

## PEMBUATAN DAN UJI FUNGSI SISTEM ELEKTRODA IGNITOR UNTUK PERANGKAT IRADIATOR ELEKTRON PULSA BERBASIS SEKP

Ihwanul Aziz, Anjar Anggraini H, Agus Purwadi  
Pusat Sains dan Teknologi Akselerator BATAN, Yogyakarta  
Email: ihwanul@batan.go.id

### ABSTRAK

**PEMBUATAN DAN UJI FUNGSI SISTEM ELEKTRODA IGNITOR UNTUK PERANGKAT IRADIATOR ELEKTRON PULSA BERBASIS SEKP.** Telah dilakukan pembuatan dan uji fungsi pada sistem elektroda ignitor melalui massa tererosi di permukaan katoda setelah terbentuk spot plasma. Sistem elektroda ignitor pada perangkat iradiator elektron pulsa berbasis SEKP (Sumber Elektron Katoda Plasma) memiliki fungsi menginisiasi lucutan plasma, dimana bagian tersebut terdiri dari katoda, anoda dan isolator yang dilengkapi dengan catudaya IDPS (Ignitor Discharge Power Supply). IDPS mengalirkan tegangan melalui anoda dan isolator dan selanjutnya membentuk spot plasma di permukaan katoda. Spot plasma tersebut dapat diidentifikasi dengan menggunakan metode pengukuran koil Rogowski. Pada uji fungsi sistem elektroda ignitor diperoleh arus spot plasma pada permukaan katoda 1 sebesar 18,07 A dengan lebar pulsa 34  $\mu$ s dan arus spot plasma 20,27 A dengan lebar pulsa 45  $\mu$ s pada permukaan katoda 2. Semakin besar arus yang menuju katoda maka semakin besar spot plasma yang dihasilkan sehingga semakin besar pula material katoda yang tererosi. Lebar pulsa spot plasma mempengaruhi waktu terbentuknya spot plasma pada katoda, sehingga mempercepat erosi katoda. Modifikasi pada sumber daya IDPS yaitu trafo ignitor tanpa inti ferit dimaksudkan untuk memperkecil arus dan lebar pulsa spot plasma, sehingga sesuai dengan perencanaan awal. Dari hasil uji fungsi diperoleh arus lucutan spot plasma pada permukaan katoda 1 sebesar 9,04 A dengan lebar pulsa 21  $\mu$ s, dan arus spot plasma 9,92 A dengan lebar pulsa 28  $\mu$ s pada permukaan katoda 2. Massa tererosi pada permukaan katoda 1 berkurang sebesar 69,12 %, sedangkan pada permukaan katoda 2 berkurang sebesar 69,54 % dibandingkan dengan hasil pengujian sistem elektroda ignitor dimana trafo ignitor menggunakan inti ferit.

Kata kunci: sistem elektroda ignitor, sistem catudaya lucutan ignitor, spot plasma, massa tererosi

### ABSTRACT

**MANUFACTURE AND FUNCTION TEST OF IGNITOR ELECTRODE SYSTEM FOR PULSE ELECTRON IRRADIATOR DEVICE BASED ON PCES.** The manufacture and function test of ignitor electrode system that through erosion mass after formed plasma spot have been conducted. Ignitor electrode system of pulse electron irradiator device based on PCES (Plasma Cathode Electron Source) have a function to initiate plasma discharge, where it consists of cathode, anode and insulator complete with a unit of Ignitor Discharge Power Supply (IDPS). IDPS passes the voltage through anoda and insulation, then generated plasma spot on the surface of the cathode. Plasma spot has been identified use Rogowski coil method. The function test of ignitor electrode system obtained plasma spot current on the cathode surface 1 of 18,07 A and pulse width 34  $\mu$ s, at plasma spot currents of 20,27 A and pulse width of 45  $\mu$ s on the cathode surface 2. The greater of current to the cathode, the greater of plasma spot generated, so that the greater the cathode material that will be eroded. The pulse width of the spot plasma has affected the formation of the plasma spot on the cathode, thus accelerating the erosion of cathode. Modification at IDPS i.e ignitor transformer without ferrit core intended to minimize the current and pulse width of plasma spot accordance with plan of technical specification. From the function test result obtained discharge currents of plasma spot on the cathode surface 1 of 9,04 A with pulse width 21  $\mu$ s, and plasma spot current 9,92 A with pulse width 28  $\mu$ s on the cathode surface 2. The erosion of mass on the cathode surface 1 was reduced by 69.12%, while the cathode surface 2 was reduced by 69.54% as compared with the function test results of ignitor electrode system on IDPS resource system use ferrite core.

