

RANCANGAN SISTEM GRID PADA SUMBER ELEKTRON KATODA PLASMA

Agus Purwadi
PSTA- BATAN

Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 Ykbb Yogyakarta55281

Agus.p@batan.go.id

ABSTRAK

RANCANGAN SISTEM GRID PADA SUMBER ELEKTRON KATODA PLASMA. Telah dirancang sistem grid pada Sumber Elektron Katoda Plasma (SEKP). Sistem grid dengan lubang emisi berkas elektron seluas $(15 \times 60) \text{ cm}^2$, ukuran lubang grid tunggal $(0,5 \times 0,5) \text{ mm}^2$ dan diameter kawat grid $0,25 \text{ mm}$, akan digunakan pada bejana generator plasma. Kalau jumlah lubang grid diketahui dan besar arus emisi elektron yang melalui tiap lubang grid juga diketahui, maka besar arus emisi elektron total yang keluar dari bejana generator plasma dapat ditentukan. Telah dihitung besar arus emisi elektron I_e fungsi jejari grid $r_e = (0,28, 0,40, 0,49, 0,56, 0,63, 0,69) \text{ mm}$ pada suhu elektron $T_e = 5 \text{ eV}$ untuk berbagai harga kerapatan elektron plasma $n_e = (10^{15}, 10^{16}, 10^{17}, 10^{18}) \text{ m}^{-3}$. Demikian pula untuk besar arus emisi elektron fungsi jejari grid $r_e = (0,28, 0,40, 0,49, 0,56, 0,63, 0,69) \text{ mm}$ pada kerapatan elektron $n_e = 10^{17} \text{ m}^{-3}$ untuk berbagai suhu elektron plasma $T_e = (1, 2, 3, 4, 5) \text{ eV}$. Arus emisi elektron akan bertambah besar dengan bertambahnya baik jejari grid, suhu elektron maupun kerapatan elektron plasmanya.

Kata kunci : grid, katoda plasma, sheath, kerapatan plasma, temperatur plasma.

ABSTRACT

GRID SYSTEM DESIGN ON THE PLASMA CATHODE ELECTRON SOURCE. It has been designed the grid system on the Plasma Cathode Electron Source (PCES). Grid system with the electron emission hole of $(15 \times 60) \text{ cm}^2$, the single aperture grid size of $(0,5 \times 0,5) \text{ mm}^2$ and the grid wire diameter of $0,25 \text{ mm}$, will be used on the plasma generator chamber. If the sum of grid holes known and the value of electron emission current through every the grid hole known too then the total value of electron emission current which emits from the plasma generator chamber can be determined. It has been calculated the value of elektron emission current I_e as function of the grid radius $r_e = (0,28, 0,40, 0,49, 0,56, 0,63, 0,69) \text{ mm}$ on the electron temperature of $T_e = 5 \text{ eV}$ for varying of the value plasma electron densities $n_e = (10^{15}, 10^{16}, 10^{17}, 10^{18}) \text{ m}^{-3}$. Also for the value of electron emission current I_e as function of the grid radius $r_e = (0,28, 0,40, 0,49, 0,56, 0,63, 0,69) \text{ mm}$ on the electron density $n_e = 10^{17} \text{ m}^{-3}$ for varying of the value of plasma electron temperatures $T_e = (1, 2, 3, 4, 5) \text{ eV}$. electron emission current will be increase by increasing grid radius, electron temperature as well as plasma electron density.

Keywords : grid, plasma cathode, sheath, plasma density, plasma temperature.

