

**SINTESIS OZON (O₃)
MENGUNAKAN REAKTOR PLASMA LUCUTAN PENGHALANG DIELEKTRIK
BERKONFIGURASI
SPIRAL-SILINDER DENGAN GAS SUMBER OKSIGEN (O₂) MURNI**

Nama : Erni Eka Prasetyawati

2008

Abstrak

Telah dilakukan penelitian plasma lucutan senyap (*silent discharge plasma (SDP)*) yang dihasilkan dengan teknologi plasma lucutan penghalang dielektrik (*dielectric barrier discharge plasma (DBD)*) dengan menggunakan reaktor spiral-silinder berpenghalang dielektrik yang berkonfigurasi kawat spiral-koaksial, untuk menghasilkan gas ozon (O₃) dengan masukan gas oksigen (O₂). Konsentrasi ozon yang dihasilkan ditentukan dengan melakukan variasi tegangan, waktu ozonisasi dan kecepatan aliran udara.

Pembangkitan plasma senyap menggunakan sumber tegangan AC (*Alternating Current*) dengan tegangan sebesar 3,6 kV-10,8 kV. Konsentrasi ozon yang dihasilkan dapat ditentukan dengan memasukkan ozon yang dihasilkan saat keluar dari reaktor SDP dalam kalium iodida sebagai pengikat ozon, selanjutnya larutan dititrasi dengan larutan *thiosulphate* standar.

Dari penelitian, konsentrasi ozon maksimum yang dihasilkan 12,26 mg/L pada tegangan 10,8 kV, waktu ionisasi 70 detik dan

kecepatan alir oksigen 1 L/menit . Konsentrasi ozon semakin meningkat dengan kenaikan sumber tegangan tinggi yang diberikan dan waktu ozonisasi. Konsentrasi ozon semakin berkurang apabila debit alir gas semakin besar.

Kata kunci: Lucutan plasma berpenghalang dielektrik, Elektroda spiral-silinder, Gas oksigen murni, Gas ozon

PENDAHULUAN

Paper ini akan mendiskripsikan tentang sifat-sifat reaktor plasma lucutan berpenghalang dielektrik (*dielectric barrier discharge*), selain itu juga akan dibahas ozon (O₃) yang dibentuk sebagai fungsi kecepatan aliran udara dengan mengalirkan oksigen sebagai masukan ke dalam reaktor tersebut yang telah dihubungkan dengan tegangan tinggi AC.

Ionisasi

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). Besar energi ionisasi dinyatakan dalam satuan elektron volt (eV) (Krane, 1992).

Proses terlepasnya elektron dari suatu elektroda (padat) dapat disebut sebagai emisi elektron. Emisi elektron akan menyumbang muatan-muatan partikel. Adapun hasil dari proses ionisasi dan emisi elektron ini akan memiliki pengaruh yang besar terhadap konduktivitas gas dan perilaku plasma (Nasser, 1971).

Plasma

Plasma adalah campuran gas yang terdiri dari elektron bebas dan ion-ion yang mempunyai energi kinetik rerata yang tinggi. Muatan pembawa mempengaruhi muatan pembawa energi yang lainnya yang juga dipengaruhi oleh muatan luar. Sifat-sifat dari plasma berbeda dari fluida yang lain sehingga diklasifikasikan sebagai materi keempat. Plasma netral mengandung jumlah muatan positif dan muatan negatif yang sama sehingga muatan totalnya adalah nol. Oleh karena itu plasma juga dikenal

sebagai fluida konduktif (penghantar) (Panicker, 2003).

Plasma adalah gas terionisasi. Tetapi tidak semua gas terionisasi adalah plasma. Kriteria plasma adalah derajat ionisasi dan panjang Debye (λ_d). Derajat ionisasi menentukan karakteristik plasma yang terbentuk. Derajat ionisasi dinyatakan dengan

$$\alpha = \frac{n}{n_o + n}$$

dengan n adalah kerapatan partikel bermuatan dan n_o merupakan kerapatan partikel netral. Derajat ionisasi yang kurang dari 10^{-4} diklasifikasikan sebagai gas terionisasi rendah di atas batas harga ini dapat dianggap sebagai gas terionisasi tinggi.