Keywords: ignitor electrode system, ignitor discharge power supply system, plasma spot, erosion of mass

**PENDAHULUAN**

Penelitian dan pengembangan SEKP di PSTA BATAN dapat dimanfaatkan sebagai perangkat iradiator elektron pulsa untuk *treatment* produk pertanian; khususnya biji-bijian tanaman pangan dan rempah-rempah untuk membasmi bakteri, jamur atau parasit. Proses iradiasi dapat dimanfaatkan untuk memperpanjang usia simpan dengan menghambat pematangan atau pertunasan, serta dapat mengendalikan organisme pembusuk pada produk pertanian [1,2].

Iradiator elektron pulsa berbasis SEKP terdiri dari bejana iradiator, sistem vakum tinggi, sistem ekstraksi, sistem emisi, sistem deteksi berkas elektron pulsa dan sistem catudaya plasma untuk iradiator elektron pulsa. Sistem emisi plasma terdiri dari dua buah sistem elektroda ignitor, sistem elektroda generator plasma dan sistem grid untuk keluaran berkas elektron dari elektroda generator plasma.

Beberapa bagian penting dari komponen SEKP yaitu sistem elektroda ignitor dan sistem elektroda generator plasma. Pembuatan sistem elektroda ignitor memiliki tujuan sebagai inisiasi awal lucutan plasma. Sistem elektroda ignitor tersebut terdiri dari dua buah elektroda ignitor yang dilengkapi dengan dua unit sistem catudaya lucutan ignitor IDPS. Masing-masing sistem elektroda ignitor terdiri dari katoda, anoda dan isolator antara katoda dan anoda. Sedangkan pembuatan sistem elektroda generator plasma yang akan berfungsi sebagai pembentuk plasma dalam bejana generator plasma, dimana sistem tersebut dilengkapi dengan dua unit sistem catu daya lucutan busur ADPS (*Arc Discharge Power Supply*). Sistem elektroda generator plasma terdiri dari katoda yang juga sama dengan katoda elektroda ignitor dan anoda yang juga sebagai dinding bejana generator plasma [3]. Sistem elektroda pada penelitian ini terbuat dari material Mg pada katoda, material SS 304 non magnetik pada anoda, material teflon pada isolator

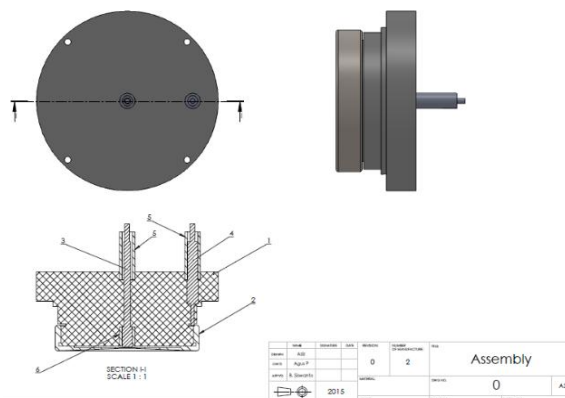
[4]. Geometri sistem elektroda diperbarui dan disesuaikan dengan fungsinya sebagai bagian dari iradiator elektron pulsa, serta berdasarkan pada studi literatur penelitian M.S. Vorobyov pada tahun 2015 [5,6].

Pada eksperimen ini, dilakukan pembuatan sistem elektroda ignitor dan selanjutnya dilakukan uji fungsi untuk memastikan bahwa sistem tersebut yang telah didesain dapat menghasilkan lucutan plasma dan juga diharapkan dengan melakukan modifikasi pada trafo ignitor tanpa inti ferit pada sumber daya IDPS dapat memperkecil arus dan lebar pulsa spot plasma.

