

PENGUKURAN DISTRIBUSI ION PADA PLASMA FOKUS

Suryadi, Sunardi, Widdi Usada, Agus Purwadi, Akhmad Zaenuri

Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta

ABSTRAK

PENGUKURAN DISTRIBUSI ION PADA PLASMA FOKUS. Pengukuran distribusi berkas ion Argon dari plasma fokus telah dilakukan dengan menggunakan mangkuk Faraday. Intensitas berkas yang terhambur ke arah depan ternyata mengikuti hukum $1/R^n$, dengan $n=1,02$. Untuk tekanan 0,8 mbar dan tegangan 12,5 kV selaput arus memerlukan waktu 2,2-2,4 μ det untuk mencapai kondisi fokus. Juga teramati adanya ion Cu yang berasal dari anode tertangkap oleh mangkuk Faraday.

ABSTRACT

ION DISTRIBUTION MEASUREMENT IN PLASMA FOCUS. Measurement of the Argon ion distribution in plasma focus by using Faraday cup has been done. The intensity of ion beam followed the $1/R^n$ rule, $n=1,02$. In the operation condition of 0,8 mbar and 12,5 kV the current sheat spen 2.2 to 2.4 μ second in the rundown fase. Cu ion was also been observed in the Faraday cup.

PENDAHULUAN

Dengan keterbatasan sumber alam yang ada maka orang cenderung untuk menggunakannya dengan cara yang lebih efisien. Manipulasi bahan-bahan tersebut sehingga menjadi bahan unggul yang mempunyai nilai tambah dibandingkan dengan bahan aslinya, sains materi merupakan bidang yang menangani hal ini. Manipulasi yang dilakukan bersifat mikroskopis, karena menyangkut interaksi antara atom-atom dalam materi. Bahan-bahan baru hasil manipulasi ini dapat mempunyai sifat-sifat yang lebih baik dari pada bahan aslinya. Dapat mempunyai kekerasan, ketahanan terhadap korosi, ketahanan terhadap suhu tinggi, daya hantar listrik yang jauh lebih baik dari pada bahan aslinya.⁽¹⁾

Untuk mendapatkan bahan unggul tersebut pengolahan/manipulasi sering hanya dilakukan pada permukaan bahan tersebut. Misal untuk membuat bahan lebih tahan terhadap korosi, maka cukup hanya melakukan perlakuan (treatment) pada permukaannya saja. Dalam rangka pembuatan bahan unggul lapisan tipis, maka kebutuhan utama ialah ion-ion berkecepatan tinggi sehingga dapat terikat pada permukaan bahan. Untuk menghasilkan ion-ion berkecepatan tinggi tersebut dapat ditempuh dengan beberapa macam cara sesuai dengan kebutuhan. Kalau yang ingin dicangkokkan keper-

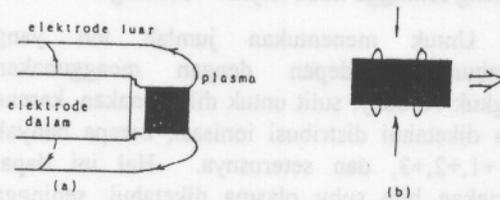
mukaan merupakan molekul-molekul maka harus dilakukan secara kimia, dengan menggunakan metode Langmuir. Untuk pencangkokan atom-atom dapat dikerjakan dengan metode, CVD, "glow-discharge", "sputtering", implantasi ion dan dapat juga digunakan alat fokus plasma sebagai sumber ion. Untuk mengetahui sifat-sifat permukaan yang dihasilkan dan melakukan manipulasi lebih lanjut, maka perlu diketahui mekanisme interaksi antara ion-ion yang datang dengan permukaan. Ion yang berasal dari plasma fokus, dibandingkan dengan sumber lain mempunyai perbedaan karena ion-ion ini merupakan plasma dengan suhu sangat tinggi. Interaksi yang terjadi merupakan interaksi antara plasma suhu tinggi dengan materi dan dengan proses pendinginan yang sangat cepat.⁽¹⁾ Proses macam ini belum banyak diketahui, dan diharapkan proses ini akan memberikan bahan baru dengan sifat-sifat fisis yang baru pula. Penelitian dengan menggunakan ion yang berasal dari alat plasma fokus untuk menghasilkan bahan unggul lapisan tipis telah banyak dikerjakan orang. Bahkan para peneliti sekarang telah berencana untuk mendirikan suatu pusat penelitian "international Centre for Dense Magnetized Plasma"⁽³⁾

Dalam makalah ini akan dilaporkan hasil studi tentang berkas ion yang dihasilkan oleh alat fokus plasma yang dimiliki PPNY.

TEORI

Ion yang dihasilkan oleh alat plasma fokus berasal dari efek gencet (pinch effect).

Selaput arus yang timbul di dinding belakang akan bergerak maju karena tekanan magnetik sebagai akibat interaksi arus dan medan magnet yang ditimbulkannya, sering dinamakan sebagai gaya $J \times B$, dengan J adalah rapat arus dan B adalah medan magnet yang ditimbulkannya.



Gambar 1. (a) Bagan Plasma Fokus
(b) Efek gencet

Setelah mencapai ujung anode selaput arus akan bergerak ke arah aksial, gerak selaput arus kepusat sumbu silinder ini dinamakan sebagai efek gencet (pinch effect). Karena pengaruh gencetan ini dan juga adanya anode maka ion-ion akan terdorong ke depan dengan kecepatan yang sangat tinggi. Saat terjadinya efek gencet akan diikuti dengan adanya perubahan fluks medan magnet, karenaampang lintang plasma akan mengecil. Tegangan yang timbul dalam plasma dapat dinyatakan sebagai,⁽⁴⁾

$$V = IR + \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

$$\phi = LI \quad (2)$$

$$V = I \left(R + \frac{dL}{dt} \right) + L \frac{dI}{dt} \quad (3)$$

Untuk rangkaian listrik konvensional L biasanya konstan, tetapi dalam plasma L berubah sebagai fungsi waktu. Faktor dL/dt dalam plasma akan memberikan sumbangan yang sangat besar terhadap V , sehingga tegangan yang timbul dalam plasma dapat mencapai 7V. Hal ini akan menyebabkan timbulnya ion-ion berkecepatan sangat tinggi.⁽⁵⁾

Untuk melukiskan gerak ion ini tidaklah mudah karena gencetan yang dialami biasanya tidak merata diseluruh permukaan, yang paling dominan biasanya gencetan terjadi pada beberapa posisi tertentu, sehingga menyerupai sebuah sosis. Disamping itu kondisi plasma yang dikungkung oleh selaput arus juga akan sangat berpengaruh

terhadap kecepatan gencetan. Kalau plasma yang dikungkung merupakan plasma yang sempurna (fully ionized), maka tidak ada medan magnet yang dapat menembus masuk kedalam plasma, medan magnet hanya berada diluar. Tekanan magnetik hanya akan dilawan oleh tekanan termal plasma. Kalau plasma tidak bersifat sempurna (partially ionized), maka ada medan magnet yang dapat masuk menembus ke dalam, sehingga akan memberikan perlawanan terhadap tekanan magnetik dari luar, hal ini akan memperlambat gencetan.

TATA KERJA

Dalam percobaan ini digunakan alat plasma fokus dengan panjang elektrode 16 cm, jarak elektrode dalam (anode) ke elektrode luar (katode) 3,5 cm. Untuk memberikan daya digunakan dua buah kapasitor buatan Maxwell yang dipasang secara paralel, dengan spesifikasi masing-masing 20 kV, 14 μ F. Elektrode luar bukan merupakan sebuah silinder, tapi berbentuk ruji-ruji sebanyak enam buah. Dengan menggunakan ruji-ruji akan mengurangi gesekan antara selaput arus dengan katode, sehingga akan memperbaiki bentuk lengkungan selaput arus.

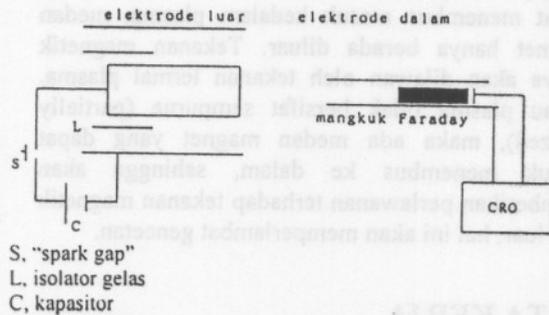
Untuk mengukur arus berkas ion digunakan mangkuk Faraday buatan sendiri. Merupakan sebuah kawat yang dimasukkan kedalam pipa gelas, satu ujungnya terbuka dan ujung lainnya dihubungkan dengan sebuah BNC. Panjang pipa gelas 17 cm, diameter luar 4 mm dan diameter dalam 2 mm, panjang kawat 5,5 cm.

Operasi plasma fokus dilakukan pada kondisi optimal (terjadi "focusing" yang kuat), dengan menggunakan gas argon pada tekanan gas 0,8 mbar dan tegangan kapasitor 12,5 kV. Gas dialirkan secara kontinyu dan juga pemompaan, sehingga gas selalu tergantikan.

Pengukuran dengan mangkuk Faraday dilakukan dengan mengatur jarak mangkuk dari permukaan elektrode dalam. Sinyal yang ditangkap oleh mangkuk Faraday kemudian ditampilkan pada layar CRO. Antara mangkuk Faraday dan CRO dipasang atenuator sebesar 20 kali.

Karena lucutan gas yang terjadi di dinding belakang plasma bersifat statistik, maka kualitas selaput arus yang terbentuk tidak selalu bersifat simetri, hal ini akan mempengaruhi efek gencet yang dihasilkan.⁽⁶⁾ Berkas ion yang dihasilkan bersifat tidak konsisten. Sehingga untuk tiap kali

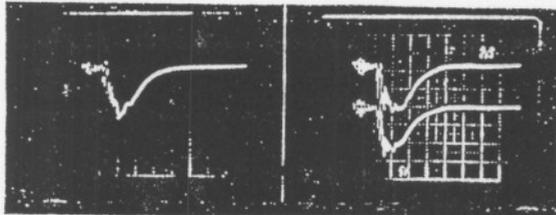
terjadi lucutan tidak selalu teramati adanya sinyal pada CRO.



Gambar 2. Tata letak percobaan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Eksperimen dikerjakan dengan meletakkan ujung gelas mangkuk Faraday pada posisi yang berbeda dari ujung elektrode dalam, mulai pada jarak 9 cm sampai dengan 16 cm. Karena jarak mangkuk Faraday dari ujung gelas 12,5 cm, maka jarak efektif ujung elektrode ke mangkuk Faraday menjadi 21,5 cm sampai dengan 28,5 cm. Beberapa hasil rekaman pada layar CRO, ditampilkan dibawah ini.



Gambar 3. Rekaman pulsa dari mangkuk Faraday

Berdasarkan gambar yang terekam dalam film, maka dapat dipelajari beberapa hal.

Garis mendatar pada permulaan kurva sampai dengan permulaan terjadinya lekukan, menunjukkan fase aksial, radial dan "focusing" (mulainya pembentukan ion yang dipercepat). Berdasar gambar yang ada fase ini berlangsung antara 2,2 sampai dengan 2,4 μ det.

Hal ini sesuai dengan pengamatan yang telah banyak dilakukan, agar terjadi "focusing" ⁽⁷⁾, maka kecepatan selaput arus pada fase aksial 3 sampai dengan 15 cm/ μ det dan kecepatan pada fase radial 10 sampai dengan 50 cm/ μ det, bergantung pada

tekanan gas isian dan tegangan terpasang pada kapasitor. Untuk plasma fokus yang digunakan, dengan panjang elektrode 16 cm dan diameter 2 cm, maka waktu yang diperlukan untuk menjalani kedua fase tersebut berkisar antara 1,1 μ det sampai dengan 5,4 μ det.

Kecuali pada beberapa lucutan tidak terekam adanya lekukan, hal ini mungkin disebabkan tidak meratanya selaput arus yang terbentuk di dinding belakang sehingga tidak terjadi "focusing".

Untuk menentukan jumlah ion yang disemburkan kedepan dengan menggunakan mangkuk Faraday, sulit untuk dilaksanakan, karena harus diketahui distribusi ionisasi, berapa banyak ion +1,+2,+3, dan seterusnya. Hal ini dapat dikerjakan bila suhu plasma diketahui, sehingga distribusi ionisasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Saha.

Pada setiap gambar terlihat adanya ekor, hal ini disebabkan adanya ion-ion Cu yang berasal dari permukaan anode. Ion-ion Cu ini terhambur dari permukaan anode karena efek "sputtering" oleh berkas elektron cepat yang menuju ke anode. Adanya ion-ion Cu juga dapat terlihat secara visual, dengan adanya lapisan tipis Cu yang menempel dipermukaan gelas.

Untuk menentukan distribusi ion yang terhambur, dapat dibuat beberapa perandaian,

1. Kalau seandainya hamburan ion lurus kedepan, maka jumlah ion yang tertangkap oleh mangkuk Faraday akan selalu tetap tidak bergantung pada posisi detektor.
2. Kalau hamburan ion bersifat isotrop, maka intensitas ion terhambur akan memenuhi hukum $1/R^2$.
3. Kalau hamburan bersifat tidak isotrop, maka tidak akan dipenuhi hukum $1/R^2$, kemungkinan akan dipenuhi hukum $1/R^n$, dengan $0 < n < 2$.

Selanjutnya akan dihitung nilai n berdasarkan data yang ada, dengan menggunakan regresi linear.

Arus teramati (S) sebanding dengan $1/R^n$

$$S = K/R^n$$

K merupakan tetapan kesebandingan

$$\ln S = \ln K - n \ln R$$

kemudian dicari hubungan linear antara $\ln S$ dan $\ln R$. R menunjukkan jarak mangkuk Faraday dari permukaan elektrode dalam dan S dihitung dari luasannya kurva pada gambar. Karena S hanya merupakan rentangan waktu dari tegangan yang

tertangkap oleh mangkuk Faraday, jadi besarnya sebanding dengan arus berkas ion.

R(cm)	S
21,5	349
22,5	298
23,5	308
24,5	254
25,5	198
26,5	131
27,5	379
28,5	273

Maka akan didapat nilai $n = 1,02$

Dalam percobaan juga diamati arus berkas ion pada posisi mangkuk Faraday yang tetap (di posisi 21,5 cm dan 28,5 cm) masing-masing untuk tiga kali lucutan. Didapatkan hasil,

$$R = 21,5 \text{ cm}, S = 224,5; 349; 334$$

$$R = 28,5 \text{ cm}, S = 281, 121, 273$$

Didapat deviasi standard untuk masing-masing posisi 22,5% dan 40%. Rata-rata 31,25%. Deviasi yang besar ini disebabkan karena sifat statistik lucutan awal yang terbentuk dan juga ketidak stabilan selaput arus⁽⁸⁾.

KESIMPULAN

Berdasar hasil eksperimen dapat dilihat waktu tempuh selaput arus untuk mencapai keadaan fokus cukup konsisten, berkisar antara 2,2 sampai dengan 2,4 μ detik, tetapi "focusing" mempunyai deviasi standard yang cukup besar 31,25%. Hal ini mungkin disebabkan ada bagian yang kotor sepanjang elektrode sehingga mengganggu kesimetrian selaput arus, sehingga kompresi plasma tidak optimal dan konsisten. Untuk menentukan intensitas berkas ion secara kuantitatif diperlukan detektor jenis lain, umpamanya spektrometer massa.

Adanya ion-ion Cu yang berasal dari anode akan sangat mengganggu dalam pembuatan lapisan tipis. Hal ini mungkin dapat dikurangi dengan menggunakan anode berongga. Tetapi hal ini mungkin akan mengubah distribusi tenaga ion yang terhambur, karena konfigurasi medan listrik didepan anode akan sangat berubah, sehingga perlu kajian lebih lanjut.

Dari nilai $n=1,02$, menunjukkan hamburan ion dari plasma fokus bersifat tidak isotrop,

hamburan mempunyai kecenderungan kedepan lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini para penulis mengucapkan terima kasih kepada Setyo Atmodjo, Kasiyo dan juga Giri Slamet atas segala bantuannya sehingga percobaan ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. GRIMES,R.; Chemists Take the Sandwich Course, New Scientist, 12 October 1991.
2. GRIBKOV,V.A.; Dense Plasma Focus As a Tool for Material Science and Technology, J.Moskov Phys.Soc.3,231(1993)
3. BERNARD,A., et.al.; International Centre for Dense Magnetized Plasmas :A Proposal,(1993)
4. GLASSTONE,S.,R.H.LOVBERG; Controlled Thermonuclear Reaction, Van Nostrand Reinhold Company,New York (1960).
5. MATHER,J.W.,P.J.BOTTOMS;Characteristic of the Dense Plasma Focus Discharge,Phys. Fluids 11,611(1968).
6. KROMPHOLZ,H.,ET.AL.;Formation of the Plasma Layer in a Plasma Focus Device, Phys.Lett.77A, 246(1980)
7. KECK,J.;Current Speed in a Magnetic Annular Shock Tube, Phys. Fluids 7,S16(1964).
8. BILBAO,L.,H.BRUZZONE; Instability of Current Sheath in Plasma Focus Devices, Phys.Lett.101A, 261 (1984).

TANYA-JAWAB

Dr Pramudita Anggraita

- Distribusi ion yang diukur mengapa bukan sebagai fungsi sudut ?

Suryadi

- Dalam penelitian ini hanya dilakukan pengukuran distribusi ion sebagai fungsi jarak. . Sebab CRO yang dipunyai hanya bersaluran tunggal, sehingga tidak dapat digunakan untuk mendeteksi beberapa gejala secara serempak. Sehingga tidak dapat diukur distribusi sebagai fungsi sudut.