Sedangkan panjang Debye (λ_d) dirumuskan sebagai berikut:

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T_e}{n_e e^2}} \quad (2.15)$$

dengan λ_d adalah panjang Debye (m), k adalah konstanta Boltzman ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K), T_e adalah temperatur elektron (K), n_e adalah kerapatan elektron (m^{-3}), e adalah muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ C), serta ϵ_0 adalah permitivitas hampa ($8,85 \times 10^{-12}$ C² Nm⁻²) (Naseer, 1971).

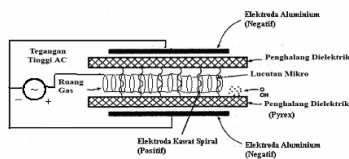
Plasma Non Termal

Plasma non termal termasuk plasma dingin, dengan ion dan atom atau molekul netral yang mempunyai energi kinetik lebih

kecil dibandingkan partikel berat. Plasma non termal merupakan salah satu dari bentuk plasma dengan energi rerata elektronnya lebih besar daripada energi rerata gas dan ion. Jenis bentukan dalam plasma non termal merupakan senyawa radikal bebas selain ion dan molekul gas netral (Chang, 1993).

Plasma Penghalang dielektrik

Plasma dapat dibangkitkan dengan teknik lucutan plasma penghalang dielektrik yang sering disebut dengan plasma senyap (*silent plasma*) merupakan sistem tertutup. Dengan menggunakan geometri elektroda berbentuk silinder koaksial atau bidang dengan lapisan penghalang dielektrik (Korzekwa, *et al*, 1998). Sistem reaktor plasma senyap dengan penghalang dielektrik ini dapat ditunjukkan pada gambar 2.1.

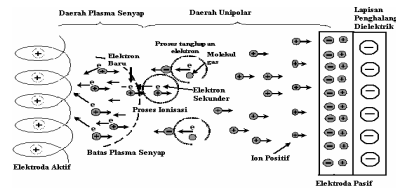


Gambar 2.1. Sistem Reaktor Plasma Senyap dengan penghalang dielektrik.

Adanya lapisan penghalang dielektrik akan menghalangi lucutan plasma yang terbentuk. Hal ini disebabkan karena muatan-muatan yang tertinggal pada permukaan dielektrik yang dapat mengurangi medan listriknya. Lucutan ini dapat dibentuk dengan pelipatgandaan elektron yang bergerak dari

elektroda aktif yang terakumulasi pada bahan dielektrik (yang melindungi elektroda pasif) pada waktu yang bersamaan. Aliran muatan pada 10-100 ns memungkinkan terjadinya perpindahan muatan selama waktu itu. Muatan elektron (negatif) ini dikumpulkan pada permukaan dielektrik sebagai muatan bebas (Kuraica, *et al*, 1996).

Apabila gas yang digunakan merupakan gas yang memiliki keelektronegatifan tinggi (mis: gas oksigen (O_2)), maka molekul ini akan mudah menangkap elektron sehingga bermuatan negatif dan akan dipercepat menuju anoda. Atom atau partikel elektronegatif dari gas oksigen tidak akan terdeposisi pada katoda, karena mempunyai muatan yang sama (Spryout, *et al*, 1994).



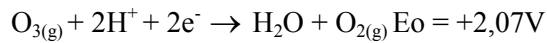
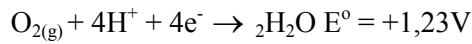
Gambar 2.2 Ilustrasi lucutan plasma penghalang dielektrik pada daerah unipolar (Chen, 2002).

