

APLIKASI PEMBANGKIT BERKAS ELEKTRON DISKRIT 50 watt/25 kV UNTUK REDUKSI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR

Agus Purwadi, Widdi Usada, Suryadi, Isyuniarto

Puslitbang Teknologi Maju – BATAN Yogyakarta

ABSTRAK

APLIKASI PEMBANGKIT BERKAS ELEKTRON DISKRIT 50 W/25 kV UNTUK REDUKSI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR. Telah dibuat unit alat pembangkit elektron diskrit 50 watt/25 kV untuk reduksi gas buang beracun sepeda motor. Berkas elektron diskrit terbentuk pada ruang/celah sempit diantara dielektrik dan katoda yang dilucut dengan pencatu daya tegangan tinggi bolak-balik 25 kV. Dielektrik yang dilapiskan pada anoda, dibuat dari bahan gelas pyrex silinder dengan garis tengah 23 mm, panjang 180 mm dan tebal 1 mm. Anoda dan katoda dibuat dari bahan stainless steel (SS) bentuk silinder dengan garis tengah masing-masing 22 mm dan 25 mm, panjang 160 mm dan 200 mm serta tebalnya sama yakni 1 mm. Pencatu daya tegangan tinggi bolak-balik dirakit menggunakan komponen IC NE 555 sebagai osilator, transistor daya BU208 sebagai penguat daya dengan penyangga transistor TIP141 serta Ignition Coil 12V sebagai pelipat tegangan. Uji coba alat pembangkit elektron diskrit dilakukan dengan mengalirkan udara tekanan atmosfer melalui celah sempit dan dilucut dengan tegangan tinggi bolak-balik 25 kV (frekuensi 1,5 kHz). Secara visual tampak berkas lucutan elektron diskrit dalam celah lucutan serta teridentifikasi perubahan udara (20% mengandung oksigen) menjadi gas ozon pada lobang keluaran. Selanjutnya berkas elektron diskrit dengan spesifikasi daya 50 W/25 kV tersebut dimanfaatkan untuk mereduksi konsentrasi gas buang beracun (sepeda motor dengan kecepatan putaran mesin 3000 rpm \approx 60 km/jam) diperoleh untuk molekul NO_x sebesar 153,63 ppm (22,52 %) dan SO_2 34,99 ppm (12,89 %).

Kata kunci : berkas elektron diskrit, lucutan senyap, gas buang.

ABSTRACT

APPLICATION OF DISCREET ELECTRON BEAMS GENERATOR OF 50 watt/25 kV FOR REDUCING FLUE GAS OF MOTOR-VEHICLE. It has been constructed the discreet electron beams generator 50 watt/25 kV for reducing flue gas of motor-cycle. The discreet electron beams generator 50 watt/25 kV is formed in the narrow space between dielectric and cathode which was discharged by power supply/alternating high voltage of 25 kV (frequency of 1,5 kHz). Dielectric layered on cathode is made of the cylinder pyrex glass having 23 mm of diameter, 180 mm of length as well as 1,00 mm of thickness. Anode and cathode are made of cylinder stainless steel (SS) with 22 mm and 25 mm of their diameters, 160 mm and 200 of their lengths and their thicknesses are the same as 1 mm. Power supply/alternating high voltage of 25 kV is constructed by using IC NE 555 component as an oscillator, supply transistor BU208 as a supply amplifier with the support transistor of TIP141 and ignition coil 12 V as a voltage amplifier. Testing the discreet electron generator is carried out by introducing the air atmospheric pressure to the narrow gap and then discharged by using high voltage 25 kV. The discreet electron beams appears in the discharge gap and the change of air (20 % consists of oxygen) to ozone gas at the output pit was identified. The discreet electron beams with specification of 50 W/25 kV is then applied for reducing the poisoning flue gas concentration from funnel of motor-cycle (motor-cycle by machine root speed of 3000 rpm \approx 60 km/hr) resulted the percentage of NO_x 153,63 ppm (22,52 %) and the SO_2 molecule 34,99 ppm (12,89 %).

Key words : discreet electron beams, silent discharges, flue gas.

