

# LUCUTAN PLASMA TERHALANG DIELEKTRIK UNTUK PERLAKUAN GAS BUANG

Widdi Usada, Suryadi, Agus Purwadi, Isyuniarto, Sri Sukmajaya, Mintolo  
Pusat Penelitian Teknologi Maju, BATAN

## ABSTRAK

**LUCUTAN PLASMA TERHALANG DIELEKTRIK UNTUK PERLAKUAN GAS BUANG.** Permasalahan lingkungan khususnya pencemaran udara merupakan masalah serius yang dirasakan penduduk di seluruh dunia. Berbagai upaya untuk mengatasinya telah dilakukan baik melalui konvensi internasional, maupun penelitian yang melahirkan berbagai produk. salah satu diantaranya adalah modul-modul teknologi maju. Salah satu modul teknologi maju yang diajukan adalah teknologi Lucutan Plasma Terhalang Dielektrik (LPTD) atau yang dikenal pula dengan sebutan lucutan senyap. LPTD adalah lucutan plasma tak setimbang pada kondisi tekanan atmosferik yang diperoleh bila salah satu elektrodanya diberi lapisan dielektrik. Lucutan pada tekanan ini ditunjukkan oleh munculnya sebegitu banyak lucutan mikro berumur pendek yang terdistribusi secara acak. Lucutan mikro ini merupakan sumber elektron yang merupakan peran utama dalam perusakan gas buang yang dilewatkan dalam sistem LPTD. Di dalam makalah ini dibahas prinsip dasar LPTD serta keunggulannya terhadap metode lainnya.

**Kata Kunci :** Gas Buang, Plasma, Lucutan Terhalang Dielektrik

## ABSTRACT

**DIELECTRIC BARRIER PLASMA DISCHARGE FOR FLUE GAS TREATMENT.** Environmental problems especially air pollution has been a serious problem felt by public all over the world. Many works have been done to overcome this problem through international convention, research activities which generate many product. One of these was advanced technology moduls.. One of proposed technology was Dielectric Barrier Plasma Discharge Technology (DBPD) usually known as silent discharge. DBPD was a non equilibrium plasma discharge in atmospheric pressure condition which was achieved if one of the electrode coated by dielectric layer. Electrical discharge in this pressure was shown by generation of shortlived microdischarge distributed randomly. This microdischarge was electron resources which was a main actor in flue gas removal when it was passed through the DBPD system. In this paper the basic principle of DBPD and its advantage amongs the other methods were described.

**Key words :** Flue Gas, Plasma, Dielectric Barrier Discharge

## PENDAHULUAN

Pemakaian energi terus meningkat dengan laju yang cukup tinggi, sebagai contohnya dalam periode 1970-sampai dengan 2002, laju pertumbuhan energi rata-rata sekitar 10% per tahun dengan peran energi dari fosil juga masih sangat besar sekitar 90%. Sampai akhir tahun 2002, kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik nasional sebesar 39.588 MW, oleh karena itu emisi gas buang hasil industri yang menggunakan bahan bakar energi fosil juga sangat besar, sehingga diperlukan usaha pencarian energi baru dan terbarukan juga untuk mengurangi emisi gas buang<sup>[1]</sup>.

Oksida belerang, oksida nitrogen dan gas buang lainnya adalah gas-gas polutan dari industri sumber daya tenaga listrik dari batubara dan kilang

minyak yang menimbulkan hujan asam serta aerosol. Emisi gas beracun di dunia saat ini sekitar 25 Gigaton per tahun. Usaha yang banyak digunakan untuk menurunkan kadar polusi yang banyak digunakan beberapa puluh tahun terakhir adalah melalui proses katalitik (SCR = *selective catalytic reduction*) untuk polusi oksida nitrogen dan pengepel (*scrubber*) baik basah maupun kering untuk oksida belerang. Dari pandangan ekonomis maupun kesahihan kedua metode tersebut masih merupakan tantangan besar bagi industri-industri tersebut.

Menyambut tantangan tersebut berbagai macam metode inovatif telah diajukan diantaranya dengan Mesin Berkas Elektron (MBE), dan bervariasi metode plasma nontermal seperti lucutan gelombang mikro, busur *gliding*, Corona pulsa, Lucutan permukaan, serta Lucutan Plasma Ter-

halang Dielektrik (LPTD) yang mempunyai peluang unggul dalam menangani masalah penurunan kadar gas buang baik secara ekonomis maupun kesahihannya<sup>[2]</sup>.

