

## KONSTRUKSI DAN UJI FUNGSI SISTEM EKSTRAKSI BERKAS ELEKTRON

**Bambang Siswanto, Ihwanul Aziz, Anjar A. H., Lely Susita RM.**

*Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, BATAN  
Jl. Babarsari Kotak Pos 1601 ykbb, Yogyakarta*

### ABSTRAK

*KONSTRUKSI DAN UJI FUNGSI SISTEM EKSTRAKSI BERKAS ELEKTRON. Telah dilakukan konstruksi dan uji fungsi sistem ekstraksi berkas elektron. Plasma terbentuk pertama kali karena terjadinya spot pada elektroda ignitor dan kemudian plasma dihamburkan di dalam bejana plasma oleh elektroda generator plasma. Arus elektron di dalam bejana plasma sebesar  $I_B = 119$  A, lebar pulsa  $t = 84$   $\mu$ s, dan sistem ekstraksi mempunyai komponen  $C = 7,14$   $\mu$ F dengan  $R_C = 1,22$  k $\Omega$  dan  $R_D = 10$   $\Omega$  /2,6 kW. Tujuan konstruksi dan uji fungsi ini adalah untuk memperoleh berkas elektron keluar dari grid elektroda generator plasma. Tegangan ekstraksi divariasi mulai 500 V, 1000 V, 1500 V, 2000 V, 2500 V dan 3000 V, sedangkan pengukuran arus berkas elektron dilakukan dengan menggunakan koil Rogowski dan Faraday Cup. Diperoleh arus berkas elektron sebesar 5,72; 9,54; 16,2; 22,9; 28,6, 34,3 A menggunakan koil Rogowski dan sebesar 8,8; 11,2; 14; 14,8; 15,2, 17,2 A menggunakan Faraday Cup. Dari hasil pengukuran tersebut dapat disimpulkan bahwa SEKP berfungsi dengan baik dan dapat digunakan lebih lanjut khususnya untuk MBE pulsa.*

*Kata kunci: berkas elektron, sistem ekstraksi, generator plasma*

### ABSTRACT

*CONSTRUCTION AND FUNCTION TEST of ELECTRON BEAM EXTRACTION SYSTEM. The construction and functions test the electron beam extraction system have been done. Plasma was first formed as the plasma spot on ignitor electrode and then dissipated in the plasma vessel by electrode plasma generator. The electrons current in the plasma vessel of  $I_B = 119$  A, the pulse width  $t = 84$   $\mu$ s and extraction systems have components  $C = 7.14$   $\mu$ F with  $R_C = 1.22$  k $\Omega$  and  $R_D = 10\Omega$ 2.6 kW. The purpose of construction and function test are to obtain an electron beam out of the grid electrode plasma generator. Extraction voltage was varied from 500 V, 1000 V, 1500 V, 2000 V, 2500 V and 3000 V, while the electron beam current measurement is done using Rogowski coil and Faraday Cup. Obtained the electron beam current of 5.72; 9.54; 16.2; 22.9; 28.6, 34.3 A using a coil Rogowski and 8.8; 11.2; 14; 14.8; 15.2, 17.2 A using Faraday Cup. From the results of these measurements can be concluded that the electron source based plasma cathode functioning properly and can be used more particularly for Electron Beam Machine Pulse.*

*Keywords: electron beam, extraction system, plasma generator*

## PENDAHULUAN

Mesin pemercepat elektron sering disebut Mesin Berkas Elektron (MBE) adalah satu jenis teknologi baru yang telah dikembangkan dalam dua dekade yang lalu sebagai sumber radiasi pada proses iradiasi suatu produk industri dan pertanian. Pemanfaatan MBE dalam bidang industri telah berkembang pesat di negara-negara maju, terutama dalam proses pengeringan pelapisan (*curing of coatings*) permukaan suatu bahan, proses pembentukan ikatan silang pada plastik, karet dan bahan isolasi kabel, proses vulkanisasi karet alam, sterilisasi peralatan medis, pengawetan bahan makanan, modifikasi tekstil dan *graft polymerization* [1-4]. Apabila dibandingkan dengan proses termal konvensional ataupun proses kimia, maka proses iradiasi elektron mempunyai beberapa keunggulan