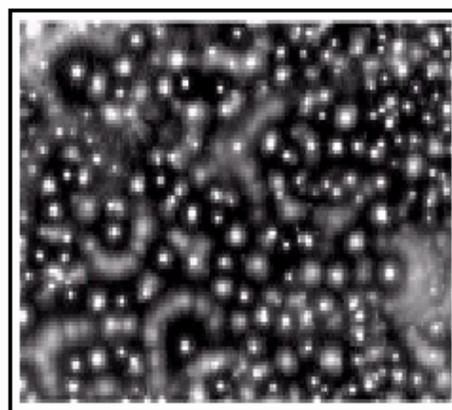
PENDAHULUAN

Para pakar fisika-kimia dunia telah lama berusaha menciptakan sumber energi baru dan terbarukan dengan maksud dapat meminimalisasi dampak negatif dari pancaran gas buang, namun dari kenyataan pancaran gas buang beracun seperti oksida belerang dan oksida beracun baik dari hasil industri maupun kendaraan bermotor masih sangat memprihatinkan. Pancaran gas beracun di dunia saat ini masih sekitar 25 Gigaton per tahun^[1]. Menyambut tantangan tersebut berbagai macam metoda inovatif telah diajukan diantaranya dengan Mesin Berkas Elektron dan berbagai variasi metoda plasma non-termal seperti lucutan gelombang mikro, lucutan permukaan, lucutan volum atau lucutan elektron diskrit yang diperkirakan akan punya peluang unggul dalam menangani masalah penurunan kadar gas buang baik dalam hal teknologi maupun ekonominya. Berkas/lucutan elektron diskrit merupakan lucutan plasma tak seimbang bertekanan atmosfer dimana dalam lucutan terjadi konsentrasi elektron yang lebih besar dari pada konsentrasi partikel bermuatan lainnya. Pada lucutan plasma tersebut elektron-elektron plasma mempunyai tenaga/temperatur yang jauh lebih tinggi daripada partikel-partikel berat (gas netral). Meskipun umurnya sangat pendek dan transport muatannya sangat terbatas serta disipasi tenaganya kecil, namun dalam lucutan mikro sebagian besar tenaga elektron dapat digunakan untuk mengeksitasi atom atau molekul gas latar sehingga menimbulkan reaksi kimia atau pancaran radiasi. Elektron yang bertenaga pada lucutan mikro akan menumbuk partikel atom, molekul, radikal bebas serta partikel kimia lainnya sehingga akan terjadi reaksi kimia-plasma yang dapat menimbulkan proses-proses : ionisasi, eksitasi, ionisasi Penning, hamburan elastis, disosiasi, ionisasi disosiatif, tangkapan disosiatif, rekombinasi maupun reaksi kimia^[2]. Atom dan molekul yang tereksitasi memiliki reaktivitas yang lebih tinggi daripada mereka yang dalam keadaan *ground state*. Oleh karenanya lucutan plasma elektron diskrit pada tabung lucutan yang alatnya telah siap pakai ini merupakan lucutan yang paling cocok untuk digunakan dalam bidang aplikasi kimia plasma volum dibandingkan dengan model lucutan lainnya,

yang dalam hal ini akan digunakan untuk mereduksi gas buang sepeda motor.

Sebagai syarat terjadinya lucutan plasma elektron secara diskrit maka pada celah sempit (celah lucutan) diantara dua elektroda paling sedikit disalah satu permukaan elektrodanya harus dilapisi dielektrik (bahan isolator) yang biasanya terbuat dari bahan keramik atau gelas, sedang sumber tegangan yang digunakan adalah sumber tegangan tinggi bolak-balik orde puluhan kilo volt (kV). Adanya dielektrik yang menutup salah satu elektroda merupakan fungsi kunci dari keistimewaan lucutan ini dimana dielektrik dapat berfungsi sebagai sumber filamen arus yang berisi elektron energetik (1-10 eV). Besar tenaga ini merupakan daerah/kisaran tenaga ideal untuk terjadinya eksitasi dari partikel atom dan molekul sehingga mampu untuk memisahkan ikatan-ikatan kimia suatu partikel.

Gas buang yang akan direduksi konsentrasi partikel beracunnya (dalam hal ini SO_2 dan NO_x) dilewatkan celah lucutan tabung untuk mendapatkan perlakuan oleh berkas elektron diskrit. Berkas elektron yang terlucut secara diskrit tersebut akan datang saling bergantian secara cepat dari katoda atau anoda bergantung pada besar frekuensi pencatu daya yang digunakan. Bentuk jejak (*footprint*) elektron yang menumbuk permukaan elektroda (katoda/anoda) adalah akan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1^[3].



Gambar 1. Bentuk jejak elektron yang menumbuk permukaan elektroda (katoda/anoda)^[3].

Jika pencatu daya tegangan tinggi luar dibebankan pada ruang/tabung lucut maka pada celah lucutan yakni pada daerah antara lapisan dielektrik dengan elektroda akan terjadi lucutan-lucutan mikro yang sifat kelistrikkannya secara keseluruhan dapat dijabarkan dengan kuantitas rerata. Kalau tegangan lucutan U_L adalah sebagai tegangan rerata yang menyeberang celah lucutan selama fase lucutan aktif maka hubungannya terhadap daya P dapat dinyatakan oleh persamaan sebagai berikut:

$$P = U_L / \Delta T f I dt \quad (1)$$

dengan ΔT adalah interval waktu selama lucutan aktif yang mana dapat diperluas sampai fase aktif berikutnya dalam satu siklus/periode. I adalah arus lucutan dan T periode dari tegangan bolak balik yang dibebankan. Jika C_D dan C_C masing-masing adalah kapasitan dari peng-halang dielektrik dan celah lucutan, $f = 1/T$ adalah frekuensi yang dipakai serta U_P adalah tegangan puncak maka tenaga yang terdisipasi/terhamburkan diberikan oleh persamaan:

$$P = 4 f C_D U_L [U_P - (C_D + C_C) / C_D \times U_L] \quad (2)$$

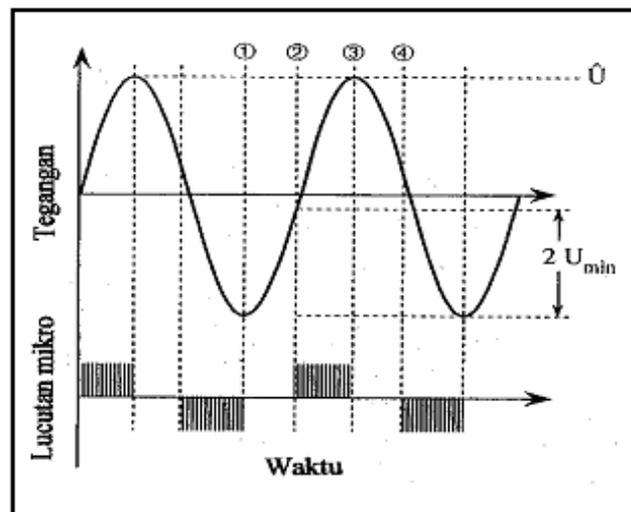
Dari rumusan tenaga pada persamaan (2) di atas, terlihat bahwa untuk harga-harga C_C dan

C_D tertentu maka tenaga P hanya bergantung pada frekuensi f , tegangan puncak U_P dan tegangan lucutan U_L sedang untuk bentuk tegangan masukan yang berbeda adalah tak berpengaruh. Demikian halnya kalau tegangan puncak U_P telah ditetapkan serta C_C dan C_D tertentu maka tenaga P hanya sebanding dengan frekuensi f . Tegangan lucutan U_L adalah kuantitas turunan yang mana dapat segera dihitung setelah U_{Min} terukur. Harga U_L bergantung pada jenis gas masukan, jarak celah lucutan dan tekanan tabung lucutan.