PENDAHULUAN

Pada perkakas Sumber Elektron Katoda Plasma (SEKP), berkas elektron terbentuk oleh adanya emisi atau ekstraksi elektron dari permukaan plasma pada bejana generator plasma. Permukaan plasma dalam bejana generator plasma hanya elektron plasmanya yang ditarik keluar oleh anoda ekstraktor (arus berkas elektron plasma menuju anoda emitor) yang selanjutnya arus berkas elektron tersebut dipercepat menggunakan tegangan tinggi pemercepat menuju elektroda kolektor untuk dikeluarkan (dari ruang vakum) melalui jendela/window bejana plasma menuju target (bertekanan atmosferik). SEKP dengan keluaran berkas elektron berpenampang luas dan berarus besar akan sangat bermanfaat untuk aplikasi pada permukaan bahan datar yang luas. SEKP dapat

digunakan dalam teknologi-teknologi radiasi seperti modifikasi struktur permukaan bahan, pemompaan media aktif laser-laser gas, pengelasan keramik, pembangkit radiasi elektromagnetik, teknologi radiasi dan kimia plasma serta dalam bidang-bidang lainnya^[1-2].

Perkakas SEKP yang beroperasi dalam bentuk pulsa adalah lebih sederhana apabila dibandingkan dengan mesin berkas elektron yang beroperasi secara kontinyu, karena SEKP tidak menggunakan sistem pemfokus dan juga magnet pembelok. Demikian pula untuk produk-produk berkas yang semacam, SEKP mempunyai keuntungan lebih terhadap sistem katoda panas, dan jauh lebih mudah untuk membentuk kehomoginan luasan daerah emisi plasma. SEKP selain beroperasi dalam bentuk pulsa (orde

nano hingga milli sekon) juga mampu menghasilkan kerapatan arus tinggi (hingga 100 A/cm^2)^[31].

Karena diharapkan tampang lintang berkas elektron pulsa nantinya dapat besar/luas maka sistem lucutan yang mampu menghasilkan elektron yang efisien, ekstraksinya stabil serta distribusi kerapatan elektron pada berkas bisa optimum, adalah hanya dengan metode penggunaan grid/kassa sebagai anoda emitor pada bejana generator plasma. Untuk merancang anoda emitor harus disesuaikan dengan ukuran dan bentuk bejana generator plasmanya, khususnya yang berhubungan dengan luasan total lubang keluaran berkas elektron (jumlah total lubang grid) dengan luasan total anoda (dinding bejana generator plasma) yang dapat tertuju elektron. Karena kedua luasan tersebut ada hubungannya dengan salah satu syarat untuk elektron dapat atau tidaknya diekstrak atau diemisikan dari bejana generator plasma. Elektron yang telah diekstrak selanjutnya akan dipercepat dengan tegangan tinggi pemercepat (antara 150 kV hingga 200 kV), untuk mendapatkan berkas elektron dengan energi tinggi (orde ratusan joule), kecepatan repetitif pulsa sekitar 50 Hz dan lebar pulsa sekitar 40 μs . Anoda emitor dirancang bentuk kassa/grid dari bahan stainless steel mesh-40 berukuran lubang (0,5x0,5) mm², seluas (15x60) cm² dengan jarak antar lubang grid 0,25 mm yang hendak diklemkan pada bejana generator plasma. Bejana generator plasma (didalam bejana SEKP) yang dilengkapi anoda emitor elektron dengan ukuran dan bentuk geometri tertentu tersebut diharapkan dapat menghasilkan arus berkas elektron dalam arti elektron dapat diekstrak dari bejana generator plasma dan arus berkas elektron dapat terdeteksi sampai dengan daerah percepatan. Arus berkas elektron sementara baru terekstraksi akibat adanya tegangan anoda (sekitar 1 kV) dan belum dipercepat dengan tegangan tinggi ekstraksi U_a sehingga berkas elektron tersebut belum sampai di kolektor (target).

TEORI

Untuk penyederhanaan dalam rancangan sistem grid, plasma dalam bejana generator plasma secara keseluruhan dianggap homogen dan distribusi energi elektron adalah Maxwellian. Sedang keadaan yang paling khusus, plasma mempunyai potensial positip terhadap elektroda discas. Ini berarti bahwa ions diemisikan dari permukaan plasma (terbuka), sedang elektrons harus mengatasi halangan potensial untuk lolos dari permukaan plasma sampai dengan mencapai elektroda kolektor. Dalam proses pembentukan berkas plasma, penambahan tegangan ekstraksi atau tegangan pemercepat U_a harus menyebabkan penambahan besar kecepatan dan energi dari ion dan elektron. Kalau dalam hal ekstraksi ion dari plasma, kondisi ini secara otomatis dipenuhi karena ion selanjutnya hanya dipercepat oleh medan listrik

eksternal, tetapi keadaan berbeda nyata kalau dalam hal ekstraksi elektron dari plasma. Sehingga fenomena ekstraksi atau emisi elektron plasma dari permukaan plasma adalah lebih tidak sederhana kalau dibandingkan dengan ekstraksi ion dari plasma.