**PRINSIP DASAR TEKNIK LUCUTAN PLASMA**

Konfigurasi lucutan korona diperlihatkan Gambar 1 a dan 1 b. Tampak pada Gambar 1 a, anode berupa kawat kawat runcing sehingga memudahkan adanya lucutan antara anode dengan katode. Disamping keunggulan mempunyai kapasitas yang lebih besar tetapi kerugiannya adalah adanya kerusakan pada anode tersebut.

Konfigurasi LPTD klasik diperlihatkan pada Gambar 2, dengan menggunakan susunan elektrode bentuk silinder atau planar dengan sekurang-kurangnya satu lapisan dielektrik yang ditempatkan di antara elektrode<sup>[2]</sup>.

Bahan dielektrik yang digunakan pada umumnya gelas, kuarsa, keramik atau juga polimer. Jarak antara kedua elektrode 1-3 mm. Sifat yang paling menarik pada LPTD adalah tekanan gas operasi adalah atmosferik, lucutan dadal terdiri dari banyak arus filamen yang disebut lucutan mikro atau lucutan *streamer* yang independen yang tersebar diseluruh permukaan dengan lama lucut dalam orde nanodetik<sup>[2]</sup>.

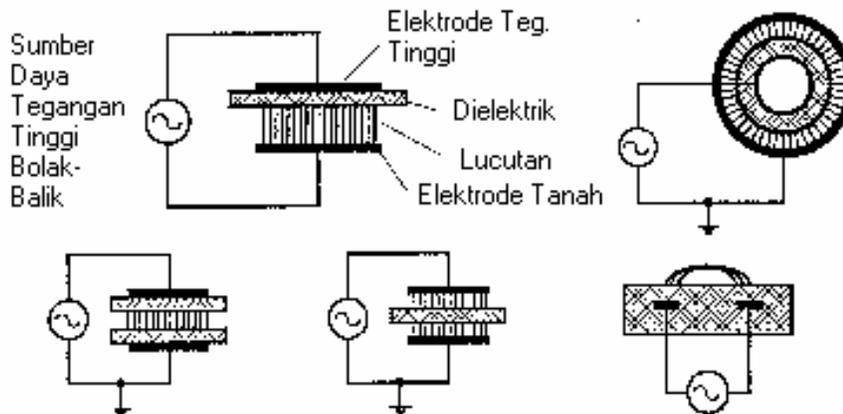


(a)



(b)

**Gambar 1a dan 1b. Konfigurasi susunan elektrode pada sistem lucutan korona. Gambar 1 a susunan elektrode anode berupa kawat-kawat runcing, sedangkan katodenya berupa pelat yang ditanahkan.**

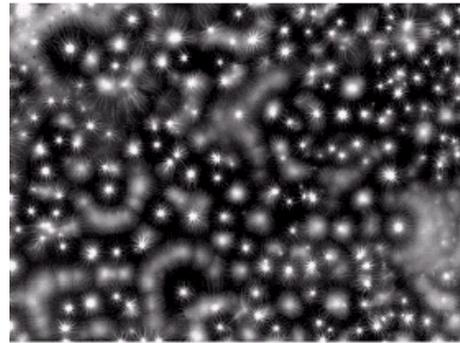


**Gambar 2. Konfigurasi LPTD planar dan silindris.**

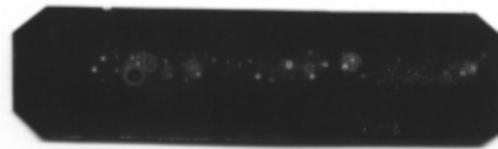
Filamen lucutan mikro dapat dianggap sebagai saluran plasma terionisasi lemah dengan sifat-sifat yang mewakili lucutan *glow* tekanan tinggi. Karena penyusunan muatan di permukaan dielektrik, yang lamanya beberapa nanodetik tersebut, medan listrik dilokasi lucutan mikro akan menurun sampai pada suatu harga tertentu sehingga aliran arus pada posisi tersebut terganggu. Karena umurnya sangat pendek dan jarak perpindahan muatannyapun sangat terbatas maka disipasi tenaganya juga kecil. Gambar Lichtenberg yang mewakili lucutan mikro yang ditangkap oleh film adalah seperti ditunjukkan oleh Gambar 3<sup>[9,10,11]</sup>. Dalam lucutan mikro tersebut sebagian besar tenaga elektron dapat digunakan untuk mengeksitasi atom atau molekul dari gas latar, sehingga menimbulkan reaksi kimia dan atau emisi radiasi.