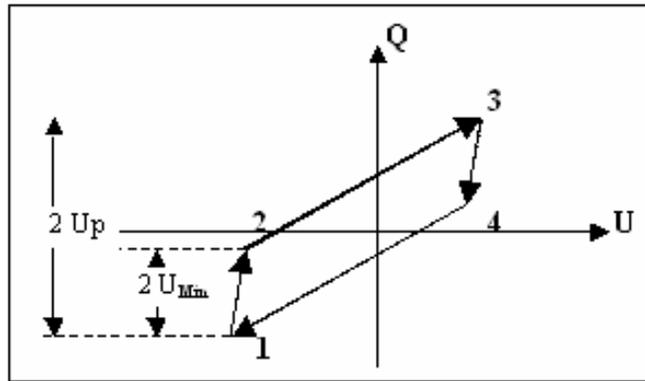
Rumusan tenaga tersebut berlaku untuk $U_P = (C_D + C_C) / C_D \times U_L$. Karena U_L tak dapat diukur secara langsung, maka akan menguntungkan kalau besarnya tenaga P dinyatakan dengan rumusan sebagai berikut:

$$P = 4 f C_D [C_D / (C_D + C_C)] U_{Min} (U_P - U_{Min}) \quad (3)$$

$U_P = U_{Min}$ dimana U_{Min} adalah tegangan eksternal yang diperlukan untuk menopang lucutan. Ketika U_{Min} dicapai maka aktivitas lucutan diskrit plasma elektron dimulai pula dan terus bertambah sampai tegangan puncak dicapai. Hal seperti ini diulangi lagi dengan kejadian yang sama pada setengah gelombang negatif berikutnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema tegangan lucutan elektron diskrit dan aktivitas lucutan plasma^[2].



Gambar 3. Gambar Lissajous tegangan U versus muatan Q pada tabung lucutan plasma^[4].

Semua kuantitas penting pada lucutan senyap dapat diturunkan dengan menggunakan gambar Lissajous muatan-tegangan (diagram tegangan U versus muatan Q) sehingga gambar ini merupakan perangkat bermanfaat dalam litbang lucutan plasma^[4]. Suatu lucutan elektron diskrit yang terdisein dengan baik tentunya bentuk dari diagram U - Q adalah hampir paralelogram ideal, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Pada Gambar 3 terlihat bahwa selama satu periode terlihat dua fase pasif ($1 \rightarrow 2$, $3 \rightarrow 4$) tidak terjadi lucutan dan kemiringan (*slope*) bersesuaian dengan kapasitas total $C_{tot} = (1/C_D + 1/C_C)^{-1}$. Selama fase aktif ($2 \rightarrow 3$, $4 \rightarrow 1$) tegangan lucutan adalah U_L , dan kemiringannya bersesuaian dengan kapasitas dielektrik C_D . Luasan didalam paralelogram adalah sebanding dengan tenaga yang terpancar selama satu siklus.

TATAKERJA DAN PERCOBAAN

Peralatan, Bahan

Peralatan yang digunakan dalam percobaan aplikasi berkas elektron diskrit untuk reduksi gas buang sepeda motor meliputi alat tabung lucutan elektron diskrit yang merupakan tempat proses terjadinya partikel elektron diskrit untuk menciptakan atom-atom radikal bebas; sistem pencatu daya tegangan tinggi

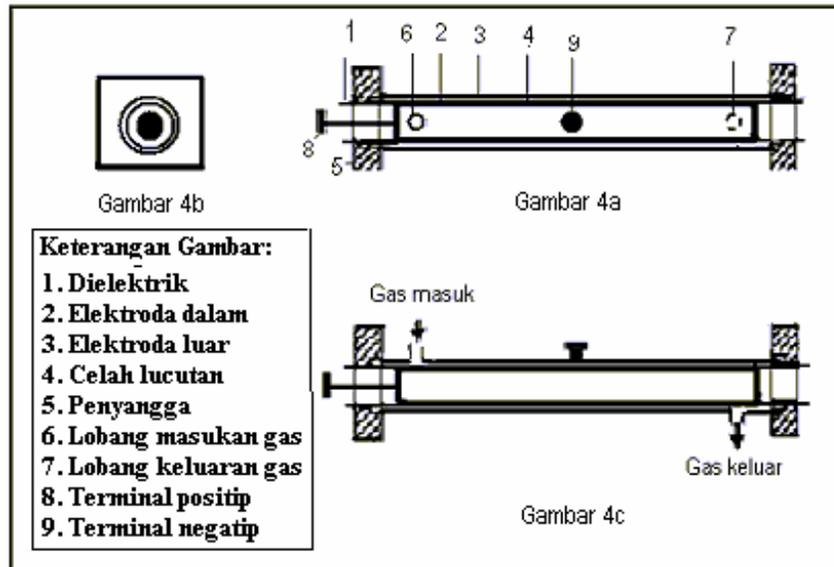
bolak-balik 25 kV; tabung penyaring gas buang yang berisi filter glasswool dari bahan dasar silica (SiO_2) dengan sifatnya yang *non-combustible*, bahan sampel udara untuk percobaan awal serta gas buang keluaran knalpot sepeda motor: bahan bakar bensin, model mesin 4 tak, 110 cc.

Tabung lucutan. Tabung lucutan elektron diskrit yang merupakan komponen sistem alat pereduksi gas buang dapat didisain seperti pada Gambar 4. Daya tabung lucutan yang digunakan sebesar 50 watt adalah disesuaikan dengan kebutuhan. Dalam percobaan digunakan 3 buah tabung lucutan identik dimana tiap tabung dengan ukuran dan bentuk geometri tersebut membutuhkan daya listrik sekitar 16 sampai 17 watt^[5].