Skematik sederhana dari sumber elektron kato-da plasma, yang terdiri dari komponen-komponen generator plasma, lubang emitor, kolektor ion atau elektron, permukaan emisi, tegangan ekstraksi dan berkas elektron seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Elektron bersama dengan ion diasumsikan meninggalkan plasma (dari permukaan plasma di dekat anoda discas) yang akhirnya sampai di kolektor elektron/ion^[41].

Emisi elektron dari plasma dengan tanpa adanya perbedaan potensial antara anoda emitor dengan kolektor ($U_a = 0$) ditunjukkan pada Gambar 2. Terlihat pada Gambar 2 bahwa kalau ϕ_a adalah potensial anoda (dinding generator plasma) dan ϕ_c adalah potensial kolektor maka dengan tanpa adanya perbedaan potensial antara anoda emitor dengan kolektor ($U_a = 0, \phi_a = \phi_c$) rapat arus elektron ke kolektor sama dengan rapat arus elektron ke anoda ($j_e = j_{ec} = j_{e0}$). Ketika $U_a = 0$, kolektor adalah bagian dari anoda bejana discas dan *sheath*/selubung muatan (ruangan) positip yang memperlambat elektron-elektron dan mempercepat ion-ion. Untuk lolos dari plasma elektron harus dapat mengatasi penghalang potensial, oleh karenanya kerapatan arus elektron ke kolektor j_{ec} diberikan oleh Pers. (1) sebagai berikut :

$$j_{ec} = j_{e0} \exp\left(\frac{-e\phi_p}{kT_e}\right) \quad (1)$$

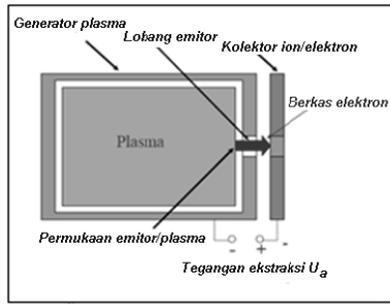
dengan

$$j_{e0} = \frac{1}{4} e n_e \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \quad (2)$$

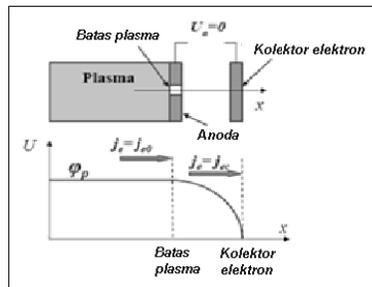
j_{e0} adalah kerapatan arus elektron termal plasma, $e =$ muatan elektron = $1,602 \times 10^{-19}$ C, $n_e =$ kerapatan plasma, $k =$ tetapan Boltzmann = $1,381 \times 10^{23}$ J/K, $T =$ suhu plasma, $m_e =$ massa elektron = $9,109 \times 10^{-31}$ kg.

Emisi elektron dari plasma dengan $U_a > \phi_p$ ditunjukkan pada Gambar 3. Pada keadaan $U_a > \phi_p$, rapat arus emisi elektron $j_{ec} = j_{e0}$ mencapai harga maksimum yang harganya sama dengan rapat arus elektron termalnya seperti ditunjukkan pada Pers. (2). Pada emisi tingkat ini berkas elektron terbentuk dan tenaganya bergantung pada tegangan terpakai U_a .

Seperti diketahui pada uraian di atas bahwa selain bergantung pada tegangan penarik U_a , emisi elektron dari plasma juga sangat ditentukan oleh bentuk dan ukuran lubang emitor.