antara lain: menghasilkan kualitas produk yang lebih tinggi, tidak menimbulkan polusi pada lingkungan, hemat energi, reaksi-reaksi terjadi pada suhu kamar, proses yang terjadi mudah dikontrol, biaya operasi lebih rendah untuk produksi massal. Untuk vulkanisasi lateks karet alam, ikatan silang merupakan reaksi yang paling dominan yang terjadi selama proses iradiasi elektron. Sifat-sifat fisika dari lateks karet alam akan berubah dengan terbentuknya ikatan silang, sebagai contoh bertambahnya ketahanan terhadap bahan pelarut (*solvent*), meningkatkan kekuatan regangan dan kekerasan, berkurangnya tingkat kemuluran dan tahan terhadap panas (deformasi termal) [3-5].

Untuk meningkatkan homogenitas dari berkas iradiasi dan kemudahan dalam pengoperasiannya maka jenis MBE juga berkembang, satu diantaranya adalah MBE pulsa. Dalam perkembangannya aplikasi

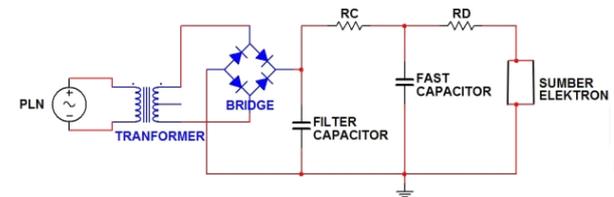
berkas elektron pulsa cukup luas seperti dalam bidang industri, MBE pulsa dapat digunakan dalam industri lateks, modifikasi permukaan pada industri semikonduktor dan polimer, serta industri pangan untuk pasteurisasi tanpa merusak tekstur dan nutrisi, juga netralisasi limbah [6-8]. Komponen MBE pulsa terdiri dari bejana sumber elektron yang dilengkapi dengan sistem plasma emiter, catudaya plasma, tegangan pemercepat dan sistem vakum. Plasma emitter adalah merupakan bejana plasma yang dilengkapi dengan *grid*, dua pasang sistem elektrode, *feedthrough* catudaya plasma dan sistem elektrode pemercepat [9].

Setiap unit sistem elektrode memiliki 3 komponen elektrode, yaitu katoda (Mg), anoda *ignitor* (SS 304) dan anoda generator plasma (SS 404), sedangkan isolator penyekat antara katoda dengan anoda *ignitor* (Teflon) dan antara anoda *ignitor* dengan anoda generator plasma (PA6). Untuk membangkitkan plasma digunakan catudaya plasma yang terdiri dari *Ignitor Discharge Power Supply* (IDPS) dan *Arc Discharge Power Supply* (ADPS). Percikan plasma terbentuk diantara katoda dan anoda *ignitor* yang diberi tegangan IDPS yang bersesuaian dengan jarak elektroda *ignitor* dan tekanan gas dalam bejana plasma sehingga terjadi *surface discharge*. Setelah diperoleh percikan plasma selanjutnya plasma dihamburkan ke seluruh bejana plasma oleh tegangan ADPS yang terpasang pada elektrode generator plasma dengan persyaratan memenuhi dadal tegangan yang ditentukan oleh elektrode generator plasma dan jarak antara tegangan penghambur dengan elektrode *ignitor* [10-12]. Catu daya yang digunakan merupakan tegangan tinggi searah (HVDC) yang dihasilkan oleh trafo satu fasa dengan penyearah gelombang penuh dan besar dayanya ditentukan oleh besar arus plasma yang ada pada bejana plasma. Mekanisme penyearahan dan besarnya aliran arus dan tegangan yang dihasilkan mengacu rangkaian sistem penyearah dan sistem transformator [13, 14].

Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan beberapa nilai kapasitor dan tahanan *charge* yang memenuhi persyaratan untuk mengekstraksi elektron yang ada pada bejana plasma dan keluar melalui *grid* yang terpasang. Arus plasma diasumsikan sebagai arus beban, maka hal ini yang berkaitan dengan parameter-parameter tersebut di atas. Dengan tahanan *discharge*, tegangan pengisi kapasitor dan penurunan tegangan saat kapasitor *discharge* divariasi, maka yang terjadi adalah dapat diperoleh besaran parameter sistem ekstraksi pada *grid* generator plasma. Selanjutnya parameter ekstraksi tersebut yang nantinya dapat digunakan sebagai dasar rancangan sistem ekstraksi elektron pada *grid* generator plasma.

## METODOLOGI

Skema rangkaian sumber tegangan tinggi untuk menarik elektron (sistem ekstraksi elektron) dari ruang plasma atau sumber elektron diperlihatkan pada Gambar 1, dimana saat pemuatan dan pelucutan *fast capacitor* tergantung nilai dari tahanan *charge* dan tahanan *discharge* yang terpasang secara seri dengan beban plasma.



**Gambar 1.** Rangkaian sistem ekstraksi elektron pulsa

Prinsip kerja dari rangkaian pada Gambar 1 adalah sumber tegangan tinggi mengisi kapasitor  $C$  melalui tahanan pengisi kapasitor  $R_C$ , sehingga kapasitor terisi penuh dan kemudian ditarik arusnya oleh beban sumber elektron melalui tahanan depan  $R_D$ . Dalam hal ini besaran yang mempengaruhi sistem ekstraksi pada sumber elektron katoda plasma di antaranya adalah tegangan tinggi pengisi kapasitor  $V_0$ , persyaratan penurunan tegangan saat kapasitor menarik arus beban dan besaran arus elektron yang diekstraksi  $I_B$ , maka secara matematis ditunjukkan pada persamaan (1),

$$V_0 = V_C + I_B R_D + \frac{I_B \tau}{C} \quad (1)$$

dengan,

- $V_0$  : tegangan pengisi kapasitor (Volt)
- $V_C$  : tegangan kapasitor *discharge* (Volt)
- $R_D$  : tahanan *discharge* kapasitor ( $\Omega$ )
- $R_C$  : tahanan *charge* kapasitor ( $\Omega$ )
- $\tau$  : lebar pulsa sumber elektron (detik)
- $C$  : kapasitansi kapasitor (F)

Sama seperti sumber ion pada umumnya sumber elektron plasma terdiri dari dua bagian. Bagian pertama adalah generator plasma yang menyediakan produksi ion dan dengan demikian berfungsi sebagai *reservoir* elektron plasma. Kedua bagian dari sumber dapat diperlakukan secara independen selama generator plasma menyediakan elektron pada rapat arus yang dibutuhkan dan mencakup seluruh wilayah sistem ekstraksi.

Generator plasma menentukan parameter emisi plasma, seperti kerapatan plasma atau suhu elektron, tetapi sistem ekstraksi menentukan parameter arus berkas dan kualitas berkas. Untuk katoda *solid state* seperti termionik katoda filamen panas, berkas elektron dapat diekstrak dengan baik dipengaruhi oleh kondisi ruang muatan atau kemampuan emisi.

Kerapatan arus emisi elektron dapat dihitung dengan hukum *Child-Langmuir*. Dalam hal ini daerah emisi diasumsikan planar dan tak terbatas, dengan

ion yang memiliki energi awal nol dalam arah longitudinal (z-arah).

$$j_e = \frac{4}{9} \epsilon_o \sqrt{\frac{2e}{m}} \frac{1}{d^2} U_{ACC}^{3/2} \tag{2}$$

dengan  $\epsilon_o$  adalah permitivitas vakum,  $e$  muatan listrik,  $m$  massa elektron,  $d$  lebar gap, dan  $U_{ACC}$  potensi penurunan. Total arus berkas  $I_e$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan,

$$I_e = \frac{4}{9} \pi r^2 \epsilon_o \sqrt{\frac{2e}{m}} \frac{1}{d^2} U_{ACC}^{3/2} \tag{3}$$

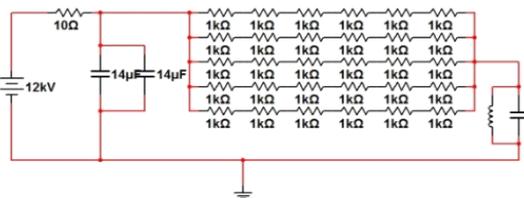
Dari rumusan tersebut maka besarnya arus berkas elektron  $I_e$  tergantung kerapatan arus emisi elektron pada generator plasma dan besarnya tegangan ekstraksi. Kesetimbangan rapat arus elektron, suhu elektron, luasan lubang *grid* dan besarnya tegangan ekstraksi dapat dilakukan dengan perhitungan dengan menggunakan persamaan 4

$$\frac{1}{4} en_e \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \frac{4}{9} \pi r^2 \epsilon_o \sqrt{\frac{2e}{m}} \frac{1}{d^2} U_{ACC}^{3/2} \tag{4}$$