Kerapatan elektron berorde  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$ , dengan lebar 0.2 mm. Tenaga elektron didalam filamen besarnya beberapa eV, sedangkan suhu gas tetap hampir sama dengan suhu gas latar. Elektron-elektron bertenaga tinggi dalam lucutan mikro bertumbukan dengan molekul dan atom gas latar dan menghasilkan ion, spesies tereksitasi, seperti halnya fragmen atom dan molekul lainnya yang mengawali reaksi kimia. Kombinasi fisika lucutan non termal dan kimia plasma telah mengarah pada

aplikasi penting untuk industri seperti yang ditunjukkan Gambar 4.

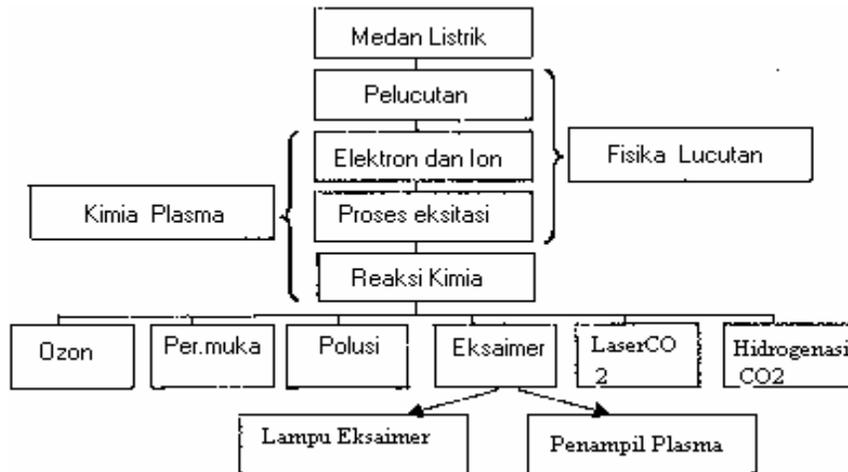


(a)



(b)

**Gambar 3. Gambar Lichtenberg yang mewakili lucutan mikro yang ditangkap oleh film.**



**Gambar 4. Skema diagram prinsip umum Lucutan Korona dan LPTD serta aplikasinya.**

**PEMBAHASAN**

Perbandingan karakteristik, kecanggihan dan ketidakuntungan dari kedua metode tersebut dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Lucutan korona lebih efisien dibanding dengan mesin berkas elektron pada pelimpahan

tenaga karena lucutan korona mempunyai efisiensi daya yang lebih besar dalam menghasilkan radikal-radikal yang bermanfaat seperti (O, OH, HO<sub>2</sub>) untuk oksidasi oksida belerang, sedangkan untuk berkas elektron karena tenaganya sangat besar justru banyak yang terbuang karena menghasilkan ion-ion nitrogen dan oksigen yang tidak bermanfaat.

**Tabel 1. Perbandingan karakteristik, kecanggihan dan ketidakuntungan dari metode Lucutan Korona dengan Mesin Berkas Elektron<sup>[3,4,5,6]</sup>.**

Parameter	Lucutan Corona/LPTD	Mesin Berkas Elektron
Tekanan Operasi	Atmosfer	Vakum
Sumber elektron	Internal (di dalam gas polutan)	Eksternal
Tenaga elektron	10 eV	$10^5 - 10^6$ eV
Modal	Rendah	Sangat Besar
Biaya Operasi	Cukup Tinggi	Cukup Rendah
Ketidakuntungan	Korosi Elektrode	Kekotoran jendela injeksi elektron dan sinar X

Diantara berbagai macam jenis lucutan senyap, LPTD merupakan lucutan plasma yang unggul karena mudah dibuat, lucutan merata di permukaan, jadi mengurangi keborosan elektroda. Seperti diketahui lucutan korona adalah lucutan yang dihasilkan pada sistem pasangan elektrode dengan salah satu elektrodenya menggunakan elektrode jarum, sehingga kemungkinan besar terjadi keausan. Namun salah satu keunggulan

lucutan korona tersebut adalah lucutan tersebut mempunyai kapasitas daya yang lebih besar dibanding dengan LPTD seperti diperlihatkan Tabel 2. Sehingga ada usaha menggabungkan kedua teknologi tersebut yaitu lucutan korona dipasang dibelakang LPTD, sedangkan tabel 3 memperlihatkan karakteristik model SCR, berkas elektron dan lucutan korona/LTD dari pandangan ekonomi dan teknologi.