Gambar 1. Skematik sederhana sumber elektron katoda Plasma



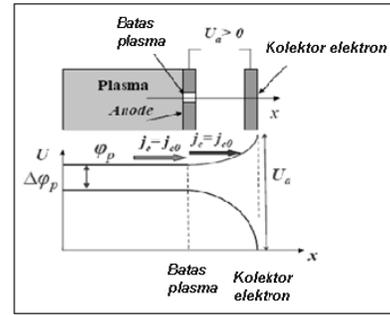
Gambar 2. Emisi elektron dari plasma dengan $U_a = 0$

Stabilisasi *mesh* yang berarti pemilihan ukuran lubang emisi pada ketebalan orde *sheath* (yang memisahkan plasma dari elektroda keluaran). Emisi elektron dari bagian permukaan plasma terbuka (batas plasma), elektron dipancarkan dari bagian pusat dan pada pinggiran melalui penghalang/barrier potensial seperti disajikan pada Gambar 4, yang merupakan gambaran skematik prinsip stabilisasi grid. Pada Gambar 4 ditunjukkan bahwa bertambahnya ketebalan *sheath*, akan mengurangi permukaan plasma terbuka. Dengan tidak adanya penghalang potensial, kerapatan arus emisi adalah lebih besar dari pada kerapatan arus untuk elektron yang mengatasi penghalang dan oleh karena itu arus berkas emisi elektron I_e yang lewat masing-masing lubang emisi utama ditentukan oleh luas permukaan plasma bisa dinyatakan dalam Pers. 3:

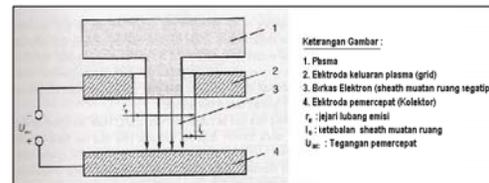
$$I_e = j_{ex} \pi (r_e - l_s)^2 \quad (3)$$

disini r_e adalah jejari dari lubang emisi dan l_s adalah ketebalan *sheath*.

Dalam keadaan umum, tiga perbedaan mekanisme emisi elektron plasma akan bergantung pada perbandingan ukuran lubang emisi r_e terhadap ketebalan sheath l_s [5].



Gambar 3. Emisi elektron dari plasma dengan $U_a > \phi_p$



Gambar 4. Skematik prinsip stabilisasi grid.

- a. Jika lubang emisi jauh lebih kecil dari pada ketebalan *sheath* ($r_e \ll l_s$), *sheath* menyelimuti semua lobang emisi dan elektron diemisikan melalui penghalang potensial. Disini efisiensi ekstraksi elektron α (perbandingan arus emisi terhadap arus discas) ditentukan seperti halnya untuk emisi ion, yakni oleh perbandingan luas permukaan emisi plasma S_e terhadap luas total anoda dan elektroda lain dari sistem discas S_a :

$$\alpha = \frac{S_e}{S_e + S_a} \quad (4)$$

Ukuran kecil lubang emisi tak mengizinkan efisiensi ekstraksi elektron melebihi beberapa persen.

- b. Keadaan tertentu yang lain dapat dianggap dengan $r_e \gg l_s$. Dalam keadaan ini efisiensi ekstraksi elektron adalah:

$$\alpha = S_e / (S_e + S_a) \exp [e(\phi_{pl} - \phi_a) / kT_e] \dots (5)$$

Yakni α mendekati maksimum (satu satuan). Tetapi tingkat dimana parameter plasma terganggu lagi menjadi cukup besar yang mana ini akan mempersulit untuk memperoleh berkas elektron dengan parameter-parameter stabil.

- c. Keadaan antara a) dan b) yakni dengan mengambil $r_e \approx l_s$, yang mana $\alpha = 0,5$ merupakan harga yang optimum. Dalam keadaan ini elektron meninggalkan plasma melalui keduanya, permukaan emisi terbuka dan melalui penghalang potensial. Bagian arus berkas elektron dari luasan plasma terbuka fraksi berkas elektron yang keluar dari plasma adalah lebih tinggi dibandingkan

dengan yang di pinggir (melalui halangan potensial). Jadi arus elektron yang melalui halangan potensial boleh diabaikan karena besarnya halangan potensial.