Besar rugi arus yang terekstraksi dipengaruhi oleh berbagai geometri sistem *grid* diantaranya perbandingan luasan lobang dan sirip-sirip *grid*. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran arus berkas elektron yang keluar dari *grid* generator plasma, dan untuk transmisi berkas elektron ke tekanan atmosfer maka *grounding mesh* digantikan dengan *foil* tipis logam. Saat itu kerugian arus elektron dalam *foil* tergantung pada energi elektron, material dan ketebalan *foil*.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari hasil rancangan diperoleh nilai kapasitor adalah 7,14  $\mu F$  dengan tahanan pengisi kapasitor 1,22 k $\Omega$ /2,6 kW untuk tegangan pengisi kapasitor 12 kV, dan tahanan *discharge* 10  $\Omega$ /200 W, namun demikian untuk mendapatkan *Capacitor* dengan ukuran tersebut sulit diperoleh, maka dalam hal ini digunakan *Capacitor* dengan ukuran 15  $\mu F$  tegangan 20 kV dilakukan dengan sambungan seri. Untuk memperoleh tahanan pengisi 1,22 k $\Omega$ /2,6 kW dengan menggunakan tahanan 1 k $\Omega$ /200 W yang disambung secara seri dan paralel. Pada Gambar 2 adalah merupakan rangkaian seri-paralel tahanan sistem ekstraksi pada *grid* elektroda generator plasma dan setelah dikonstruksi pada dudukan flexiglas seperti terlihat pada Gambar 3.



**Gambar 2.** Rangkaian seri-paralel tahanan sistem ekstraksi



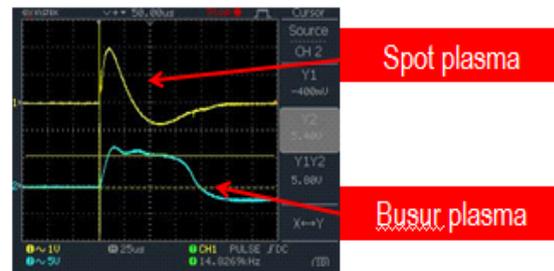
**Gambar 3.** Konstruksi komponen  $R_C$  dan  $R_D$  sistem ekstraksi elektron



**Gambar 4.** Sistem tegangan tinggi ekstraksi Sumber Elektron Berbasis Katoda Plasma (SEBKP)-DUET (Dua Elektroda)

Pada Gambar 4 sistem tegangan tinggi ekstraksi SEBKP-DUET, dimana tegangan tinggi tersebut mempunyai tegangan maksimum 25 kV dan arus 100 mA. Pada Gambar 4 tersebut digunakan untuk menguji transformator terisolir yang diharapkan mampu untuk mengisolasi tegangan tinggi sebesar 12 kV. Hasil pengujian diperoleh transformator yang mampu mengisolasi tegangan tinggi sebesar 13 kV terhadap kern trafo maupun kumparan sekunder. Dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa transformator terisolir mampu digunakan untuk SEBKP-DUET yang mana akan dioperasikan pada tegangan ekstraksi 12 kV.

Untuk mengetahui arus *spot* dan busur plasma dilakukan dengan memasang koil *Rogowski* dan hasilnya ditampilkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Sinyal IDPS dan ADPS

Pada Gambar 5 nampak sinyal terukur dengan tinggi tegangan dan lebar pulsa. Dari sinyal tersebut setelah dilakukan perhitungan dengan memperhatikan parameter *Rogowski coil*, maka diperoleh besaran arus IDPS maupun ADPS.

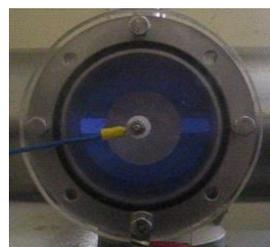
Untuk mengetahui arus terekstraksi dilakukan dengan memasang koil *Rogowski* dan *Faraday Cup* dan hasilnya ditampilkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Sinyal berkas elektron

Gambar 6 adalah hasil keluaran Rogowski koil yang terpasang pada sistem ekstraksi dan *R-Shunt*. Pada Gambar 6 nampak sinyal terukur dengan tinggi tegangan dan lebar pulsa. Dari sinyal tersebut setelah dilakukan perhitungan diperoleh besaran arus ekstraksi, sedangkan untuk perhitungan besarnya arus berkas dengan menggunakan *R-Shunt* yaitu besarnya tegangan terukur dibagi tahanan *R-Shunt*.