Ozon (O_3)

Ozon adalah senyawa kedua yang paling penting, yang juga ditemukan di dalam udara tercemar. Konsentrasi ozon tinggi terdapat di stratosfer, ozon mempunyai tujuan yang menguntungkan yaitu untuk menyaring radiasi ultraviolet (UV) yang berbahaya dari matahari. Konsentrasi ozon di dalam udara yang tidak

tercemar biasanya rendah (20-50 ppbv) (Radojevic, 1999).

.Ozon merupakan pengoksidasi terkuat kedua setelah flour. Sifat pengoksidasi yang kuat ini ditunjukkan dengan potensial yang tinggi :



Sifat sifat alotropi ozon dapat dilihat di table 2.1 (Shienko, 1979).

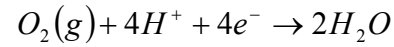
Tabel 2.2 Sifat alotropi dari ozon (Shienko, 1979)

Sifat alotropi	Ozon (O ₃)
Panjang ikatan, nm	0.1278
Titik lebur normal, K	80.5
Titik didih normal, K	161.7
Rapat cairan (90 K), g/ml	1.71

Oksigen (O₂)

Oksigen merupakan alotropi, karena unsurnya dapat dibentuk lebih dari satu bentuk ikatan atom. Pada saat energi ditambahkan oksigen (O) dapat berubah menjadi diatom oksigen (O₂), serta dapat menghasilkan triatom molekul ozon O₃. Ozon merupakan hasil reaksi yang terbentuk dari gas oksigen (Sienko, 1979).

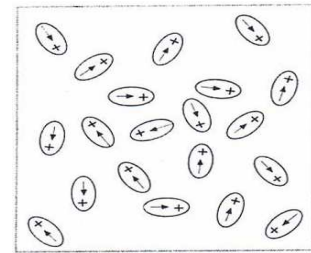
Oksigen merupakan pengoksidasi yang baik, hal ini dapat ditunjukkan dengan potensial reduksinya yang tinggi:



$$E^\circ = +1.23V$$

Penghalang Dielektrik (Dielectric Barrier)

Dielektrik merupakan material non konduktor yang semua elektronnya terikat kuat pada atom-atomnya dan tidak dapat bergerak bebas di dalam material tersebut. Di bawah pemakaian sebuah medan listrik luar, elektron-elektron yang terikat dari sebuah atom digeserkan sehingga titik pusat awan elektron terpisah dari titik pusat inti. Maka atom itu dikatakan terpolarisasi, sehingga menciptakan sebuah dipol listrik (polarisasi elektronik) (Rao, 2001).



Gambar 2.3 Dipol listrik yang tersebar secara acak dari suatu dielektrik polar tanpa kehadiran medan listrik luar. (Tipler, 1991)

Metode Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan perancangan sistem reaktor plasma dengan teknik lucutan plasma penghalang dielektrik yang dihubungkan

dengan tabung gas sumber oksigen dan peralatan bagian luar lainnya. Kemudian dicari karakteristik dari reaktor tersebut dengan cara memberikan variasi tegangan serta diamati kenaikan arus pada lucutan berpenghalang dielektrik. Selanjutnya diberikan variasi tegangan agar reaktor ozon dapat bekerja pada rentang tegangan tersebut. Oksigen sebagai masukan diberikan dalam reaktor ozon yang sudah berfungsi dengan kecepatan 1 Liter/menit dan 2 Liter/menit. Pada setiap kecepatan diberikan variasi tegangan dan waktu ozonisasi. Untuk mengetahui konsentrasi ozon digunakan metode titrasi

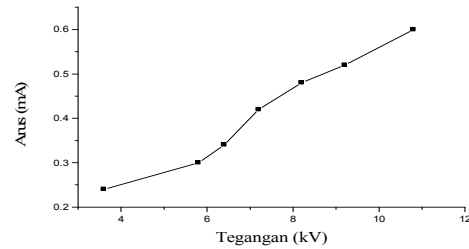
Hasil

Pada penelitian kali ini telah dibuat reaktor plasma lucutan berpenghalang dielektrik (*dielectric barrier discharge*) untuk menghasilkan ozon. Ozon mempunyai beberapa kegunaan di antaranya untuk pemutihan lilin, pengawetan buah dan sayuran, sterilisasi air.

