengan memvariasikan laju alir oksigen (O_2), voltase (tegangan listrik), waktu ozonasi, sehingga didapatkan hubungan antara masing-masing variabel terhadap jumlah ozon yang terbentuk. (Perhitungan kadar ozon pada hubungan masing-masing variabel dapat dilihat pada lampiran 1)

Pengaruh Voltase dan Laju Alir Oksigen Terhadap Pembentukan Ozon

Variabel yang dihubungkan yaitu laju alir oksigen 1; 2; 3; 4; dan 5 liter/menit dengan voltase 6800; 7650; 8500; dan 9350 volt. Waktu ozonasi dibuat tetap yaitu 25 menit. Untuk lebih jelasnya maka dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 5 berikut ini:

Tabel 4. Pengaruh Voltase dan Laju Alir Oksigen Terhadap Pembentukan Ozon (Waktu Ozonasi: 25 menit)

Voltase (volt)	Laju alir oksigen (liter/menit)	Ozon yang terbentuk (mg/liter)
6800	1	0,1536
7650		2,9760
8500		8,4096
9350		17,7216
6800	2	0,1056
7650		1,7088
8500		6,3168
9350		9,4848
6800	3	0,1216
7650		1,3376
8500		4,0960
9350		6,4192
6800	4	0,0960
7650		1,8096
8500		4,2240
9350		5,4288
6800	5	0,0960
7650		0,7488
8500		4,4314
9350		5,8982



Gambar 5. Grafik Hubungan Voltase dan Laju Alir Oksigen Terhadap Pembentukan Ozon Pada Waktu Ozonasi 25 menit.

Gambar 5 menunjukkan hubungan voltase dan laju alir oksigen terhadap jumlah ozon (O_3) yang terbentuk dengan waktu ozonasi tetap (25 menit). Dari grafik tersebut, dapat dilihat bahwa jumlah ozon (O_3) yang terbentuk paling besar pada saat laju alir oksigen 1 liter/menit dan voltase 9350 volt. Semakin tinggi voltase, maka jumlah ozon yang terbentuk semakin meningkat. Sebaliknya semakin kecil laju alir oksigen, maka ozon yang diproduksi semakin meningkat. Hal ini terkait dengan densitas (muatan) yang masuk kedalam generator. Dimana pada saat diberikan debit oksigen yang lebih kecil, maka densitas molekul menjadi lebih kecil sehingga jarak jalan bebas rata-rata masing-masing molekul untuk dapat bergerak menjadi lebih panjang. Sehingga menyebabkan transfer energi terjadi tumbukan menjadi lebih efektif apabila dibandingkan dengan densitas yang lebih tinggi. Disamping hal itu, jumlah ozon yang terbentuk terbatas pada cukup atau tidaknya energi potensial yang digunakan untuk merubah Oksigen (O_2) menjadi ozon (O_3).

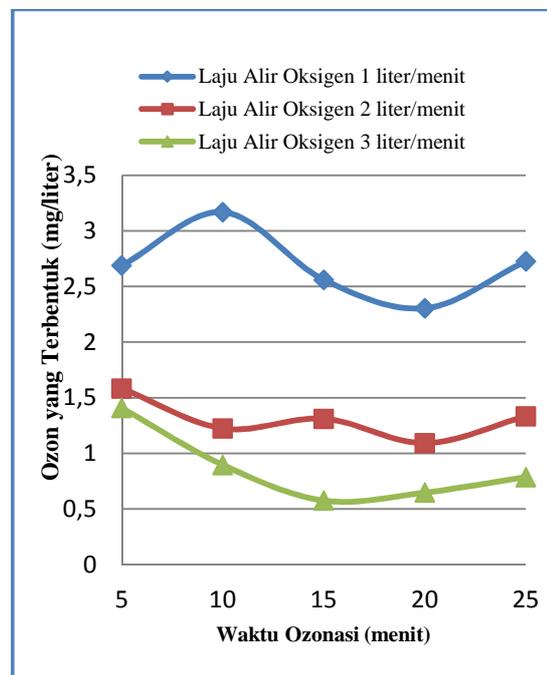
Pengaruh Waktu Ozonasi dan Laju Alir Oksigen Terhadap Pembentukan Ozon

Variabel yang dihubungkan adalah waktu ozonasi 5; 10; 15; 20; dan 25 menit dengan laju alir oksigen 1; 2; dan 3 liter/menit. Voltase dibuat tetap yaitu 6800 volt. Untuk lebih

jelasan dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 6 berikut ini:

Tabel 5. Pengaruh Waktu Ozonasi dan Laju Alir Oksigen Terhadap Pembentukan Ozon (Voltase : 6800 volt).