Bentuk busur plasma dengan variasi tegangan ekstraksi ditampilkan pada Gambar 7.



a)



b)

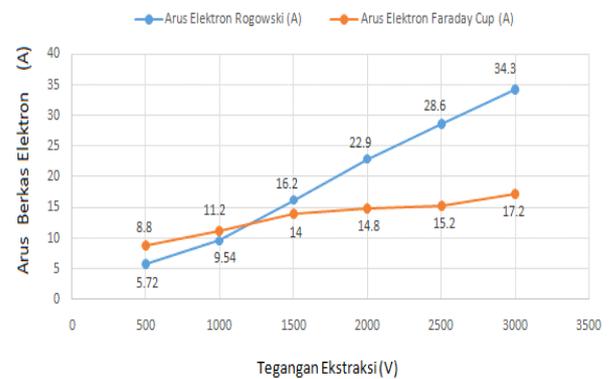


c)

**Gambar 7.** Busur plasma dengan ekstraksi a) 500V, b) 1000 V, c) 3000 V

Pada Gambar 7 ditampilkan berbagai bentuk busur plasma dengan variasi tegangan ekstraksi, dari *window* tersebut tampak semakin tinggi tegangan ekstraksi maka nyala plasma semakin terang, hal tersebut menunjukkan bahwa arus plasma yang terekstraksi dimungkinkan juga meningkat.

Arus berkas elektron terekstraksi sebagai fungsi tegangan ekstraksi ditampilkan pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Arus berkas fungsi tegangan ekstraksi

Gambar 8 adalah grafik arus berkas fungsi tegangan ekstraksi, dari grafik tersebut pada tegangan ekstraksi 500 V diperoleh arus terukur dengan *Rogowski* koil sebesar 5,72 A dan setelah tegangan ekstraksi dinaikkan menjadi 300 V maka arus berkas elektron naik menjadi 34,3 A. Gejala tersebut juga ditunjukkan saat pengukuran menggunakan *Faraday Cup*. Perbedaan arus terdeteksi dengan koil *Rogowski* dan *Faraday Cup* adalah informasi yang ditunjukkan merupakan total arus elektron terekstraksi, sedangkan pengukuran dengan menggunakan *Faraday Cup* adalah berkas elektron yang mengenai luasan mangkok *Faraday*.

Dari data percobaan diperoleh arus *spot* plasma sekitar (8,82-10,58 A) dengan lebar pulsa (33-39 $\mu$ s), arus lucutan busur plasma (115,53 - 132,03 A) dengan lebar pulsa (83-94  $\mu$ s), dan telah terdeteksi berkas elektron yang terekstraksi dari generator plasma menggunakan mangkok Faraday dan koil *Rogowski*. Pada variasi tegangan ekstraksi (500-3000 Volt), teramati arus berkas elektron terekstraksi sekitar (8,8 - 17,2 A) dengan mangkok *Faraday*, dan (5,72 - 34,3 A) dengan koil *Rogowski*. Hal tersebut menunjukkan bahwa SEBKP dapat berfungsi sesuai dengan yang direncanakan yaitu dapat terekstraksi sekitar 29 % arus elektron, diperoleh dari rata-rata arus terekstraksi dibagi arus busur plasma.

## KESIMPULAN

Dari hasil konstruksi dan uji fungsi sistem ekstraksi tersebut maka dapat disimpulkan bahwa berkas elektron telah terekstraksi keluar dari *grid* generator plasma. Diperoleh arus berkas elektron sebesar (5,72; 9,54; 16,2; 22,9; 28,6; 34,3) A dan

(8,8; 11,2; 14; 14,8; 15,2; 17,2) A, masing-masing menggunakan koil *Rogowski* dan *Faraday Cup*.