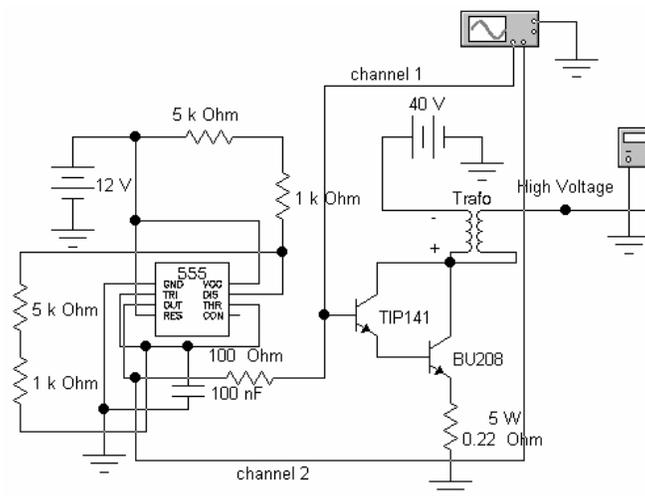
Bagian-bagian dari tabung lucutan electron diskrit seperti ditunjukkan pada Gambar 4 meliputi (1) dielektrik gelas bentuk silinder dengan panjang 18 cm, tebal 0,1 cm dan diameter 2,3 cm, (2) elektroda dalam terbuat dari bahan stainless steel (SS) bentuk silinder dengan panjang 16 cm, tebal 0,1 cm dan diameter 2,2 cm, (3) elektroda luar yang terbuat bahan SS juga bentuk silinder dengan panjang 20 cm, tebal 0,1 cm dan diameter 2,5 cm, (4) celah lucutan yang merupakan tempat aliran gas masukan yang dilucut daya tegangan tinggi bolak-balik, (5) penyangga sekaligus sebagai penutup ujung-ujung tabung lucutan yang terbuat dari bahan fleksiglass dengan panjang 14 cm, lebar 7 cm dan tebal 1 cm.

Bahan fleksiglas dipilih karena bahan ini mempunyai sifat transparan sehingga masing-masing lucutan elektron (lucutan mikro) dalam celah lucutan akan teramati dari luar tabung, (6) lobang masukan yakni tempat masuk gas buang dari knalpot sepeda motor, dari bahan plastik dengan panjang 1,5 cm, tebal 0,05 cm

dan diameter 0,2 cm, (7) lobang keluaran gas buang yang telah tereduksi, bahan dan ukuran sama dengan lobang masukan, (8) Terminal positif, tempat memasok catu daya tegangan tinggi pada celah lucutan dan (9) Terminal negatif, tempat pentanahan/ground catu daya tegangan tinggi.



Gambar 4. Disain bentuk tabung lucutan elektron diskrit. a).Tampak depan; b). Tampak samping; c).Tampak atas.



Gambar 5. Rangkaian catu daya/tegangan tinggi bolak-balik.

Pencatu daya/tegangan tinggi bolak-balik.

Rangkaian pencatu daya tegangan tinggi sangat mutlak diperlukan dalam sistem percobaan yakni untuk melucut tabung lucutan tempat terjadinya proses pembentukan berkas elektron diskrit. Pencatu daya tegangan tinggi bolak-balik yang digunakan terdiri dari komponen IC NE 555 sebagai osilator, transistor daya BU208 sebagai penguat daya dengan penyangga transistor TIP141 serta Ignition Coil 12V sebagai pelipat tegangan^[6]. Skema dari rangkaian sumber daya tegangan tinggi yang digunakan adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

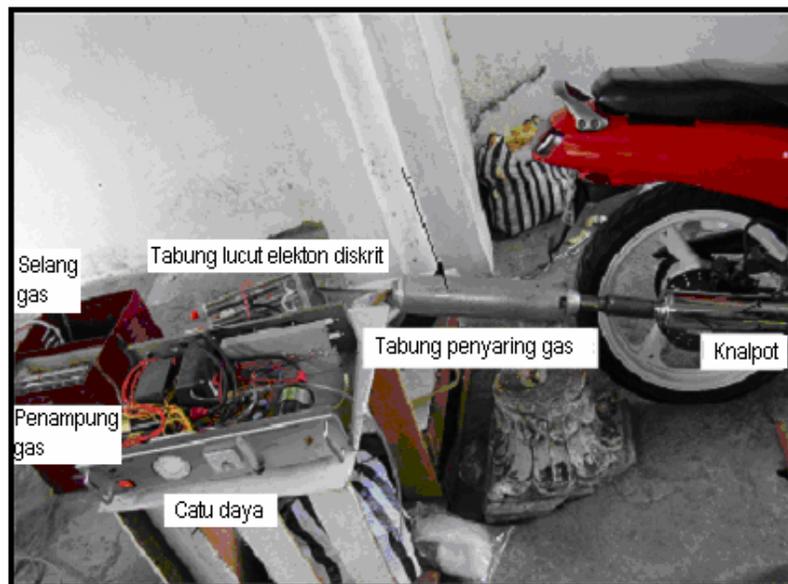
Perlakuan gas buang dengan lucutan elektron diskrit yang melibatkan peralatan pencatu daya tegangan tinggi, tabung lucutan elektron diskrit, tabung penyaring gas buang yang berisi filter glasswool, sampel gas buang dari knalpot sepeda motor serta penampung sampel gas (yang mendapat perlakuan) dirangkai menjadi satu sistem kesatuan percobaan perlakuan gas buang, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Pelaksanaan Percobaan

1. Tabung lucutan elektron diskrit dikontrol dengan cara mengalirkan udara lewat celah

lucutan terlebih dulu dan diamati apakah lucutan bentuk diskrit telah terrealisir (secara visual dalam tabung lucutan mikro) dan pada lobang keluaran apakah udara telah diubah oleh lucutan mikro tersebut menjadi bentuk molekul gas lain.