**Tabel 2. Perbandingan karakteristik, kecanggihan dan ketidakuntungan dari metode Lucutan Korona dengan LPTD<sup>[6]</sup>.**

Uraian	Lucutan Corona	LPTD
Tekanan Operasi	Atmosfer	Atmosfer
Sumber elektron	Internal (di dalam gas polutan)	Internal
Tenaga elektron	10 eV	10 eV
Modal	Kecil	Kecil
Biaya Operasi	Cukup Tinggi	Rendah
Ketidakuntungan	Korosi Elektrode	Pengotoran Dielektrik
Kapasitas	Besar	Kecil

**Tabel 3. Karakteristik Berbagai Tipe Piranti Flue Gas Treatment<sup>[6,7]</sup>.**

Parameter	SCR	Berkas Elektron	LTD/Korona
Biaya Modal (US\$)	250/kW	200/kW	50/kW
Biaya Operasi (US\$)	2200/ton	800/ton	1400/ton
Efisiensi	>60% (NO <sub>x</sub> ) >70% (SO <sub>x</sub> )	>80% (NO <sub>x</sub> ) >90% (SO <sub>x</sub> )	>80% (NO <sub>x</sub> ) 50% (SO <sub>x</sub> )
Kehandalan	Terbukti puluhan tahun	Terbukti 20 tahun terakhir	dalam ujicoba dimulai 2004
Biaya keseluruhan	Mahal	Moderat	lebih murah

Teknologi	Sederhana	Tinggi	Sederhana
-----------	-----------	--------	-----------

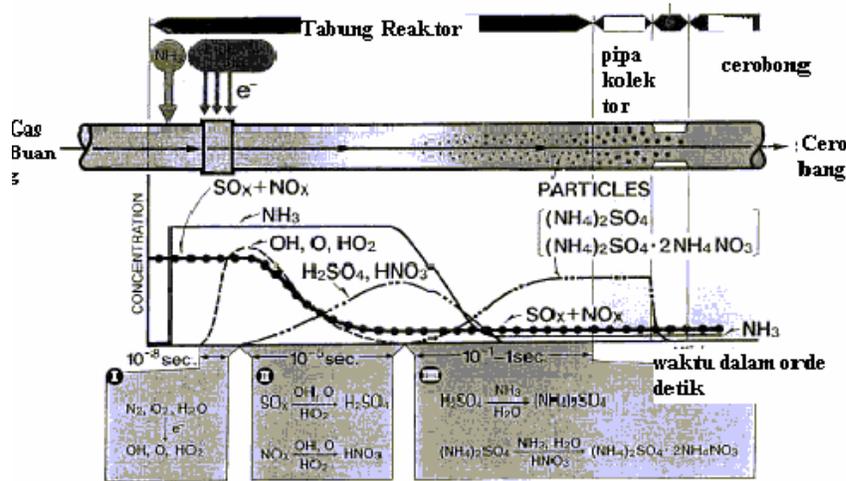
Aplikasi LPTD atau LTD pada penghancuran senyawa beracun dan polusi serta pengendalian bau pada umumnya telah banyak menarik perhatian. Banyak penelitian diarahkan pada peruraian oksida nitrogen dan oksida belerang pada gas buang, dan senyawa organik berbahaya (*volatile organic compounds*=VOC) pada berbagai proses industri<sup>[2-9,11,12,13,14]</sup>. Banyak senyawa organik berbahaya pada umumnya dapat dirusak oleh spesies tereksitasi, radikal bebas, elektron, ion dan atau sinar UV yang dihasilkan dengan LTD. Prinsip kerja aplikasi LTD

untuk gas polusi sederhana yaitu LTD sebagai sumber elektron akan bereaksi dengan senyawa polutan atau gas yang dalam tabung lucut membentuk spesies radikal dan hidrokarbon. Hidrokarbon dan spesies radikal akan saling bereaksi dan membentuk senyawa sederhana yang relatif dapat dikendalikan. Gambar 5 memperlihatkan skema aplikasi LTD untuk merusak gas polusi.

Dalam industri aplikasi Mesin Berkas Elektron (MBE) untuk perlakuan gas buang diperlihatkan Gambar 6<sup>[4,5,7]</sup>.



Gambar 5. Skema aplikasi LTD untuk merusak gas polusi.