Dari hasil pengukuran tersebut maka dapat disimpulkan pula bahwa SEKP berfungsi dengan baik dan dapat digunakan lebih lanjut khususnya untuk MBE pulsa.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan penelitian ini dibiayai oleh PSTA melalui DIPA Tahun 2015. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Kepala PSTA, seluruh peneliti dan pembantu peneliti dalam kegiatan ini. Semoga amal baik Bapak dan Ibu mendapatkan balasan berlipat dari Allah SWT.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Qizhang, Z., *Electron Accelerators Manufactured in China*, UNDP/IAEA/RCA Regional Training Course on EB Irradiation Technology, Shanghai Applied Radiation Institute, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai, China, 1991.
2. Suzuki, M., *Recent Advances in High Energy Electron Beam Machine*, Nissin-High Voltage Co., Ltd., Proceedings of the Workshops on the Utilization of Electron Beams, JAERI-M, 90-194, 1990.
3. Yamamoto, S., *Cross-linking of Wire and Cables with Electron Beam*, Proceedings of the Workshops on the Utilization of Electron Beams, JAERI-M, 90-194, 1990.
4. Makuuchi, K., *Electron Beam Processing of Rubbers*, Proceedings of the Workshops on the Utilization of Electron Beams, JAERI-M, 90-194, 1990.
5. Meri Suharini, *Vulkanisasi lateks karet alam secara batch dengan iradiasi berkas elektron*, PPI Aplikasi radiasi, PATIR-BATAN, 2002.
6. R. Ramaswamy, T. Jin, H. Zhang, *Pulse Electric Field Processing, Food Science & Technology*, The Ohio State University, 2005, <http://fst.osu.edu/pef>
7. U.S. Food & Drug Administration, Centre for Food Safety & Applied Nutrition, 2000. *Kinetic of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies High Voltage Arc Discharge*.
8. I.E. Pol et.al., *Pulse Electric Field Treatment Enhances the Bactericidal Action of Nisin Against Bacillus Cereus*, Appl & Environmental Microbiology, 66, 428, 2000.
9. Efim Oks, *Plasma Cathode Electron Sources*, Wiley Vch Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. ISBN: 3-527-40634-4. 2006.
10. Anonim, *Electrical Break-downs Limits for MEMS*, ECE234/424 Handout, January, 2007
11. Anna Kravcchenko and Hakan Candan, *Glow Discharge*, First published on the web: 09.12.2007. The text is based on a lecture given by Zoltan Donko, RISSP Budapest, at the first Gladnet training course in Antwerp Sept. 2007, [www.Gladnet.eu](http://www.Gladnet.eu)
12. C.S. Wong, *The Glow Discharge*, in Proceedings of 1984 Tropical College on Applied Physics, Laser and Plasma Technology, edited by S. Lee, et al, World Scientific Publish Co. Pte, Ltd, 1985.
13. Ahmad Saudi Samosir, *Studi Penggunaan Penyearah 18 Pulsa dengan Transformator 3 Fasa ke 9 Fasa Hubungan Segi Enem*, Telkomnika, Vol 6 No. 1, April 2008, 21-32
14. Marsud Hamid, *IEC Standar 60076 Laboratorium Sebagai Standar Uji Trafo Daya Tegangan Menengah*, MEDIA ELEKTRIK, Volume 4 Nomor 2, Desember 2009.

## TANYA JAWAB

### Taufik

- Bagaimana proses kalibrasi alat ukur rogowski dan faraday cup yang digunakan?
- Dengan tegangan maksimum 180 kV, berapa kedalaman target yang bisa ditembus elektron? Apakah cukup efektif untuk menguatkan bahan makanan dengan tebal cukup besar?

### Bambang Siswanto

- Kalibrasi rogowski koil yang kami gunakan belum dikalibrasi dan untuk penelitian kami hanya menggunakan parameter lilitan, diameter ferit, dan kumparan yang ada di pasaran dan nanti akan kami kalibrasi dengan rogowski koil hasil pabrik yang sudah ada spesifikasinya
- Kami belum menerapkan ke produk hasil pertanian dan referensi bahwa iradiasi  $\leq 1$  KGy bisa digunakan untuk mengiradiasi (menghambat pertanian, hama, dan menunda kematangan) hasil pertanian. Iradiasi dengan elektron hanya beberapa  $\mu\text{m}$  saja, sehingga hanya efektif untuk permukaan saja.