2. Saluran-saluran gas buang saling dihubungkan dimulai dari knalpot, tabung penyaring gas, tabung lucutan elektron diskrit hingga sampai tabung penampung sampel.
3. Sepeda motor dihidupkan serta ditunggu sekitar 5 sampai 6 menit sampai kondisi mesin menjadi stabil.
4. Pengambilan sampel pengontrol, yakni dengan cara menampung gas buang langsung dari knalpot ke tabung penampung udara dan selanjutnya dianalisa untuk ditentukan kadar SO_2 dan NO_x nya.
5. Tabung lucutan dihidupkan dengan cara memasok tegangan tinggi bolak-balik 25 kV. Tabung penyaring diisi 25 gram filter glasswool serta laju putaran mesin divariasikan masing-masing sebesar 2000 rpm yakni yang sepadan dengan laju kendaraan 40 km/jam, 2500 rpm atau 50 km/jam dan 3000 rpm atau 60 km/jam.

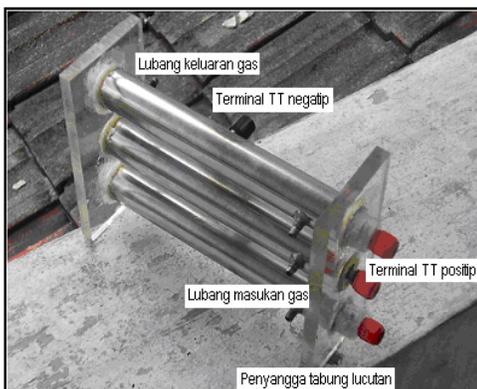


Gambar 6. Perlakuan gas buang sepeda motor dengan lucutan elektron diskrit.

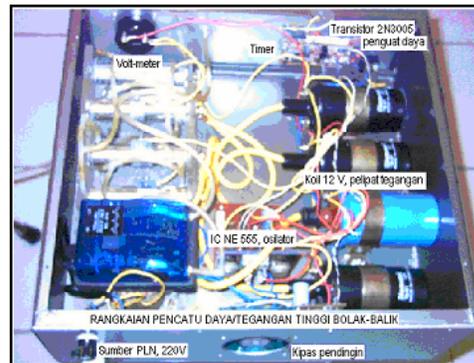
6. Sampel gas buang yang telah mendapat perlakuan lucutan elektron diskrit selama 5 menit pada masing-masing kondisi (laju putar mesin tertentu), selanjutnya dianalisa/ditentukan kadar SO_2 dan NO_x nya untuk dibandingkan kadarnya terhadap sampel pengontrol.
7. Dilakukan metoda yang sama dengan nomor 5 dan 6, tetapi massa filter glasswool diganti sebesar 50 gram dan selanjutnya untuk yang 75 gram.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dibuat tabung lucut pembangkit berkas elektron diskrit untuk aplikasi reduksi gas buang seperti ditunjukkan pada Gambar 7 serta alat pencatu daya/tegangan tinggi bolak-balik 50 W/25 kV seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Kedua alat tersebut telah diuji coba, pada awalnya dialirkan gas masukan berupa udara pada celah sempit antara dielektrik dan katoda kemudian dilucut dengan tegangan tinggi bolak-balik sebesar 25 kV. Besar arus bolak-balik (konsumsi) alat pencatu daya adalah 0,40 A dengan tegangan sumber PLN sebesar 220 V, sehingga total daya listrik konsumsi alat pencatu daya adalah 88 W. Adanya kelebihan daya sebesar 38 W dari daya tabung lucut yang digunakan (50 W) ini tentunya didistribusi untuk pengoperasian komponen alat lain seperti pompa udara, fan pendingin, komponen elektronik lain serta sisanya diubah menjadi tenaga panas dalam sistem.

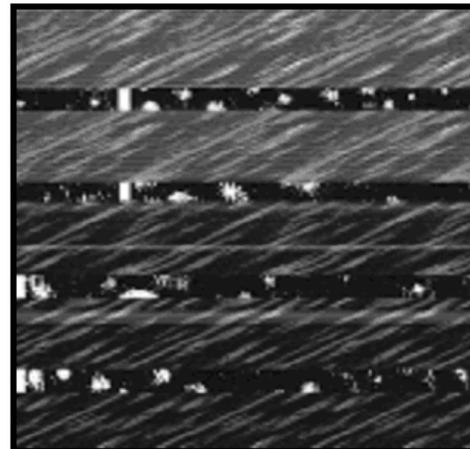


Gambar 7. Tabung lucutan elektron diskrit.



Gambar 8. Alat pencatu daya/tegangan tinggi bolak-balik 50 W.

Hasil pengamatan secara visual telah tampak adanya lucutan diskrit plasma elektron dalam tabung lucutan (melalui tutup tabung lucut fleksiglas transparan). Sedang hasil pemotretan menggunakan kertas film untuk bentuk jejak lucutan elektron pada permukaan katoda adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Jejak lucutan elektron diskrit pada permukaan katoda.

Terlihat pada Gambar 9 bahwa kerapatan berkas elektron diskrit yang terjadi masih relatif rendah karena sumber daya yang digunakan juga rendah (50 W), namun dalam percobaan telah diambil frekuensi tinggi 1,5 kilo Hertz

(kHz) sehingga dalam waktu yang relatif sangat singkat maka jumlah elektron yang diperoleh dalam tabung lucut juga akan berlipat dan diharapkan reaksi elektron diskrit dengan partikel (atom/molekul) gas buang juga dapat optimum.

Pada percobaan awal dilakukan tumbukan/reaksi elektron diskrit dengan partikel lain dilakukan yakni dengan menggunakan gas masukan udara pada alat tabung lucutan. Telah ditunjukkan adanya keluaran gas dari tabung lucutan dalam bentuk lain yakni berupa gas ozon. Indikator telah terbentuknya gas ozon akibat adanya masukan udara ditandai dengan terdeteksinya bau khas (gas ozon) keluaran dari tabung lucutan tersebut. Hal ini berarti bahwa gas masukan udara (20% mengandung gas oksigen) didalam tabung lucutan telah diubah oleh adanya proses kimia yang diawali dengan adanya suatu partikel pengubah oksigen yang tak lain adalah berkas elektron yang telah menemukannya. Elektron aktif yang bertenaga dalam tabung lucutan tersebut menumbuk partikel atom, molekul, radikal bebas dan partikel kimia lainnya sehingga dapat terbentuk partikel baru sebagai hasil dari berbagai proses yang sangat kompleks seperti ionisasi, eksitasi, hamburan elastis dan tak elastis, disosiasi, rekombinasi, pertukaran muatan dan juga reaksi kimia.

Deteksi secara visual terbentuknya gas ozon juga telah dibuktikan dengan adanya perubahan warna dari larutan kalium iodida (KI) yang semula berwarna jernih menjadi kuning (warna I_2) setelah dikontaminasi dengan keluaran udara yang dilewatkan tabung lucutan. Hal ini terbukti bahwa udara telah diubah

menjadi gas ozon mengingat dalam tabung pereaksi ternyata sudah bukan berupa udara lagi melainkan telah ada partikel/molekul lain yang mampu memisahkan molekul iodida dari larutan kalium iodida serta mengubah warna larutan yang pada awalnya berwarna jernih menjadi berwarna kuning serta dihasilkannya gas oksigen. Partikel/molekul lain tersebut tak lain adalah gas ozon.

Atas dasar hasil percobaan identifikasi bentuk lucutan plasma elektron di atas maka dapat disimpulkan bahwa dalam tabung lucutan telah terbentuk berkas elektron diskrit, yang selain telah terbukti bahwa lucutan electron diskrit tersebut dapat membentuk ozon tentunya elektron diskrit tersebut juga dapat dimanfaatkan untuk mereduksi gas buang beracun pada kendaraan bermotor, yang dalam hal ini untuk mereduksi gas buang beracun NO_x dan SO_2 yang paling dominan dalam gas buang tersebut.

Hasil pengukuran konsentrasi gas buang NO_x dan SO_2 yang dikeluarkan langsung oleh sepeda motor (tanpa melalui tabung penyaringan dan tabung lucutan diskrit plasma elektron) pada kecepatan 40 km/jam (2000 rpm), 50 km/jam (2500 rpm) dan 60 km/jam (3000 rpm) adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 1 yakni sebagai sampel kontrol, sedang konsentrasi gas buang yang sebelumnya dialirkan melalui tabung penyaringan dengan menggunakan glasswool bermassa 25 gram, 50 gram dan 75 gram serta dampak reduksinya pada berbagai variasi kecepatan (sepeda motor/putaran mesin) adalah masing-masing seperti ditunjukkan pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 1. Konsentrasi gas buang (NO_x dan SO_2) yang dikeluarkan oleh knalpot sepeda motor terhadap variasi kecepatan (sepeda motor/putaran mesin).

No	Kecepatan (km/j / rpm)	Konsentrasi NO_x (ppm)	Konsentrasi SO_2 (ppm)
1	40 / 2000	516,38	235,38
2	50 / 2500	562,56	256,12
3	60 / 3000	682,18	271,46

Tabel 2. Konsentrasi gas buang (NO_x dan SO_2) yang dikeluarkan oleh knalpot terhadap variasi kecepatan (sepeda motor/putaran mesin) serta dampak reduksinya setelah melalui lucutan elektron diskrit dan penyaring glasswool bermassa 25 gram.

No	Kecepatan (km/j /rpm)	Konsentrasi NO_x (ppm)	Konsentrasi SO_2 (ppm)	Reduksi NO_x (ppm / %)	Reduksi SO_2 (ppm / %)
1	40 / 2000	454,47	215,07	61,91/11,99	20,31/8,63
2	50 / 2500	533,31	229,48	29,25/5,20	26,64/10,40
3	60 / 3000	534,83	241,71	147,35/21,60	29,75/10,96

Tabel 3. Konsentrasi gas buang (NO_x dan SO_2) yang dikeluarkan oleh knalpot terhadap variasi kecepatan (sepeda motor/putaran mesin) serta dampak reduksinya setelah melalui lucutan elektron diskrit dan penyaring glasswool bermassa 50 gram.

No	Kecepatan (km/j /rpm)	Konsentrasi NO_x (ppm)	Konsentrasi SO_2 (ppm)	Reduksi NO_x (ppm / %)	Reduksi SO_2 (ppm / %)
1	40 / 2000	446,51	216,24	69,87/13,53	19,14/8,13
2	50 / 2500	513,17	239,29	49,39/8,78	16,83/6,57
3	60 / 3000	533,53	245,64	148,65/21,79	25,82/9,51

Tabel 4. Konsentrasi gas buang (NO_x dan SO_2) yang dikeluarkan oleh knalpot terhadap variasi kecepatan (sepeda motor/putaran mesin) serta dampak reduksinya setelah melalui lucutan elektron diskrit dan penyaring glasswool bermassa 75 gram.

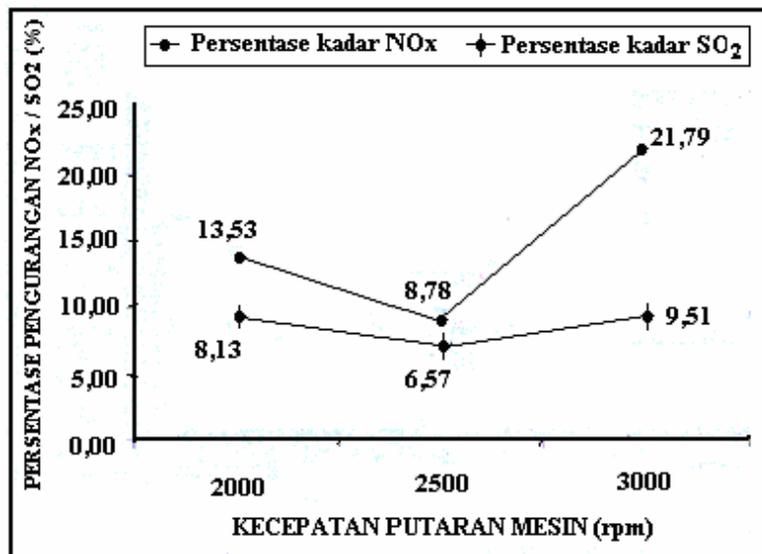
No	Kecepatan (km/j /rpm)	Konsentrasi NO_x (ppm)	Konsentrasi SO_2 (ppm)	Reduksi NO_x (ppm / %)	Reduksi SO_2 (ppm / %)
1	40 / 2000	437,89	202,52	78,49/15,20	32,86/13,96
2	50 / 2500	456,57	227,02	105,99/18,84	29,10/11,36
3	60 / 3000	528,55	236,47	153,63/22,52	34,99/12,89

Terlihat pada Tabel 2, 3 dan 4 dengan adanya perlakuan menggunakan lucutan diskrit plasma elektron maka konsentrasi baik NO_x maupun SO_2 pada gas buang menjadi berkurang/tereduksi. Pada tabel 2 dan 3 yakni dengan menggunakan penyaring glasswool bermassa 25 gram dan 50 gram pada bagian ujung knalpot terlihat belum mendapatkan hasil yang berarti yakni peningkatan reduksi gas buang untuk molekul SO_2 masih sedikit, bahkan terlihat pada Tabel 3 yakni dengan menggunakan

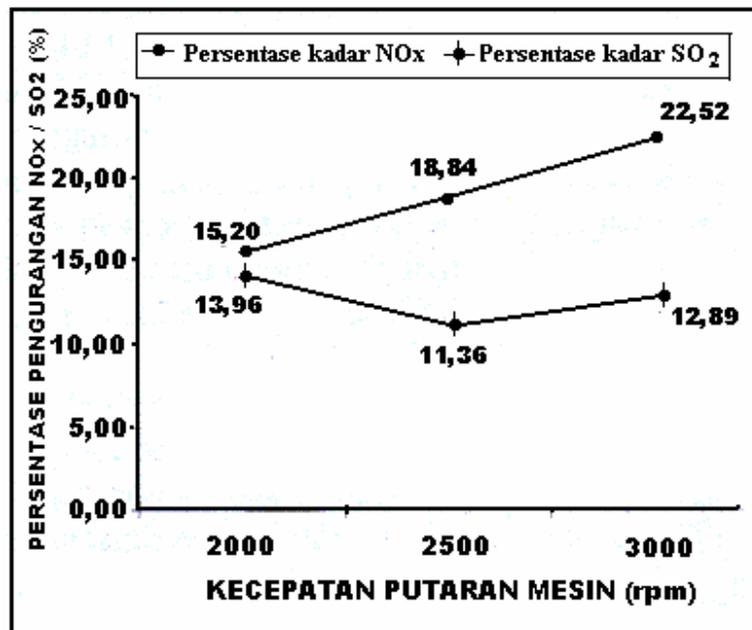
penyaring glasswool 50 gram yang diharapkan untuk gas SO_2 akan terjadi kenaikan prosentase reduksi pada berbagai variasi kecepatan (sepeda motor/putaran mesin), tetapi malah terjadi sebaliknya yakni semua prosentasi reduksi tersebut malah menurun yakni dari 8,63% menjadi 8,13%, 10,40% menjadi 6,57% dan 10,96% menjadi 9,51%, tidak terjadi seperti yang diharapkan yakni pada molekul gas buang NO_x . Sangat besar kemungkinan ketidak berhasilan itu disebabkan karena masih banyak

adanya jelaga layang yang lolos dari penyaring sehingga mempengaruhi proses kerja pada tabung lucutannya yakni elektron diskrit tidak dapat dihasilkan secara maksimal. Diketahui bahwa sebagai syarat utama dalam perlakuan gas buang adalah adanya/timbulnya elektron diskrit dalam tabung lucutan, semakin banyak dan aktif elektron tersebut maka reduksi gas buang juga semakin optimum^[7]. Hal ini menunjukkan bahwa masih perlu adanya tambahan massa penyaring glasswool untuk mereduksi kemungkinan sejumlah jelaga yang masih mengganggu bekerjanya tabung lucutan untuk memproduksi berkas elektron diskrit. Selanjutnya baru pada Tabel 4 yakni dengan menggunakan penyaring glasswool 75 gram sudah mulai tampak yakni alat ini dapat mereduksi gas buang SO₂ hingga 12,89 % pada kecepatan putaran mesin 3000 rpm yang sepadan dengan kecepatan gerak motor 60 km/jam. Pada Gambar 10 dan 11 ditunjukkan persentase reduksi (pengurangan) gas buang NO_x dan SO₂ terhadap variasi kecepatan putaran mesin/dalam satuan *rotation per minute* (rpm) yakni setelah gas buang masing-masing dilewatkan pada filter tabung penyaring bermassa 50 gram dan 75 gram.

Hal ini dapat terjadi karena adanya tumbukan elektron dengan molekul-molekul gas buang (dalam tabung lucutan) membentuk radikal aktif seperti O, OH, H, N, HO₂ yang dapat merubah molekul gas buang beracun NO_x dan SO₂ menjadi molekul sederhana berupa pupuk amonium sulfat (NH₄)₂SO₄ dan amonium nitrat NH₄NH₃^[8]. Disini persentase pengurangan kadar gas buang masih relatif rendah yakni paling tinggi sekitar 22,52 % untuk molekul NO_x (Tabel 4, kecepatan 60 km/jam) dan sekitar 13,96 % untuk molekul SO₂ (Tabel 4, kecepatan 40 km/jam). Namun yang jelas dari semua data ditunjukkan bahwa alat lucutan elektron diskrit telah mampu mereduksi konsentrasi gas buang kendaraan. Jadi untuk penelitian tahap berikutnya perlu adanya optimasi ukuran dan bentuk geometri tabung lucutan serta sumber daya tegangan tingginya yang disesuaikan dengan debit keluaran gas buang yang akan mendapat perlakuan. Dengan cara demikian diharapkan akan ada keseimbangan antara jumlah/debit gas buang dengan ukuran alat pereduksi yang diperlukan, sehingga perolehan hasil akhir optimum dalam arti hasil reduksi gas buang dapat maksimum namun daya listrik yang digunakan tetap minimum.