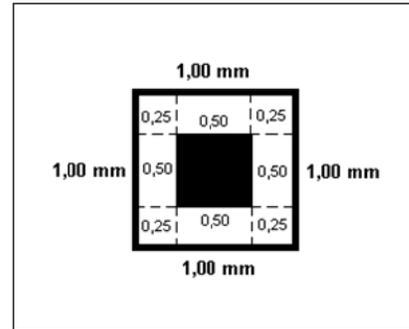
METODA DAN TATA KERJA

Hasil rancang bangun bejana SEKP model DUET (terdiri dari dua sistem elektroda penghasil plasma) yang akan dilengkapi dengan komponen anoda emitor/grid adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Anoda emitor akan dipasangkan pada dinding bagian bawah bejana generator elektron (terletak di dalam bejana SEKP, pada Gambar 5 tidak tampak). Anoda emitor merupakan salah satu komponen utama dalam perangkat SEKP yang mana akan dibahas pengaruh ukuran lubang emitornya terhadap besar arus emisi elektron yang terekstraksi dari permukaan plasma (generator plasma) serta pengaruhnya terhadap parameter plasma (suhu dan kerapatan elektron plasmanya). Menurut teori, pada Gambar 2 diatas walau dengan tanpa adanya tegangan penarik U_a (orde ratusan kilo volt) besar arus emisi elektron telah muncul walaupun semakin lama besar arus tersebut semakin menurun (bentuk eksponensial). Pada rancangan anoda emitor akan digunakan bahan SS-304 bentuk kassa/grid (mesh-40) berukuran lubang $(0,5 \times 0,5) \text{ mm}^2$ (identik dengan grid bentuk lingkaran dengan jejari 0,28 mm) seluas $(15 \times 600) \text{ mm}^2$ yang diklemkan pada bejana anoda, dengan jarak antar lubang grid 0,25 mm (merupakan ukuran diameter kawat grid). Kalau jarak antara lubang grid yang satu dengan yang lain adalah sebesar 0,25 mm maka untuk media/luasan anoda emitor $(1,00 \times 1,00) \text{ mm}^2$ akan ada 1 lubang grid (satu lubang grid untuk setiap luasan media 1 mm^2 , ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Bejana SEKP model DUET.

Luas penampang emisi elektron pada bejana plasma (luas media total) yang direncanakan adalah sebesar $(15 \times 60) \text{ cm}^2$, maka pada bejana plasma akan ada sebanyak $90.000 \text{ mm}^2 \times 1 \text{ lubang/ mm}^2 = 90.000$ lubang grid.



Gambar 6. Lubang grid $(0,50 \text{ mm} \times 0,50 \text{ mm})$ terbuat dari kawat kassa SS berdiameter 0,25 mm (1 lubang grid setiap 1 mm^2 luasan media).

Kalau jumlah lubang grid diketahui dan besar arus emisi elektron yang melalui tiap lubang grid juga diketahui, maka besar arus emisi elektron total yang keluar dari bejana plasma dapat ditentukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut persamaan (14) besar arus emisi elektron yang melalui satu lubang grid akan bergantung pada parameter plasma seperti suhu elektron T_e , kerapatan elektron n_e serta bergantung pada ukuran jejari grid r_e . Besar parameter-parameter plasma dalam bejana generator plasma adalah untuk temperatur elektron plasma T_e sekitar $(1 - 10) \text{ eV}$ dimana $1 \text{ eV} = 1160 \text{ K}$, dan untuk kerapatan elektron plasma n_e adalah $(10^{15} - 10^{18}) \text{ m}^{-3}$. Sedang besaran-besaran lainnya merupakan konstanta yang besarnya telah tertentu yakni untuk $e = \text{muatan elektron} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$, $k = \text{tetapan Boltzmann} = 1,37 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ dan $m_e = \text{massa elektron} = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