Silent plasma (*silent plasma*) dihasilkan dari reaktor plasma lucutan berpenghalang dielektrik (*dielectric barrier discharge*). Pada lucutan plasma senyap terbentuk lucutan mikro yang kemudian akan menghasilkan ozon setelah mengionisasi oksigen di sekitar elektroda.

Pada sistem reaktor plasma lucutan berpenghalang dielektrik jarak antar elektroda kawat dengan bahan dielektrik adalah 0,1 cm yang merupakan celah terjadinya ionisasi molekul gas sehingga dapat terbentuk

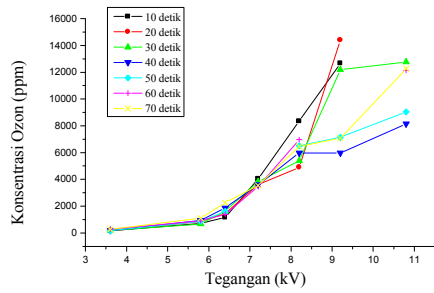
plasma.



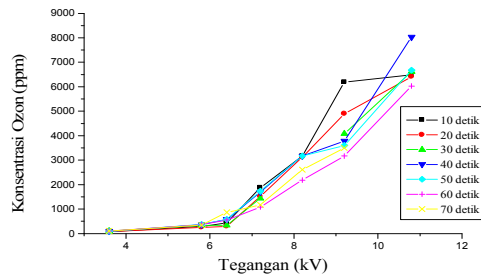
Gambar 4.1 Grafik karakteristik tegangan-arus pada reaktor plasma lucutan berpenghalang dielektrik.

Dari gambar 4.1 ditunjukkan bahwa arus yang mengalir pada reaktor plasma lucutan berpenghalang dielektrik sebanding dengan kenaikan tegangan, hal ini disebabkan karena medan yang menyebabkan terjadinya proses ionisasi, eksitasi, deeksitasi dan rekombinasi gas udara juga akan mengalami kenaikan.

Pada penelitian kali ini tegangan yang digunakan pada reaktor plasma lucutan berpenghalang dielektrik antara 3,6 kV sampai 10,8 kV karena pada rentang tersebut telah terbentuk plasma yang menghasilkan ozon. Debit aliran oksigen yang digunakan adalah 1 Liter/menit dan 2 Liter/menit dan perlakuan waktu ozonisasi antara 10 detik sampai 70 detik seperti yang ditunjukkan pada grafik 4.2 dan 4.3.

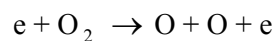


Gambar 4.2 Grafik konsentrasi ozon sebagai fungsi tegangan pada kecepatan aliran oksigen 1 Liter/menit

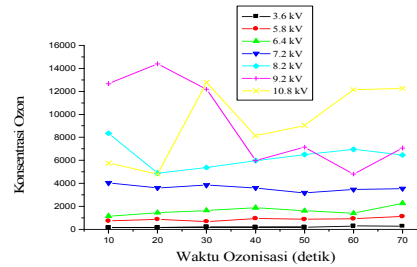


Gambar 4.3 Grafik konsentrasi ozon sebagai fungsi tegangan pada kecepatan aliran oksigen 2 Liter/menit

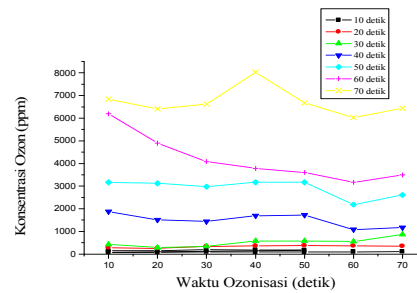
Konsentrasi ozon yang dihasilkan meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah elektron (akibat proses ionisasi) dalam setiap waktu yang digunakan gas untuk mengubah O_2 menjadi O_3 . Molekul gas yang bertumbukan dengan elektron akan menghasilkan atom oksigen dengan reaksi sebagai berikut:



Data Pengukuran konsentrasi ozon sebagai fungsi waktu ozonisasi ditunjukkan pada gambar 4.4.