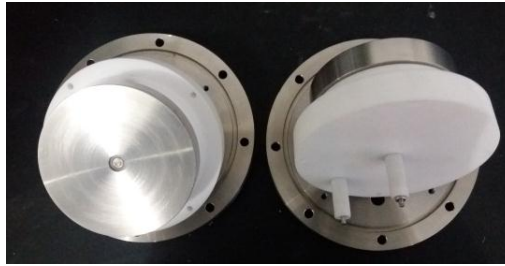
**TATA KERJA**

Pembuatan sistem elektroda ignitor terdiri dari komponen katoda, anoda dan isolator. Sistem elektroda pada iradiator elektron pulsa mempunyai spesifikasi material katoda yang terbuat dari Mg berbentuk batang (rod) dengan diameter 6,35 mm dan memiliki panjang 76,75 mm. Material anoda terbuat dari SS 304 non magnetik berbentuk silinder dengan diameter luar 88,53 mm, diameter dalam 81,53 mm dan tebal 3,50 mm. Material isolator antara katoda dan anoda terbuat dari teflon berbentuk silinder, diameter luar 9,50 mm, diameter dalam 6,35 mm dan panjang 30 mm [3].

Berdasarkan aturan Paschen, tegangan dadal antara katoda dan anoda pada tekanan 10-4 Torr mencapai ratusan kV untuk jarak elektroda dalam orde cm, sehingga desain elektrode ignitor seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Susunan elektroda ignitor berdasarkan Gambar 1 terdiri dari bodi elektroda (nomer 1) dari bahan teflon, anoda (nomer 2) dari bahan baja tahan karat (Stainless Steel 304), katoda (nomer 3) dari bahan magnesium, kemudian isolator (nomer 4,5,6) dari bahan teflon dan bahan magnesium digunakan sebagai katoda, karena magnesium mempunyai sifat fisis laju erosi  $\gamma$  sebesar 11,7  $\mu\text{g}/\text{C}$  dan tenaga kohesif rendah sekitar 1,51 eV/atom [4].



Gambar 1. Gambar teknik sistem elektroda ignitor [3]



Gambar 2. Komponen sistem elektroda ignitor

Sistem elektroda ignitor yang telah selesai dibuat seperti pada Gambar 2, selanjutnya dapat dilakukan uji fungsi. Pada uji fungsi sistem elektroda ignitor diperlukan beberapa komponen yang terdiri dari sistem sumber daya ignitor, probe pembagi tegangan, koil Rogowski dan osiloskop.

Tegangan yang digunakan sekitar 9-10 kV dengan energi sekitar 100 J. Sumber daya ignitor (pemicu) penimbul spot plasma pada permukaan katoda magnesium dengan tegangan keluaran 10 kV dan lebar pulsa 10  $\mu$ s, dengan frekuensi pengulangan 1 Hz. Rangkaian tersebut dihubungkan dengan sistem deteksi Rogowski coil dan osiloskop.

Pengukuran tegangan keluaran sumber daya ignitor pembentuk spot plasma menggunakan probe pembagi tegangan, dimana hasil pengukuran tegangan diturunkan 1000 kali yaitu dengan menggunakan resistor pembagi tegangan 50M $\Omega$ /50k $\Omega$ , sedangkan arus spot plasma dapat ditentukan dengan menggunakan koil Rogowski. Koil Rogowski mempunyai prinsip kerja menangkap medan magnet di dalam ruang di sekitar konduktor yang dialiri arus. Tegangan keluaran koil dirumuskan sebagai laju perubahan fluks magnet [7].

$$V_{\text{keluaran koil}} = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{\mu_0 n A}{2\pi r} \frac{dI}{dt} \quad (1)$$

Dengan demikian dapat diketahui bahwa tegangan keluaran koil Rogowski tergantung pada besarnya perubahan arus per satuan waktu, jumlah lilitan, luas permukaan koil dan jarak dari sumbu arus.

Terlihat pada persamaan (1) bahwa tegangan keluaran koil sebanding dengan perubahan arus  $\frac{dI}{dt}$ , sehingga untuk menentukan besarnya arus I(t), maka tegangan keluaran koil harus diintegrasikan. Dalam eksperimen, tegangan keluaran koil masuk ke rangkaian integrator RC pada koil, sehingga besarnya arus dapat ditentukan menurut persamaan (2):

$$I(t) = \frac{2\pi r RC}{\mu n A} V(t) \quad (2)$$

dimana I(t): arus spot plasma (A), R: resistansi integrator ( $\Omega$ ), C: kapasitansi integrator (F), V(t): tegangan terukur (V).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada sistem elektroda ignitor, bila anoda diberi tegangan pulsa yang tinggi, maka akan ada aliran muatan melewati permukaan isolator dan apabila sampai di katoda terjadi lucutan percik melalui proses lucutan permukaan (*surface discharge*) pada bejana plasma. Lucutan percik di katoda yang juga biasa disebut spot plasma mempunyai ukuran mikrometer dan berintensitas cukup tinggi yang kemudian bergerak di atas permukaan elektroda. Parameter dari spot plasma di katoda adalah laju erosi ion (*ion erosion rate*) yang tergantung pada material katoda dan umumnya lebih besar untuk unsur dengan energi kohesif rendah. Oleh karena itu, material katoda untuk sistem elektroda ignitor paling baik menggunakan material Mg karena mempunyai laju erosi ion  $\gamma_i$  paling rendah (11,7  $\mu$ g/C) sehingga tidak mudah rusak atau tererosi, serta mempunyai energi kohesif yang rendah (pada energi 1,51 eV telah terbentuk plasma) [3-8]. Hasil pengujian timbulnya spot plasma sebagai pemicu terjadinya plasma dalam sistem elektroda generator plasma pada permukaan katoda yang berupa lingkaran kecil berwarna putih dalam lingkungan tekanan atmosfer sekitar 10<sup>-4</sup> Torr [9] untuk bahan katoda Mg dengan menggunakan koil Rogowski.

Untuk menimbulkan spot plasma pada katoda, maka dibutuhkan sistem IDPS [10] untuk catu daya elektroda ignitor dengan spesifikasi teknis: tegangan keluaran 10 kV, arus 10 A, dan lebar pulsa 10  $\mu$ s. Perhitungan besarnya arus spot plasma dapat digunakan persamaan (2). Dimana Resistansi integratornya 100 $\Omega$  dan kapasitansi integrator sebesar 0,33  $\mu$ F. Koil Rogowski yang dibuat menggunakan core ferrite dengan nilai permeabilitas bahan sekitar 1168,67 H/m, jumlah lilitan 80, luas permukaan koil 75,68 $\times$ 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup> dan jarak dari pusat koil Rogowski sebesar 10,56 $\times$ 10<sup>-3</sup> m.

Pada uji fungsi sistem elektroda ignitor (Gambar 6) diperoleh arus spot plasma 18,07 A dengan lebar pulsa 34  $\mu$ s (grafik berwarna biru) dan arus spot plasma 20,27 A dengan lebar pulsa 45  $\mu$ s (grafik berwarna kuning). Dari hasil uji fungsi diperoleh arus spot plasma dan lebar pulsa yang lebih besar dari spesifikasi teknis perencanaan. Semakin besar arus menuju katoda maka semakin

besar spot plasma yang dihasilkan sehingga semakin besar pula material katoda yang tererosi, sedangkan lebar pulsa plasma mempengaruhi lama terbentuknya spot plasma pada katoda, sehingga mempercepat erosi katoda. Besarnya massa katoda yang tererosi setelah terjadi spot plasma mengikuti persamaan (3) [8]:

$$m_{erosi} = \gamma Q = \gamma I \tau \quad (3)$$

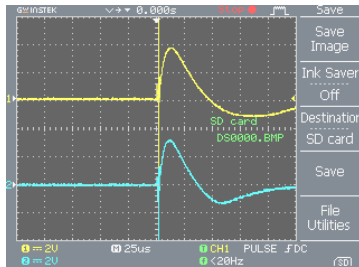
Besarnya massa tererosi pada permukaan katoda 1 untuk arus  $I = 18,07$  A selama  $\tau = 34 \mu s$  untuk bahan Mg dengan  $\gamma = 11,7 \mu g/C$  adalah:

$$\begin{aligned} m_{erosi} &= \gamma Q = \gamma I t \\ &= 11,7 \times 10^{-6} \times 18,07 \times 34 \times 10^{-6} \\ &= 7188,25 \times 10^{-12} \text{ gram} \\ m_{erosi} &= 7,19 \text{ ng} \end{aligned}$$

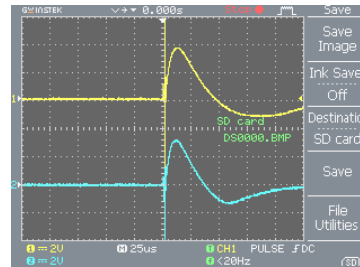
Untuk arus  $I = 20,27$  A selama  $\tau = 45 \mu s$ , besarnya massa tererosi pada permukaan katoda 2 adalah

$$\begin{aligned} m_{erosi} &= \gamma Q \\ &= \gamma I t = 11,7 \times 10^{-6} \times 20,27 \times 45 \times 10^{-6} \\ &= 10672,15 \times 10^{-12} \text{ gram} \\ m_{erosi} &= 10,67 \text{ ng} \end{aligned}$$

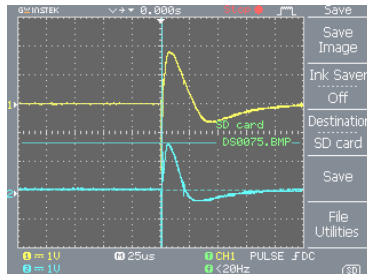
Arus dan lebar pulsa spot plasma dapat diperkecil sesuai dengan spesifikasi teknis yang direncanakan setelah dilakukan modifikasi sumber daya IDPS yaitu trafo ignitor tidak menggunakan inti ferit. Hasil pengujian spot plasma sistem DUET dengan menggunakan sumber daya IDPS tanpa ferit ditunjukkan pada Gambar 7.



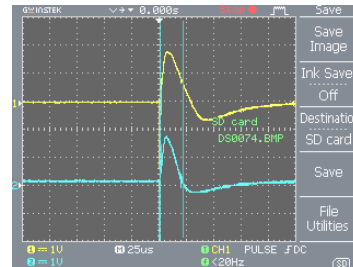
Gambar 6a. Tegangan spot plasma pada permukaan katoda 1 (grafik warna biru)  
 $V = 3,28$  V,  $I = 18,07$  A,  $\tau = 34 \mu s$



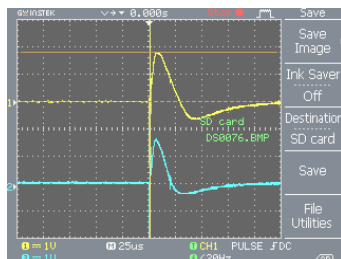
Gambar 6b. Tegangan spot plasma pada permukaan katoda 2 (grafik warna kuning)  
 $V = 3,68$  V,  $I = 20,27$  A,  $\tau = 45 \mu s$



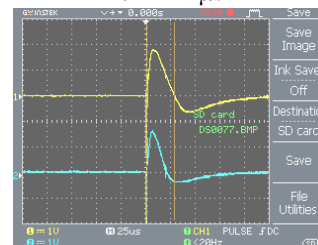
Gambar 7a. Tegangan spot plasma pada permukaan katoda 1 (grafik warna biru)  
 $V = 1,64$  V,  $I = 9,04$  A



Gambar 7b. Lebar pulsa spot plasma pada permukaan katoda 1 (grafik warna biru)  
 $\tau = 21 \mu s$



Gambar 7c. Tegangan spot plasma pada permukaan katoda 2 (grafik warna kuning)  $V = 1,8$  V,  $I = 9,92$  A



Gambar 7d. Lebar pulsa spot plasma pada permukaan katoda 2 (grafik warna kuning)  
 $\tau = 28 \mu s$

Besarnya massa tererosi pada permukaan katoda 1 untuk arus  $I = 9,04$  A selama  $\tau = 21$   $\mu$ s untuk bahan Mg dengan  $\gamma = 11,7$   $\mu$ g/C adalah,

$$\begin{aligned} m_{erosi} &= \gamma Q \\ &= \gamma I t \\ &= 11,7 \times 10^{-6} \times 9,04 \times 21 \times 10^{-6} \\ &= 2221,13 \times 10^{-12} \text{ gram} \\ &= 2,22 \text{ ng} \end{aligned}$$

Untuk arus  $I = 9,92$  A selama  $\tau = 28$   $\mu$ s, besarnya massa tererosi pada permukaan katoda 2 adalah

$$\begin{aligned} m_{erosi} &= \gamma Q \\ &= \gamma I t \\ &= 11,7 \times 10^{-6} \times 9,92 \times 28 \times 10^{-6} \\ &= 3249,79 \times 10^{-12} \text{ gram} \\ m_{erosi} &= 3,25 \text{ ng} \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian sistem elektroda ignitor dengan menggunakan sumber daya IDPS tanpa ferit dapat memperkecil arus dan lebar pulsa spot plasma mendekati spesifikasi teknis yang direncanakan yaitu arus spot plasma 10 A dengan lebar pulsa 10  $\mu$ s, sehingga massa tererosi pada permukaan katoda 1 (grafik warna biru) dapat berkurang sebesar 69,12 %, untuk arus spot plasma 9,04 A dengan lebar pulsa  $\tau = 21$   $\mu$ s. Pada permukaan katoda 2 (grafik warna kuning) untuk arus spot plasma 9,92 A dengan lebar pulsa 28  $\mu$ s, massa tererosi berkurang sebesar 69,54 % dibandingkan dengan hasil pengujian sistem elektroda ignitor dimana trafo ignitor pada sistem sumber daya idps menggunakan inti ferit *flyback* tv.

## KESIMPULAN

Proses pembuatan sistem elektroda ignitor menggunakan material Mg pada katoda, material SS 304 non magnetik pada anoda dan material teflon pada isolator. Pengujian arus spot plasma pada sistem elektroda ignitor yang telah dibuat pada permukaan katoda 1 dan katoda 2 menghasilkan arus dan lebar pulsa spot plasma yang mendekati spesifikasi teknis perencanaan. Hal tersebut terjadi setelah dilakukan modifikasi sumber daya IDPS pada trafo ignitor tidak menggunakan inti ferit, sehingga menyebabkan massa tererosi pada permukaan katoda 1 berkurang sebesar 69,12 % dan permukaan katoda 2 berkurang sebesar 69,54 % dibandingkan dengan hasil pengujian sistem elektroda ignitor dimana trafo ignitor pada sistem sumber daya IDPS menggunakan inti ferit.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ka. PSTA-BATAN yang telah mengalokasikan anggaran DIPA tahun 2015 dan 2016, Ibu Lely

Susita, Bapak Sudjatmoko dan Bambang Siswanto atas bantuan yang telah diberikan untuk menyelesaikan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. E. Pol, H. Mastwijk, P. V Bartels, and E. J. Smid, "Pulsed electric field treatment enhances the bactericidal action of nisin against *Bacillus cereus*," *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 66, no. January, pp. 428–430, 2000.
- [2] Z. Irawati, "Aplikasi Mesin Berkas Elektron Pada Industri Pangan," in *Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya*, 2006, pp. 87–94.
- [3] L. Susita R M and A. Ihwanul, "Perancangan Sistem Elektrode Ignitor untuk Perangkat Sistem Iradiator Elektron Pulsa," in *Pertemuan dan Presentasi Ilmiah – Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir 2016*, 2016, pp. 204–215.
- [4] L. Susita, Sudjatmoko, B. Siswanto, and I. Aziz, "Analisis Uji Fungsi Sistem Elektrode Ignitor untuk Sumber Elektron Katode Plasma," *Ganendra J. Nucl. Sci. Technol.*, vol. 18, no. 2, pp. 95–105, 2015.
- [5] M. S. Vorobyov, N. N. Koval, and S. a. Sulakshin, "An electron source with a multiaperture plasma emitter and beam extraction into the atmosphere," *Instruments Exp. Tech.*, vol. 58, no. 5, pp. 687–695, 2015.
- [6] M. S. Vorobyov, N. N. Koval, S. A. Sulakshin, and V. V Shugurov, "Investigation of the stability of the electron source with a multi-aperture plasma emitter generating a large cross-section electron beam," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 652, p. 12048, 2015.
- [7] Wirjoadi, B. Siswanto, L. S. R.M., S. Agus Purwadi, and Udjatmoko, "Penentuan Arus Spot Plasma dan Arus Plasma Lucutan Busur Pada Sistem Sumber Elektron Katode Plasma Menggunakan Teknik Koil Rogowski," *Ganendra J. Nucl. Sci. Technol.*, vol. 18, pp. 87–93, 2015.
- [8] K. P. Savkin, "Measurement of Ion Erosion Rate of Cathode Material in a Vacuum," in *Intense Electron and Ion Beams*, 2006, no. April, pp. 62–65.
- [9] E. M. Oks, K. P. Savkin, G. Y. Yushkov, and a G. Nikolaev, "Measurement of total ion current from vacuum arc plasma sources," no. July, pp. 2006–2008, 2006.
- [10] A. Salam, B. Santoso, and Saefurrachman, "Rancangan sistem catu daya plasma iradiator elektron pulsa," in *Pertemuan dan Presentasi*

Ilmiah - Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, 2015, pp. 21–29.

---

---

**TANYA JAWAB**

**Triyono**

Mengapa sistem elektroda ignitor ini dibuat dan apakah sudah sesuai dengan yang diharapkan?

**Agus P**

Sebagai pemicu lucutan busur plasma (asrus berkas plasma tinggi, tegangan rendah) sebagai sumber elektron perangkat IEP

Modifikasi sumber daya sudah dapat menghasilkan arus spot 9,04 A dan lebar pulsa 21  $\mu$ A mendekati dengan spesifikasi teknis perencanaan.