Grid dalam bentuk bujur sangkar berukuran $(0,50 \text{ mm} \times 0,50 \text{ mm})$ adalah identik (besar harga luasnya relatif sama) dengan grid bentuk lingkaran berjejari 0,28 mm ($2,8 \times 10^{-4} \text{ m}$), oleh karenanya hal ini dapat dijadikan sebagai standar/patokan bahwa setiap lubang grid bentuk lingkaran dengan jejari 0,28 mm akan memerlukan luasan 1 mm^2 , dan akan berlaku untuk media luasan kelipatannya yakni untuk luasan 2 mm^2 , 3 mm^2 , 4 mm^2 dan seterusnya. Masing-masing luasan media grid ini akan menentukan jumlah lubang grid dalam luasan anoda emitor generator plasma yang ukurannya telah tertentu, Variasi luasan media masing-masing grid untuk menentukan jejari grid dan banyaknya jumlah grid dalam tampang lintang emisi elektron bejana

generator plasma seluas media 15 cm × 60 cm. ditunjukkan pada Tabel 1.

Untuk rancangan penentuan arus emisi elektron yang melalui grid dapat dilakukan dengan memvariasi harga parameter plasma dalam bejana plasma ; suhu elektron T_e , kerapatan elektron n_e , serta ukuran jejari gridnya r_e . Pada Tabel 2 ditunjukkan besar arus emisi elektron (I_e) sebagai fungsi jejari grid pada kerapatan elektron plasma $n_e = 10^{17} \text{ m}^{-3}$ untuk berbagai harga suhu elektron T_e . Pada Tabel 3 ditunjukkan besar arus emisi elektron (I_e) sebagai fungsi jejari grid pada suhu elektron $T_e = 5 \text{ eV}$ untuk berbagai kerapatan elektron plasma n_e .

Grid diklemkan/dipasang pada dinding bejana plasma (*plasma emitter*/katoda plasma) bagian bawah, berfungsi sebagai pengontrol arus emisi elektron plasma yang diekstrak/dikeluarkan dari bejana plasma. Untuk mendapatkan besar arus emisi elektron yang diharapkan, perlu ditetapkan harga

parameter plasma (n_e dan T_e) dalam bejana plasma serta ukuran grid yang digunakan.

Tabel 1. Besar jejari grid untuk masing-masing luasan media grid dan jumlah grid pada bejana plasma ertampang lintang emisi elektron (15×60) cm²

Luas media grid (mm ²)	Bejana plasma dengan luasan emisi elektron (15×60) cm ²	
	Jejari grid r_e (m)	Jumlah grid
1	$2,80 \times 10^{-4}$	90.000
2	$4,00 \times 10^{-4}$	45.000
3	$4,90 \times 10^{-4}$	30.000
4	$5,60 \times 10^{-4}$	22.500
5	$6,30 \times 10^{-4}$	18.000
6	$6,90 \times 10^{-4}$	15.000

Tabel 2. Harga arus emisi elektron (I_{em}) sebagai fungsi jejari lubang r_e (pada $n_e = 10^{17} \text{ m}^{-3}$) untuk suhu elektron T_e (1, 2, 3, 4, 5) eV.

No	Jejari r_e (m)	Suhu elektron Plasma T_e (°K) / Arus Emisi Elektron				
		$1 \times 11600 / I_{em}$ (A)	$2 \times 11600 / I_{em}$ (A)	$3 \times 11600 / I_{em}$ (A)	$4 \times 11600 / I_{em}$ (A)	$5 \times 11600 / I_{em}$ (A)
1	$2,80 \times 10^{-4}$	59,1	83,6	102,0	118,0	133,0
2	$4,00 \times 10^{-4}$	121	171,0	209,0	241,0	272,0
3	$4,90 \times 10^{-4}$	181,0	256,0	313,0	362,0	408,0
4	$5,60 \times 10^{-4}$	236,0	334,0	409,0	473,0	533,0
5	$6,30 \times 10^{-4}$	299,0	423,0	518,0	598,0	675,0
6	$6,90 \times 10^{-4}$	359,0	507,0	621,0	718,0	809,0

Tabel 3. Harga arus emisi elektron (I_{em}) sebagai fungsi jejari lubang r_e (pada $T_e = 5 \text{ eV}$) untuk kerapatan kerapatan elektron $n_e = (10^{15}, 10^{16}, 10^{17}, 10^{18} \text{ m}^{-3})$.