Grafik 4.4. Grafik konsentrasi ozon sebagai fungsi waktu ozonisasi kecepatan aliran oksigen 1 Liter/menit.

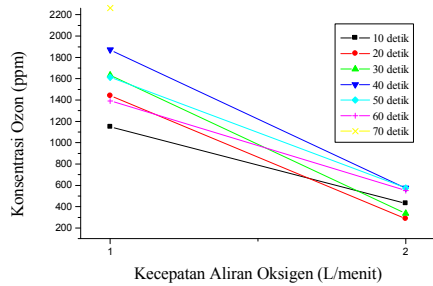


Grafik 4.4. Grafik konsentrasi ozon sebagai fungsi waktu ozonisasi kecepatan aliran oksigen 2 Liter/menit.

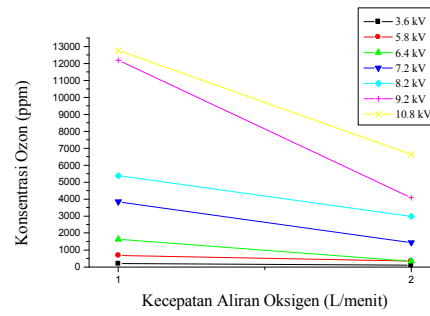
Konsentrasi ozon meningkat apabila waktu ozonisasi yang dilakukan semakin lama, untuk tegangan masukan konstan yang menyebabkan medan listrik pada reaktor lucutan berpenghalang dielektrik konstan. Elektron awal yang mempunyai energi tertentu akan bertumbukan dengan molekul-molekul oksigen yang akan menyebabkan molekul oksigen akan mengalami eksitasi maupun ionisasi, sehingga akan menghasilkan ion positif dan elektron

bebas. Medan yang kuat antara kedua elektroda membuat kedua partikel bermuatan ini terpisah dan mencegah terjadinya rekombinasi disamping mempercepat ion dan elektron sehingga memberikan energi kinetik pada keduanya. Pembangkitan energi kinetik elektron dapat menyebabkan terjadinya proses tumbukan antara elektron bebas dengan atom netral sehingga menghasilkan pasangan ion positif baru dan elektron sekunder. Proses tersebut berlangsung secara terus menerus sehingga akan menimbulkan pelipatgandaan elektron dan akan menyebabkan konsentrasi ozon yang dihasilkan juga semakin besar.

pengaruh debit alir gas oksigen masukan terhadap konsentrasi ozon terdapat pada gambar 4.4.



Gambar 4.5 Grafik konsentrasi ozon sebagai fungsi kecepatan aliran oksigen pada tegangan konstan 6.4 kV.



Gambar 4.6 Grafik konsentrasi ozon sebagai fungsi kecepatan aliran oksigen pada waktu ozonisasi 30 detik.

Grafik tersebut merupakan karakteristik konsentrasi ozon sebagai fungsi tegangan dengan kecepatan alir oksigen 1 L/menit, dan 2 L/menit (pada waktu konstan 30 detik). Pada kecepatan aliran oksigen 1 L/menit, konsentrasi ozon sebagai fungsi tegangan yang dihasilkan lebih tinggi karena energi elektron yang digunakan saat terjadi tumbukan dengan molekul gas lebih sedikit karena kecepatan alir molekul gas oksigen ini lebih lambat dibandingkan dengan kecepatan aliran oksigen 2 L/menit. Gas oksigen dengan debit aliran yang lebih kecil akan menghasilkan ozon yang lebih tinggi karena gerak aliran yang semakin lambat maka semakin lama molekul gas itu tinggal di dalam sistem pembangkit lucutan plasma menyebabkan semakin banyaknya molekul gas yang dapat terionisasi di dalam celah antar elektroda.