Mekanisme reaksi kimia proses perlakuan gas buang

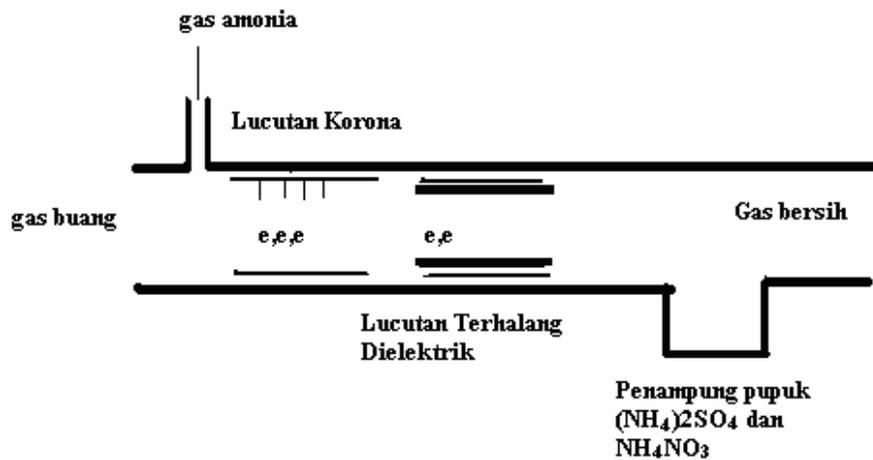
Gambar 6. Mekanisme reaksi kimia proses perlakuan gas buang dengan mesin berkas elektron.

Dalam sistem perlakuan dengan mesin berkas elektron sebelum gas buang diiradiasi dengan MBE terlebih dahulu gas tersebut dicampur dengan gas ammonia dan selanjutnya gas buang bercampur gas ammonia ( $\text{NH}_3$ ) tersebut diiradiasi dengan elektron dan terjadi proses seperti pembentukan radikal dan molekul sederhana seperti  $\text{N}_2, \text{O}_2, \text{H}_2\text{O}$  dan juga radikal OH, O dan  $\text{HO}_2$ . Proses selanjutnya adalah pembentukan asam  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{HNO}_3$ , dan terbentuknya  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  dan  $2 \text{NH}_4\text{NO}_3$  yang berfungsi sebagai pupuk, dan yang terakhir gas yang tersisa akan dibuang melalui cerobong yang relatif bersih dari  $\text{SO}_x$  dan  $\text{NO}_x$ . Sistem perlakuan gas dengan mesin berkas elektron ini mempunyai efisiensi sekitar lebih 80 dan 95 % masing-masing untuk proses denitrifikasi dan desulfurisasi.

Dalam sistem perlakuan gas buang dengan mesin berkas elektron maka sistem MBE diluar dari

saluran gas buang atau disebut sistem eksternal, tetapi dalam sistem perlakuan dengan lucutan korona dan lucutan terhalang dielektrik, sistemnya dimasukan ke dalam saluran gas buang, maka sistem ini disebut sistem internal, sehingga konsep yang diajukan adalah dapat digambarkan seperti ditunjukkan Gambar 7.

Tampak bahwa baik sistem lucutan korona maupun LTD dipasang didalam saluran gas buang. Kendala utama konsep ini adalah karena piranti berada di dalam saluran maka kemungkinan terjadinya kerusakan elektrode khususnya untuk lucutan korona, dan kemungkinan tertempelnya gas buang dan gas pembawa ammonia pada bahan dielektrik sehingga perlu dilakukan pemeriksaan secara teratur. Namun keunggulannya adalah dengan bahan lokal dan biaya relatif murah kedua metode tersebut dapat dikerjakan sendiri dengan biaya relatif murah.



Gambar 7. Konsep perlakuan gas buang dengan LTD.

Seperti diketahui bahwa yang berperan dalam perusakan gas buang adalah elektron yang membentuk radikal-radikal, yang pembentukannya hanya dengan tenaga elektron dalam orde eV, oleh karena itu banyak energi terbuang bila digunakan MBE yang membunyai energi ratusan keV, dan kendala lainnya adalah kemungkinan pembentukan sinar X karena proses tumbukan elektron bertenaga tinggi dengan saluran gas buang yang biasanya terbuat dari logam. Sedangkan bila digunakan lucutan korona ataupun lucutan terhalang dielektrik, energi elektron yang diperoleh dalam orde puluhan eV, sehingga proses pembentukan radikal sangat efisien.

Yang perlu dibahas adalah bagaimana mengatasi beban biaya operasional untuk kerusakan yang diderita oleh elektrode pada lucutan korona dan proses pembersihan bahan dielektrik dari kemungkinan tertempelnya partikel gas buang yang menghambat proses lucutan, yang dalam makalah ini belum dibahas.

## KESIMPULAN

Telah ditunjukkan dan dibandingkan keunggulan dan kerugian digunakannya MBE, Lucutan Korona dan Lucutan Terhalang Dielektrik

untuk perlakuan gas buang hasil industri. Dengan melihat keunggulan dan kerugian ketiga metode tersebut maka ada peluang bagi pemanfaatan lucutan korona dan lucutan terhalang dielektrik untuk diterapkan pada perlakuan gas buang, mengingat harga relatif murah serta kesederhanaan piranti.

## ACUAN

- [1] DIREKTUR ENERGI BARU TERBARUKAN DAN KONSERVASI ENERGI, *Fuel Cell Dan Distributed Power Generation*, Departemen Nergi Dan Sumber Daya Mineral, Disampaikan pada Seminar Bidang Fuel Cell Hari Kebangkitan Teknologi Nasional, Serpong, 12 Agustus 2004.
- [2] KOGELSCHATZ U., ELIASSON B., *From Ozone Generators to Flat Television Screens : History and Future Potential of Dielectric Barrier Discharges*, ABB Corporate Research Ltd. 5405 Baden, Switzerland, 1999.
- [3] PENGHUI, G. ET AL, *Studies On An AC/DC Combination Discharge Mode For NOx treatment*, Department of Electrical and Electronic Engineering, School of Science and Engineering, Saga University, Japan.
- [4] PEI, Y.J ET AL, *A Low Cost And High Efficiency Facility For Removal of SO<sub>2</sub> And NOx In The Flue Gas From Coal Fire Power Plant*, National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui, P.R. China.
- [5] ANONIM, *Flue Gas Treatment by Intense Pulsed Relativistic Electron Beam*, Extreme Energy Density Research Institute, Nagaoka University of Technology, Japan, July, 2004.
- [6] MCLARNON C.R. and JONES, M.D, *Ekektro-Catalytic Process For Multi-Pollutant Control At First Energys R.E. Burger Generating Station*, Presented at Electric Power 2000 Cincinnati Convention Center, April 5, 2000.
- [7] TURHAN C, *et al, Technical and Economical Aspects of SO<sub>2</sub> and NOx Removal From Flue Gas By Electron Beam Irradiation*, Ankara Nuclear Research and Training Center, Ankara, Turkey, 2002.
- [8] ORLANDINI I and RIEDEL U., *Chemical Kinetics of NO Removal By Pulsed Corona Discharge*, J. Phys. D:Appl.Phys.33, 2467-2474, 2000.
- [9] RONNEY P.D. *et al.*, *Corona Discharge Ignition for Advanced Stationary Natural Gas Engines*, University of Southern California, 4 January 2003.
- [10] WIDDI USADA DKK., *Pembuatan Ozonizer 100 W*, Prosiding Litdas Iptek Nuklir, P3TM-Yogyakarta, 2003,
- [11] JEN-SHIH *et al.*, *Hand book of Electrostatic Processes*, Marcel Dekker, Inc, New York-Bassel-Hong Kong, 1995.
- [12] AKISHEV, Y., *et al*, *Pin-To-Plate Glow Discharge in Following Air at Atmospheric Pressure*, 2000.
- [13] TONKYN R.G., *et al*, *Vehicle Exhaust Treatment Using Electrical Discharge Methods*, Chemical Structure and Dynamics 1999 Annual report, February 22, 2000.
- [14] JANG G.H., *et al*, *Development of 0.5 Mwe Scale DeSOx-DeNOx System*, Using Pulsed Corona Discharge, Environment Technology Res. Department, R & D Center, Hanjung, PO Box 77 Changwon, Kyugman, S. Korea.

---

## TANYA JAWAB

### Utaja

- Bagaimana penyaji memasang LPTD pada pipa gas buang dengan diameter  $\pm 5$  meter.
- Bagaimana penyaji membuang SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub> setelah mengalami proses di LPTD.

### Widdi Usada

- LPTD yang kita kenakan pada pipa gas buang dengan membuat banyak elemen LPTD yang dipasang paralel.
- SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub> yang dicampur dengan amoniak melalui bantuan elektron dari LPTD dan proses kimia yang dilakukannya membentuk garam amonium sulfat dan amonium nitrat yang juga sebagai pupuk untuk tanaman.