Gambar 10. Persentase reduksi (pengurangan) gas buang NO_x dan SO₂ terhadap variasi kecepatan putaran mesin (rpm) setelah gas buang dilewatkan pada filter tabung penyaring bermassa 50 gram.



Gambar 11. Persentase reduksi (pengurangan) gas buang NO_x dan SO₂ terhadap variasi kecepatan putaran mesin (rpm) setelah gas buang dilewatkan pada filter tabung penyaring bermassa 75 gram.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil kegiatan ilmiah yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Alat pembangkit elektron diskrit mempunyai banyak manfaat dibidang aplikasi plasma karena dapat menghasilkan atom-atom radikal yang sesuai dengan jenis partikel (molekul) yang menjadi obyek lucutan.
2. Dengan alat pembangkit elektron diskrit 50 W/25 kV selain telah dapat untuk pembuatan gas ozon juga telah berhasil dimanfaatkan untuk mereduksi kadar konsentrasi gas buang kendaraan bermotor terutama untuk molekul NO_x dan SO₂.
3. Alat pembangkit elektron diskrit berspesifikasi 50 W/25 kV dapat mereduksi gas buang sepeda motor (kecepatan 60 km/jam atau 3000 rpm) berupa molekul NO_x sebesar 22,52 % dan SO₂ sebesar 12,89 %. Hasil ini masih relatif rendah, oleh

karenanya alat tersebut masih perlu dimodifikasi dalam aplikasinya sehingga dapat diperoleh hasil yang optimum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Sdr. Sudaryanto di Bidang Akselerator dan Sdr. Aditya mahasiswa UII Yogyakarta yang telah banyak membantu dalam masalah teknis penyelesaian pembuatan pencatu daya tegangan tinggi serta pengaplikasian alat pembangkit berkas elektron tersebut di atas untuk reduksi gas buang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] DIREKTUR ENERGI BARU TERBARUKAN DAN KONSERVASI ENERGI, *Fuel Cell And Distributed Power Generation*, Seminar Bidang Fuel Cell Hari Kebangkitan Teknologi Nasional, Departemen

- Energi Dan Sumber Daya Mineral, Serpong, 12 Agustus 2004.
- [2] BALDUR ELIASSON, *Modeling And Application Of Silent Discharge Plasmas*, IEEE Transactions On Plasma Science, Vol. 19, No. 2, April 1991.
- [3] ULRICH KOGELSCHATZ, *Industrial Ozone Production*, ABB Corporate Research Ltd, Baden, Switzerland, 1999.
- [4] OLEG KONDRIAVTSEV, SHENGPEI WANG, MUTSUO NAKAOKA, *Power Supply For Silent Discharge Type Load*, Division of Electrical and Electronic Systems Engineering, Graduate School of Engineering and Science, Yamaguchi University, 2000.
- [5] ULRICH KOGELSCHATZ and B. ELIASSON, *Ozone Generation and Application*, Asea Brown Boveri Baden, Switzerland, 2000.
- [6] WIDDI USADA, SURYADI, AGUS PURWADI, ISYUNIARTO, SRI SUKMAJAYA, *Konstruksi Sumber Daya Generator Ozon*, Prosiding PPI Litdas Iptek Nuklir P3TM-Batan Yogyakarta, 27 Juni 2002. Sumber asli diambil dari Internet: [/www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/5322/hv2.html](http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/5322/hv2.html)
- [7] R.H. AMIROV, V.V. BELYAEV, Y.N. DESIATERIK, L.I. KROPP, *Nano Second Corona Induced SO₂ Oxidation In Flue Gas And Effect Of Fly Ash*, Russian Academy Of Science, Institute For High Temperature, 127412 Moscow, Rusia, 1999.
- [8] TURHAN C., *Technical And Economical Aspects Of SO₂ And NO_x Removal From Flue Gas By Electron Beam Irradiation*, Ankara Nuclear Research And Training Center, Ankara, Turkey, 2002.

TANYA JAWAB

Sri Mulyono A.

- Apakah penurunan NO_x dan SO₂ sudah memenuhi kriteria standar mutu?
- Mungkinkah sistem peralatan ini dibuat kecil sehingga kompatibel dengan sepeda motor?

Agus Purwadi

- Belum dibandingkan dengan standarnya. Baru sebatas penelitian kalau alat tersebut dapat untuk menurunkan kadar NO_x dan SO₂.
- Akan diusahakan konstruksi kearah itu, jika (skala) pilot plan sudah fix.

M. Yazid

- Selain untuk mereduksi gas buang, apakah ada manfaat lainnya?
- Pada Gambar 10 prosentasi pengurangan kadar NO_x dengan bertambahnya kecepatan sepeda motor mula-mula turun kemudian naik lagi, sedangkan pada Gambar 11 naik terus. Mengapa?

Agus Purwadi

- Ada, karena manfaat dari alat ini bergantung pada jenis gas inputnya. Misal untuk gas input berupa oksigen atau udara (20% oksigen) akan diperoleh gas ozon yang punya banyak manfaat (pada dosis tertentu).
- Karena pada Gambar 10 masih digunakan filter glasswool 50 gr. Besar kemungkinan masih ada jelaga layang yang mempengaruhi proses kerja tabung lucutannya.