Pada kecepatan alir oksigen 2 L/menit dapat menyebabkan semakin menurunnya konsentrasi ozon yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena

semakin banyak gas yang mengalir ke dalam tabung reaktor, dapat menyebabkan berkurangnya waktu molekul gas yang berada pada saat proses ionisasi berlangsung (daerah ionisasi) sehingga molekul gas yang terionisasi hanya sedikit.

Kesimpulan

Dari semua pembahasan dan penjelasan pada penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem pembangkit plasma senyap menggunakan lapisan penghalang dielektrik yang memiliki bentuk konfigurasi silinder-koaksial (kawat spiral silinder) dapat digunakan untuk memproduksi ozon.
2. Kenaikan tegangan yang diberikan dapat meningkatkan konsentrasi ozon yang dihasilkan dari sistem pembangkit plasma lucutan penghalang dielektrik.
3. Konsentrasi ozon yang dihasilkan dari sistem pembangkit lucutan plasma penghalang dielektrik mempunyai nilai tertinggi pada penggunaan debit alir gas terkecil yaitu 1 liter/menit dibandingkan dengan debit alir gas 2 liter/menit.
4. Melalui perbandingan dengan penelitian sebelumnya, konsentrasi ozon meningkat apabila ukuran reaktor diperbesar.

5. Semakin besar kerapatan suatu gas (kecepatan alir gas besar) dapat menyebabkan jalur jalan bebas rerata partikel gas semakin kecil yang menghasilkan konsentrasi ozon semakin berkurang.

Referensi

- Chang, J. S., 1993, *Energetic Electron Induced Plasma Process for Reduction of Acid and Greenhouse in Combustion Flue Gas*, diedit oleh Penitrante, B. M., and Schultheis, S. E., NATO ASI Series, Springer Verlag.
- Chen, J., dan Davidson, J.H., 2002, *Electron Density and Energy Distributions in the Positive DC Corona: Interpretation for Corona-Enhanced Chemical Reactions*, Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol. 22, pp 199-224.
- Korzekwa, R., et al, 1998, *Experimental Results Comparing Pulsed Corona and Dielectric Barrier Discharges for Pollution Control*, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos.
- Krane, K., 1992, *Fisika Modern*, Penerjemah Hans J. Wospakrik dan Sofia Niksolihin, UI-Press, Jakarta
- Kuraica, M. M., et al, 1996, *Application of Coaxial Dielectric Barrier Discharge for Portable and Waste Water Treatment*, Faculty of Physics, Serbia and Montenegro.
- Nasser, E., 1971, *Fundamental of Gaseous Ionization and Plasma Electronics*, Wiley-Interscience, New York.

- Panicker, P, 2003, *Ionisation Of Gas By Corona Discharge*, S-2, Thesis, Universitas Texas, Arlington.
- Radojevic, M., dan Bashkin, V.N., 1999, *Practical Environmental Analysis*, Royal Society of Chemistry, England.
- Rao, N.N., Silaban, P., 2001, *Elemen-elemen Elektromagnetika Teknik Jilid 1*, Edisi kelima, Erlangga, Jakarta
- Sienko, M.J., Plane, R.A., 1979, *Chemistry: Principles and Applications*, McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Spyrout, N., *et al*, 1994, *New Result on a Point-to-Plane DC Plasma Reactor in Low-Pressure Dried Air*, Journal Phys. D: Appl. Phys., Vol. 27, pp 2329-2339.
- Tipler, P.A., 1991, *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 2*, Edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta.