

OPTIMASI TABUNG PLASMA LUCUTAN DISKRIT UNTUK PRODUKSI OZON MAKSIMUM

Agus Purwadi, Widdi Usada.

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN

ABSTRAK

OPTIMASI TABUNG PLASMA LUCUTAN DISKRIT UNTUK PRODUKSI OZON MAKSIMUM. Telah dibuat tabung plasma lucutan diskrit optimum untuk produksi ozon maksimum. Tabung plasma lucutan diskrit optimum terdiri dari tabung-tabung: katoda, dielektrik dan anoda. Tabung katoda terbuat dari bahan stainless steel (SS) dengan panjang 180 mm, tebal 1 mm dan diameter 25,4 mm. Tabung dielektrik terbuat dari bahan gelas pyrex dengan panjang 220 mm, tebal 1 mm dan diameter 21 mm. Produk ozon maksimum diperoleh dengan metoda pemvariasian jenis bahan dan bentuk geometri dari tabung anodanya. Tabung anoda divariasasi dari jenis bahan: stainless steel (SS), aluminium (Al) dan seng (Zn) sedang variasi dari bentuk geometri dengan cara merubah luas permukaan lucut anoda. Pada hasil percobaan awal ditunjukkan bahwa produk ozon maksimum diperoleh dengan menggunakan anoda SS, selanjutnya anoda SS divariasasi luasan permukaan anodanya (dengan bentuk ulir sejumlah 21, 31, 81 buah dan tanpa ulir). Dari hasil percobaan dihasilkan bahwa laju produk ozon maksimum sebesar $v = 0,1190$ mg/s diperoleh dari tabung plasma lucutan diskrit dengan anoda SS tanpa ulir.

Kata kunci: lucutan diskrit, plasma, ozon.

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF THE DISCRETE DISCHARGE PLASMA TUBE TO PRODUCE THE MAXIMUM OZONE. It has been constructed the optimum dielectric discharge plasma tube to produce the maximum ozone. The optimum discrete discharge plasma tube consist of : cathode tube, dielectric tube and anode tube. Cathode tube is made of stainless steel (SS) 180 mm length, 1 mm thick and 25,4 mm diameter. Dielectric tube is made of pyrex glass 220 mm length, 1 mm thick and 21 mm diameter. The maximum ozone product obtained with the method of variation of substance type and the geometry form of anode tube. The anode tube is varied by material type of stainless steel (SS), aluminium (Al) and zinc (Zn) while the variation of geometry form is done by changing of the discharge surface area of anode. On the early experiment result it is shown that the maximum ozone product obtained by using SS anode and then the surface area of the SS anode is varied (with the screw form to the amount of 21, 31, 81 unit and anode without screw). From the experiment result it is shown that the maximum ozone production rate is $v = 0,1190$ mg/s obtained from the discrete discharge plasma tube by using SS anode without screw.

Key words : discrete discharge, plasma, ozone.

PENDAHULUAN

Gas ozon (O_3) merupakan bahan desinfektan yang mampu membunuh mikro organisme patogen seperti bakteri, virus dan jamur. Berbeda dengan bahan desinfektan lainnya, aplikasi ozon tidak meninggalkan residu kimia yang membahayakan tetapi malah menghasilkan oksigen sehingga teknologi ozon sangat ramah lingkungan^[1]. Kerena sifatnya di alam yang tak stabil mengakibatkan ozon tidak dapat dipaketkan untuk dibawa ke suatu tempat, sehingga ozon harus dibuat di tempat yang memerlukan.

Ozon dapat dibuat dengan metode lucutan plasma terhalang dielektrik. Pada plasma lucutan diskrit terdiri dari berbagai filamen arus yang

berlangsung selama dalam selang waktu periode tegangan. Dengan menggunakan gas masukan udara pada tekanan atmosfer telah didemonstrasikan oleh MARODE bahwa arus mengalir dalam jumlah besar dari lucutan-lucutan individu^[2]. Lucutan diskrit ini dalam udara atau oksigen (pada tekanan atmosfer) dibuat dalam jumlah sangat besar dengan cara memperluas permukaan lucut dimana lucutan-lucutan mikro terdistribusi secara acak dengan masing-masing lucutan mikro berlangsung hanya beberapa nano sekon dan bisa mencapai rapat arus 100-1000 A/cm² dalam filamen berbentuk hampir silinder berjejari sekitar 100 mikro meter (μ m).

Pada generator ozon dengan tabung reaktor bentuk silinder, untuk setiap luasan elektroda 1 m² akan diperlukan daya antara 1- 5 kilowatt (kW) atau

0,1-0,5 W/cm² [3]. Oleh karenanya dengan diameter dielektrik atau luasan dielektrik serta jarak celah yang telah tertentu maka dapat dipilih diameter untuk katoda dan anoda yang selanjutnya divariasi jenis bahan dan bentuk geometri permukaannya untuk memperoleh produk ozon maksimum. Jenis bahan anoda akan sangat menentukan besarnya produk ozon mengingat untuk masing-masing jenis bahan akan mempunyai tenaga ikat partikel di permukaannya yang saling berlainan. Demikian pula bentuk geometri anodanya karena luasan permukaan anoda yang efektif akan sangat menentukan jumlah elektron yang untuk mendisosiasi molekul oksigen pada proses pembentukan gas ozon dalam tabung plasma lucutan.

Pada percobaan, agar dapat diperoleh produksi gas ozon maksimum digunakan variasi jenis bahan anoda yang murah dan mudah didapat di pasaran berupa stainless steel (SS), aluminium (Al) dan seng (Zn), sedang bentuk geometri anoda dibuat dengan variasi luasan permukaan anoda efektif yang direalisasi dengan pembuatan anoda bentuk ulir (jumlah ulir divariasi pada permukaan anoda dengan panjang yang sama). dari salah satu bahan anoda optimum) pada tabung plasma lucutan diskritnya.

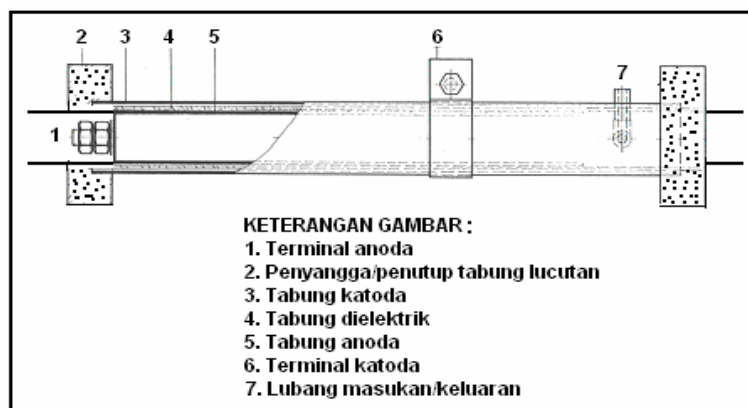
Diharapkan dengan cara memvariasi jenis bahan anoda (pada ukuran volum tabung plasma lucutan yang sama) serta variasi bentuk geometri permukaan anodanya dapat diperoleh konstruksi tabung plasma lucutan diskrit optimum dengan harga laju produk ozon yang maksimum.

TATAKERJA

Generator ozon terdiri dari 2 (dua) komponen penting yakni berupa tabung plasma lucutan diskrit dan komponen pendukung yang berupa sumber

daya tegangan tinggi bolak-balik beserta bahan mekanik lainnya. Tabung plasma lucutan diskrit yang merupakan tempat ozon terbentuk dirancang-bangun dengan bentuk silinder yang tersusun dari tabung-tabung katoda, dielektrik dan anoda dalam satu sumbu aksial. Ilustrasi tabung lucutan penghasil gas ozon tersebut adalah ditunjukkan pada Gambar 1, sedang masing-masing spesifikasinya (jenis material dan geometri ukuran) ditunjukkan pada Tabel 1.

Pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa terminal anoda (1) yakni tempat untuk memasok tegangan tinggi kutub positif diletakkan pada salah satu ujung tabung anoda. Untuk penyangga sekaligus berfungsi sebagai penutup tabung (2) pada kedua ujung-ujungnya dibuat alur lingkaran dengan diameter sama dengan diameter tabung katoda. Pada tabung katoda (3) disamping ada terminal katoda juga dilengkapi dengan dua buah lubang masukan dan keluaran yakni tempat untuk masuknya udara dan atau keluarnya ozon. Tabung dielektrik (4) terbuat dari bahan gelas pyrex bentuk silinder. Tabung anoda (5) terbuat dari 3 macam jenis bahan : stainless steel (SS), aluminium (Al) dan seng (Zn). Tabung anoda dilengkapi dengan terminal anoda yakni tempat untuk memasok tegangan tinggi kutub positif. Terminal katoda (6) yakni tempat untuk kutub listrik negatif adalah berupa klem logam yang dililitkan pada badan tabung katoda. Ruang antara tabung dielektrik dengan tabung katoda dinamakan celah lucutan dengan jarak radial sebesar 1,60 mm yakni sebagai tempat aliran gas udara atau oksigen dari lubang masukan (dilucut dengan tegangan tinggi bolak-balik 25 kV) yang selanjutnya menjadi gas ozon keluar melalui lubang keluaran tabung lucutan (7). Lubang masukan/keluaran adalah sebagai tempat masuknya udara dan keluarnya gas ozon yang diproduksi dalam tabung lucutan.



Gambar 1. Ilustrasi tabung plasma lucutan diskrit penghasil gas ozon.

Tabel 1. Spesifikasi komponen tabung plasma lucutan diskrit.

No	Komponen	Material	Panjang (mm)	Diameter luar (mm)	Tebal (mm)
1	Terminal anoda	SS	5	5	-
2	Penyangga/penutup	Nylon	10	4,50	1,00
3	Tabung katoda	SS	180	25,40	1,10
4	Tabung dielektrik	Gelas lunak	220	18,10	1,60
5	Tabung anoda	SS/Al/Zn	160	14,50	1,00
6	Terminal katoda	SS	5	27,50	1,00
7	Lubang masukan/keluaran	Plastik	15	2	0,50

Laju produk ozon yang sebanding dengan konsentrasi ozon dapat ditentukan menggunakan bantuan larutan standar yodida (I_2), kalium yodida (KI) dan sinar UV pada panjang gelombang $\lambda = 345$ nm. Lama waktu paparan sinar UV terhadap larutan standar I_2 divariasikan sedemikian sehingga diperoleh persamaan garis linear standar hubungan antara konsentrasi dan absorbansi^[4]. Karena dalam persamaan reaksi kimia: pembebasan molekul I_2 dari larutan KI akibat adanya molekul O_3 adalah mempunyai angka valensi yang sama maka jumlah 1 mol I_2 adalah identik dengan 1 mol O_3 sehingga untuk menentukan berat ozon yang diproduksi selama waktu tertentu tersebut adalah merupakan perkalian konsentrasi I_2 dengan berat molekul ozon (48 mg/mol). Akhirnya dari masing-masing laju produk ozon (mg/det) yang diperoleh atas dasar lama paparan yang saling berbeda dapat diperoleh harga laju produk ozon rerata.

Setelah dari ketiga jenis bahan anoda SS, Al dan Zn diketahui masing-masing besar harga laju produk ozonnya (mg/det) selanjutnya dipilih salah satu jenis bahan anoda (mempunyai laju produk ozon terbesar) untuk divariasikan bentuk geometri permukaan lucutannya untuk perolehan laju produk ozon yang tertinggi. Variasi bentuk geometri permukaan lucutan dapat direalisasi dengan pembuatan jumlah ulir yang berbeda-beda (21 ulir, 31 ulir, 81 ulir dan tanpa ulir) pada permukaan anoda dengan ukuran panjang anoda (silinder) yang sama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dibuat tabung plasma lucutan diskrit dengan menggunakan 3 (tiga) buah macam bahan (material) anoda yang terdiri dari stainless steel (SS), aluminium (Al) dan seng (Zn). Hasil pembuatan tabung lucutan plasma beserta komponen-komponennya adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Pada Gambar 2 ditunjukkan bahwa pada bagian A adalah tabung lucut plasma beserta komponen pendukungnya yang diantaranya komponen pendukung anoda (no.4) menggunakan bahan SS bentuk silinder dengan permukaan lucut halus (tanpa ulir), pada bagian B ditunjukkan komponen anoda dari bahan Al sedang pada bagian C komponen anoda digunakan bahan Zn. Masing-masing anoda dari berbagai jenis bahan pada bagian A, B dan C tersebut dirangkai dijadikan satu unit tabung lucut plasma (bagian D) sebagai penghasil gas ozon yang telah siap untuk dilucut dengan tegangan tinggi 25 kV.

Hasil pengukuran dan perhitungan besaran fisis ozon (absorbansi, konsentrasi, berat dan laju produk) dengan metoda absorbansi dari masing-masing tabung plasma lucutan diskrit menggunakan anoda SS, Al dan Zn atas dasar lama paparan sinar ultraviolet (UV) berpanjang gelombang $\lambda = 345$ nm terhadap larutan standar I_2 adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4.

Hasil pengukuran dan perhitungan telah ditunjukkan bahwa dari ketiga jenis bahan anoda SS, Al dan Zn diperoleh laju produk ozon maksimum sebesar $v = 0,119$ mg/det dari anoda SS^[5].



Gambar 2. Tabung lucutan plasma diskrit dengan anoda dari bahan SS, Al dan Zn.

Tabel 2. Hasil pengukuran dan perhitungan besaran fisis ozon dari tabung plasma lucutan diskrit menggunakan anoda SS (larutan standar I_2 disinari UV dengan $\lambda = 345$ nm).

No	Paparan (detik)	Absorbansi	Konsentrasi (mmol)	Berat O_3 (mg)	Laju Produk O_3 (mg/s)
1	2,95	0,150	0,0075	0,3595	0,1219
2	2,53	0,130	0,0060	0,2870	0,1134
3	2,78	0,145	0,0071	0,3417	0,1229

Tabel 3. Hasil pengukuran dan perhitungan besaran fisis ozon dari tabung plasma lucutan diskrit menggunakan anoda Al (larutan standar I_2 disinari UV dengan $\lambda = 345$ nm).

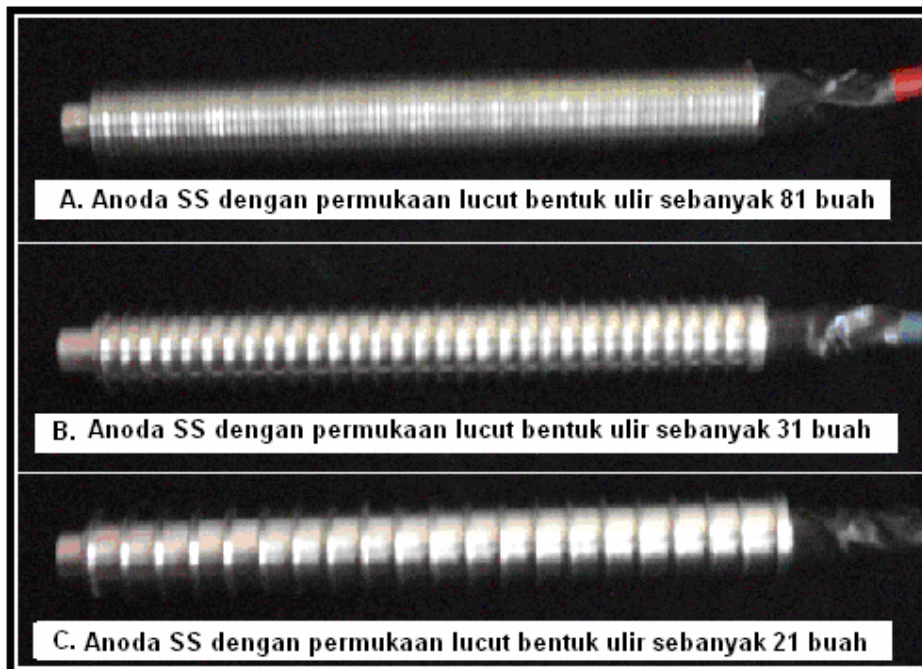
No	Paparan (detik)	Absorbansi	Konsentrasi (mmol)	Berat O_3 (mg)	Laju Produk O_3 (mg/s)
1	3,75	0,165	0,0086	0,4147	0,1106
2	2,75	0,110	0,0045	0,2141	0,0778
3	2,93	0,105	0,0041	0,1958	0,0668

Tabel 4. Hasil pengukuran dan perhitungan besaran fisis ozon dari tabung plasma lucutan diskrit menggunakan anoda Zn (larutan standar I₂ disinari UV dengan $\lambda = 345$ nm).

No	Paparan (detik)	Absorbansi	Konsentrasi (mmol)	Berat O ₃ (mg)	Laju Produk O ₃ (mg/s)
1	5,31	0,112	0,0046	0,2217	0,0418
2	5,99	0,104	0,0040	0,1924	0,0321
3	4,97	0,075	0,0018	0,0868	0,0175

Pada Gambar 3 bagian A, B dan C ditunjukkan hasil pembuatan anoda bahan SS dengan berbagai permukaan lucut bentuk ulir yang berbeda mewakili pemvariasian bentuk geometri dari besaran luasan permukaan anoda SS. Pada bagian A adalah anoda SS dengan permukaan lucut bentuk ulir sejumlah 81 buah, bagian B adalah anoda SS dengan permukaan lucut bentuk ulir sejumlah 31 buah dan bagian C adalah anoda SS dengan permukaan lucut bentuk ulir sejumlah 21 buah, sedang anoda SS dengan permukaan lucut tanpa ulir (halus) adalah seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 2 bagian A di atas.

Hasil pengukuran dan perhitungan besaran fisis ozon (absorbansi, konsentrasi, berat dan laju produk) dengan metoda absorbansi dari masing-masing tabung plasma lucutan diskrit anoda SS untuk berbagai permukaan lucut bentuk ulir (sejumlah 81, 31 dan 21 buah) masing-masing adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7. Sedang hasil pengukuran dan perhitungan dari tabung plasma lucutan diskrit anoda SS dengan tanpa ulir adalah seperti telah ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 3. Anoda SS dengan berbagai permukaan lucut bentuk ulir yang berbeda.

Tabel 5. Hasil pengukuran dan perhitungan besaran fisis ozon dari tabung plasma lucutan diskrit anoda SS dengan permukaan lucut bentuk ulir sejumlah 81 buah. (larutan standar I_2 disinari UV dengan $\lambda = 345$ nm).

No	Paparan (detik)	Absorbansi	Konsentrasi (mmol)	Berat O_3 (mg)	Laju Produk O_3 (mg/s)
1	9,44	0,220	0,0128	0,6114	0,0651
2	9,35	0,270	0,0166	0,7968	0,0852
3	9,38	0,250	0,0157	0,7248	0,0773

Tabel 6. Hasil pengukuran dan perhitungan besaran fisis ozon dari tabung plasma lucutan diskrit anoda SS dengan permukaan lucut bentuk ulir sejumlah 31 buah. (larutan standar I_2 disinari UV dengan $\lambda = 345$ nm).

No	Paparan (detik)	Absorbansi	Konsentrasi (mmol)	Berat O_3 (mg)	Laju Produk O_3 (mg/s)
1	30,51	0,110	0,0045	0,2160	0,0071
2	30,19	0,140	0,0067	0,3216	0,0106
3	30,15	0,134	0,0063	0,3024	0,0099

Tabel 7. Hasil pengukuran dan perhitungan besaran fisis ozon dari tabung plasma lucutan diskrit anoda SS dengan permukaan lucut bentuk ulir sejumlah 21 buah. (larutan standar I_2 disinari UV dengan $\lambda = 345$ nm).

No	Paparan (detik)	Absorbansi	Konsentrasi (mmol)	Berat O_3 (mg)	Laju Produk O_3 (mg/s)
1	90,57	0,040	0,0008	0,0384	0,0004
2	90,25	0,035	0,0012	0,0576	0,0006
3	90,10	0,034	0,0013	0,0624	0,0007

Dari Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7 dapat ditunjukkan bahwa besar masing-masing laju produk ozon rerata dari tabung plasma lucutan diskrit untuk anoda SS dengan ulir sejumlah 81 buah adalah sebesar $v = 0,0758$ mg/det, untuk anoda SS dengan ulir sejumlah 31 buah adalah sebesar $v = 0,0092$ mg/det dan untuk anoda SS dengan ulir sejumlah 21 buah adalah sebesar $v = 0,0006$ mg/det. Sedang untuk anoda SS yang tanpa ulir seperti ditunjukkan pada Tabel 2, besar laju produk ozon reratanya adalah sebesar $v = 0,1190$ mg/det.