No	Jejari r_e (m)	Kerapaan elektron Plasma n_e (m ⁻³) / Arus Emisi elektron			
		$10^{15} / I_e$ (A)	$10^{16} / I_e$ (A)	$10^{17} / I_e$ (A)	$10^{18} / I_e$ (A)
1	$2,80 \times 10^{-4}$	1,33	13,30	133,00	1330,0
2	$4,00 \times 10^{-4}$	2,72	27,20	272,00	2720,0
3	$4,90 \times 10^{-4}$	4,08	40,80	408,00	4080,0
4	$5,60 \times 10^{-4}$	5,33	53,30	533,00	5330,0
5	$6,30 \times 10^{-4}$	6,75	67,50	675,00	6750,0
6	$6,90 \times 10^{-4}$	8,09 ⁵	80,90	809,00	8090,0

KESIMPULAN

1. Untuk jejari grid sebesar $r_e = 0,40 \text{ mm}$, suhu elektron $T_e = 5 \text{ eV}$ ($1 \text{ eV} = 11600 \text{ K}$) dan kerapatan plasma $n_e = 10^{17} \text{ m}^{-3}$ diperoleh besar arus berkas emisi elektron plasma sebesar $I_e = 272 \text{ A}$. Sedang untuk jejari grid dan suhu elektron yang sama ($r_e = 0,40 \text{ mm}$, $T_e = 5 \text{ eV}$)

- pada kerapatan plasma $n_e = 10^{18} \text{ m}^{-3}$ diperoleh besar arus berkas emisi elektron plasma $I_e = 2,72 \text{ kA}$.
2. Arus emisi elektron akan bertambah besar dengan bertambahnya baik jejari grid, suhu elektron maupun kerapatan elektron plasmanya.
 3. Perubahan kerapatan elektron plasma akan sangat dominan pengaruhnya terhadap peru-

bahan besar arus emisi elektron bila dibandingkan dengan perubahan baik jejari grid maupun suhu elektronnya

4. Luasan grid tidak terbatas hanya dalam bentuk lingkaran namun bisa dalam bentuk luasan bujur sangkar, asal diketahui besar arus emisi elektron tiap lubang grid dan jumlah grid persatuan luasnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Purwadi R, (2006) Application of Plasma-Cathode elektron Beam for Large Area Treatment of Natural Rubber, Nagata Seiki, Ltd.
2. Y.E. Krasik, D. Yarmolich, J.Z. Gleizer, V. Vekselman, Y. Hadas, V.T. Gurovich, and J. Felsteiner, Physics of Plasmas 16, 057103 (2009) 057103-1 – 057103-11
3. DAN M. GOEBEL, "Plasma Cathode elektron Guns" , Work performed at HRL, HUGHES RESEARCH LABORATORIES, Jan. 1997
4. Efim Oks, Lecture 6 Introduction of Plasma Cathode elektron Source, presented in BATAN Accelerator School, Yogyakarta, Indonesia, 5th - 9th December (2011)

5. Efim Oks, "Plasma Cathode elektron Sources (Physic, Technology, Application)", Institute of High Current electronics (IHCE), Russian Academy of Sciences, 2/3 Akademichisky Ave, 634055 Tomsk, Russia, May 2006.

Tjipto Sujitno

- Apa fungsi utama grid
- Apakah bisa dihitung arus yang hilang akibat tumbukan elektron dengan grid

Agus Purwadi

- *Grid berfungsi untuk menentukan/mengontrol besarnya arus ekstraksi berkas elektron yang terekstraksi*
- *Ya ini berhubungan dengan efisiensi ekstraksi elektron dari grid (a). Besar a akan bergantung Se (total luasan kolektor yang dikenai berkas elektron) dan bergantung Sa (total luasan anoda yang terkena berkas elektron). Sedang Se dan Sa bergantung pada pemilihan luasan lubang grid.*