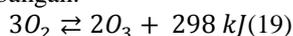
Waktu ozonasi (menit)	Laju alir oksigen (liter/menit)	Ozon yang terbentuk (mg/liter)
5	1	2,6880
10		3,1680
15		2,5600
20		2,3040
25		2,7264
5	2	1,5840
10		1,2240
15		1,3120
20		1,0920
25		1,3344
5	3	1,4080
10		0,8960
15		0,5760
20		0,6480
25		0,7872



Gambar 6. Grafik Hubungan Waktu Ozonasi dan Laju Alir Terhadap Pembentukan Ozon Pada Voltase Tetap 6800 volt

Gambar 6 menunjukkan hubungan waktu ozonasi terhadap ozon yang terbentuk pada berbagai laju alir oksigen (voltase tetap: 6800

volt). Dari grafik terlihat bahwa semakin lama waktu ozonasi, maka ozon yang terbentuk cenderung semakin kecil. Ozon yang terbentuk lebih besar pada laju alir oksigen (O₂) yang lebih kecil yaitu 1 liter/menit. Hal ini terkait karena proses pembentukan ozon adalah reaksi kesetimbangan:



Reaksi tersebut berlangsung cepat dimana pereaksi pembatasnya ialah jumlah ozon (O₃) bukan jumlah oksigen (O₂). Jumlah ozon terbentuk tergantung dari ketersediaan energi potensial yang digunakan untuk mengubah oksigen (O₂) menjadi ozon (O₃) bukan banyaknya jumlah oksigen yang masuk kedalam generator ozon. Disamping hal itu, jumlah ozon yang terbentuk akan menurun dengan semakin lamanya waktu ozonasi atau lamanya waktu pengaliran ozon. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu ozonasi/pengaliran ozon, makin besar kemungkinan I₂ terlepas keluar atau ozon yang tidak sempat bereaksi dengan KI sehingga tidak terhitung. Sehingga menyebabkan perhitungan jumlah ozon yang terbentuk turun. Oleh karena itu sistem harus dijaga jangan sampai ada kebocoran yang memungkinkan perhitungan tidak kuantitatif.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapat pada penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi voltase, maka jumlah ozon yang terbentuk semakin banyak. Sebaliknya semakin kecil laju alir oksigen, maka ozon yang terbentuk semakin banyak. Jumlah ozon terbesar: 17,7216 mg/liter diperoleh pada saat voltase yang digunakan: 9350 volt dan laju alir oksigen: 1 liter/menit.
2. Semakin lama waktu ozonasi, maka jumlah ozon yang terbentuk cenderung semakin kecil.

DAFTAR PUSTAKA

Bimo, Agung Warsito, Abdul Syakur, 2011. Tugas Akhir : *Aplikasi Ignition Coil Sebagai Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls Untuk Penyedia Daya Reaktor Ozon*, Semarang: Universitas Diponegoro.

Bismo, S, Indar Kustiningsih, Jayanudin, Febri Haryanto dan Hergi Julio Saptono, 2008. *Studi Awal Degradasi Fenol Dengan Teknik Ozonasi Di Dalam Reaktor Annular*, Semarang: Universitas Diponegoro.

Chapman. 1930. "Stratospheric Ozone Chemistry". Didittica.dma.unifi.it/WebWRit/e/pub/Energetica/MaterialeIntegrativo/Ozone.pdf. Diakses tanggal 11 Mei 2012.

Chemistry 221 Laboratory, 2012. *Iodometric Determination of Copper*, <http://kinardf.people.cofc.edu/221LabCHEM/CHEM221LIodometric>. Akses 16 Mei 2012 pukul 08. 19 WIB.

Masschelein ,W.J, 1998, *Iodometric Method For The Determination Of Ozone In A Process Gas*, *Ozone : Sci. & Engrg.*, vol.20 : 489-493.

Prihatinningtyas , E, 2006. *Ozon Suatu Dilema*, *Warta Limnologi*, No. 40, Oktober 2006.

Purwadi, A, Widdi Usada, Suryadi dan Isyuniarto, 2006. *Konstruksi Tabung Lucutan Plasma Pembangkit Ozon 100 watt Dan Karakteristiknya*, Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, vol.1, h. 1-4, 2006.

Said, 2012. "Disinfeksi Untuk Pengolahan Air Minum". [www.kelair.bppt.go.id/Publikasi/Buku Air Minum/BAB12DISINFEKSI.pdf](http://www.kelair.bppt.go.id/Publikasi/Buku_Air_Minum/BAB12DISINFEKSI.pdf), akses 10 April 2012

Slamet, L, 2010. *Pemanfaatan Potensi Ozon di Indonesia*, Peneliti Bidang Aplikasi Klimatologi dan Lingkungan, LAPAN.

Struktur Alotropik Ozon. Id. wikipedia.org/wiki/ozon. Akses 6 Mei 2012.

Yusuf, B, Agung Warsito, Abdul Syakur, I Nyoman Widiasta, 2011. *Tugas Akhir: Aplikasi Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls Untuk Pembuatan Reaktor Ozon*, Semarang :Universitas Diponegoro.