Ternyata laju produk ozon maksimum adalah terjadi pada tabung plasma lucutan diskrit anoda SS dengan tanpa ulir yakni sebesar $v = 0,1190$ mg/det. Disini juga ditunjukkan bahwa pada anoda yang semakin banyak jumlah ulir (semakin besar luasan

permukaan lucut anoda), maka akan makin bertambah pula laju produk ozonnya. Hal ini bisa terjadi karena luas bidang lucutan anoda yang lebih besar (jumlah ulir pada anoda banyak) maka jumlah dan penyebaran lucutan mikro (diskrit) pada tabung tersebut akan lebih besar pula sehingga efisiensi proses terjadinya rekombinasi atom oksigen menjadi molekul ozon akan lebih besar dan laju produksi ozon pada ozonizer menjadi bertambah.

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan optimasi tabung plasma lucutan diskrit untuk produksi ozon maksimum dapat disimpulkan bahwa penggunaan anoda SS

adalah yang paling baik bila dibandingkan dengan penggunaan bahan anoda Al dan Zn. Menggunakan anoda SS pada berbagai jumlah ulir ditunjukkan bahwa laju produk ozon maksimum terjadi pada tabung plasma lucutan diskrit anoda SS dengan tanpa ulir (permukaan lucut halus) yakni sebesar $v = 0,1190$ mg/s.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penelitian ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada rekan-rekan di kelompok TAFN dan Bengkel Gelas & Mekanik PTAPB-BATAN, khususnya kepada Drs. Suryadi, SU. dan Ir. Isyuniarto atas diskusi ilmiahnya serta Ir. Setyo Atmodjo, Mintolo A.Md., Isak Ansori, A. Zaenuri dan Djoko Purwanto yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan teknis pembuatan dan eksperimen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] *A Service From The Canadian Center For Occupational Health & Safety (CCOHS)*, Basis Information on Ozone, February 19, 1999.
- [2] E. MARODE, *The Mechanism of the Spark Breakdown in Air at Atmospheric Pressure Between A Positive and A Plane*, Journal Applied Physics, 46(1975) ; pg 2005-2020.
- [3] ULRICH KOGELSCHATZ, *Industrial Ozone Production*, International Ozone Symposium, Basel, Switzerland, October 21-22, 1999, 200th Anniversary of Christian Frieddrich Schonbein, The Discoverer of Ozone.
- [4] AGUS PURWADI, WIDDI USADA, *Modified Ozone (O₃) Reactor Tube and Determination of O₃ Product By Absorbition Method*, Submitted 23 Januari 2007 untuk dapat diterbitkan pada Jurnal of Chemistry FMIPA-UGM 2007, Sekip, Yogyakarta.

- [5] AGUS PURWADI, *Pemilihan Jenis Bahan Anoda Tabung Lucutan Plasma Untuk Peningkatan Produk Ozon*, KTI Hasil Litbang Dipresentasikan pada Forum Pertemuan Ilmiah Litbang “Teknologi Akselerator dan Proses Bahan”, Yogyakarta, 11 Sept. 2007.

TANYA JAWAB

Taxwim

- *Batas ambang konsentrasi ozon di udara yang aman untuk kesehatan?*

Agus Purwadi

- *Batas ambang konsentrasi ozon di udara (yang aman) adalah 100 ppm asal tidak terhirup lebih dari 60 menit (untuk 10 ppm tidak lebih dari 600 menit).*

Saminto

- *Kenapa tabung reaktor ozon yang dibuat sering mengalami kerusakan/kebakar pada bagian isolator? Mohon dijelaskan.*

Agus Purwadi

- *Ya, karena pada bagian tutup tabung lucut (isolator/teflon) saat itu masih dapat dilewati lucutan arus dari anoda-katoda (tegangan ± 25 kV) yang seharusnya lucutan arus tersebut menembus penghalang/dielektrik (gelas pyrex). Problem ini telah dapat diatasi dengan konstruksi tabung dielektrik yang dibuat jauh lebih panjang dari pada tabung katoda dan anodanya (isolator teflon menjadi awet/tidak mudah rusak).*