

## KONSTRUKSI DAN KARAKTERISASI UNJUK KERJA PERANGKAT UJI SUMBER ION SIKLOTRON

Silakhuudin, Sunarto dan Sukidi

Pusat Sains dan Teknologi Akselerator BATAN

Email: silakh@batan.go.id

### ABSTRAK

**KONSTRUKSI DAN KARAKTERISASI UNJUK KERJA PERANGKAT UJI SUMBER ION SIKLOTRON.** Pembuatan suatu perangkat untuk menguji suatu sumber ion buatan sendiri telah dilakukan, dan eksperimen untuk mengamati karakteristik perangkat tersebut juga sudah dikerjakan. Eksperimen ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah sistem perangkat pengujian tersebut telah siap digunakan untuk penentuan parameter-parameter operasi sumber ion yang optimum. Pengamatan telah dilakukan terhadap unjuk kerja komponen per komponen dan juga pengamatan unjuk kerja dari sistem perangkat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat tersebut mampu untuk menguji sumber ion dengan kondisi kevakuman  $5 \times 10^{-6}$  Torr, pendaran plasma ionisasi dapat teramati, medan magnet maksimum di pusat ionisasi sebesar 1000 gauss. Unit catu gas mempunyai abnormalitas dalam nilai bukaan untuk memulai adanya aliran gas, tetapi unjuk kerjanya konsisten. Dengan data-data tersebut dapat disimpulkan bahwa perangkat siap untuk eksperimen dasar dalam rangka menentukan parameter-parameter operasi yang optimum dari sumber ion.

**Kata kunci:** siklotron, sumber ion, perangkat uji, karakterisasi

### ABSTRACT

**CONSTRUCTION AND PERFORMANCE CHARACTERIZATION OF THE CYCLOTRON ION SOURCE TESTING DEVICE.** A device to test a homemade ion source has been constructed, and the experiments have been conducted to observe the characteristics of the device. The experiments are intended to determine whether the system was ready for testing to determine the optimum operating parameters of the ion source. Observations have been made to the performance of a component by component and also to the performance of device system. The test results indicate that the device is able to test the ion source with the vacuum condition of  $5 \times 10^{-6}$  Torr, the plasma ionization luminescence can be observed, the maximum magnetic field at the center of the ionization of 1000 gauss. Gas supply unit has abnormality in its opening value to start the flow of gas, but the performance still be consistent. With these data it can be concluded that the device is ready for basic experiments in order to determine the optimum parameters of operation of the ion source.

**Keywords:** cyclotron, ion source, testing device, characterization.

### PENDAHULUAN

Suatu sumber ion untuk siklotron yang dibuat terlebih dahulu perlu diuji dalam perangkat uji yang parameter-parameter operasi mendekati atau pada nilai yang dapat diekstrapolasi kepada nilai-nilai parameter operasi sumber ion di fasilitas siklotron. Untuk maksud itu, telah dibuat suatu perangkat yang akan dipakai untuk menentukan nilai parameter-parameter operasi yang optimum dari sumber ion untuk siklotron melalui eksperimen-eksperimen yang akan dilakukan. Kegiatan pengujian terhadap perangkat tersebut sudah dilakukan yang dimaksudkan untuk mengetahui kesiapan perangkat tersebut dalam eksperimen uji kinerja sumber ion.

Sebagaimana sudah disajikan pada makalah sebelum ini, untuk keperluan pembuatan perangkat

ini telah dilakukan penentuan nilai parameter-parameter dari perangkat tersebut adalah catu gas hidrogen 0–50 cc/menit, tegangan *puller* hingga 10 kV dan medan magnet hingga 1000 gauss<sup>[1]</sup>. Perangkat ini juga dilengkapi dengan jendela untuk melihat pendaran di ruang plasma sumber ion. Berdasar penentuan tersebut sekarang sudah diwujudkan pembuatan komponen-komponen penyusun dari perangkat tersebut dan sudah diintegrasikan dalam suatu sistem perangkat uji. Pada makalah ini disajikan realisasi hasil pembuatan dan pengujian komponen-komponen dari perangkat tersebut serta pengujian sistem perangkat. Tidak dibahas disini tentang subperangkat bantu misalnya subperangkat vakum, subperangkat pendinginan air dan subperangkat catu tegangan katoda karena jenis subperangkat ini bukan hal yang spesifik.

## TATA KERJA

### Komponen-komponen

Pembuatan komponen mengacu pada rancangan yang sudah ditentukan dalam tahap penentuan parameter komponen yaitu <sup>[1]</sup>:

1. Subperangkat tabung wadah sumber ion dengan ruang vakum di dalamnya, ukurannya dapat mawadahi sumber ion (SI), dilengkapi dengan viewer untuk memonitor pendaran ionisasi di head sumber ion. Subperangkat ini juga dilengkapi komponen mekanik interface vakum yang memungkinkan sumber ion dapat digerakkan tetapi tetap terjaga kevakumannya.
2. Magnet-elektro yang ukuran fisiknya sudah ditentukan sesuai dengan ukuran tabung ruang vakum
3. Suatu subperangkat catu gas yang dapat diatur laju alir gas dan mencatu gas hidrogen dalam daerah laju alir sekitar 10 cc/menit.

### Tahapan Pembuatan

1. Pembuatan tabung wadah sumber ion yang dihubungkan dengan sistem vakum dan pembuatan komponen mekanik *interface* vakum dan instalasinya pada tabung wadah.
2. Pembuatan magnet elektro untuk membangkitkan magnet di *head* SI.
3. Instalasi komponen-komponen subperangkat catu gas yang terdiri atas tabung penyedia gas, pengatur aliran dan pengukur catu gas.

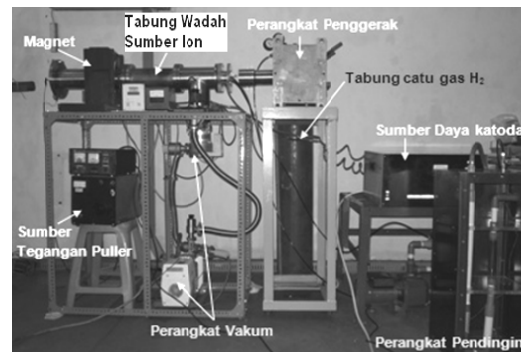
### Tahapan Pengujian

1. Pengujian tabung ruang vakum dan komponen mekanik *interface* vakum untuk menilai kemampuan kevakuman.
2. Pengujian magnet-elektro terhadap kemampuan pembangkitan medan magnet.
3. Pengujian subperangkat catu gas dalam pengaturan aliran dan monitoring besarnya laju gas.
4. Pengujian kinerja sistem perangkat diuji dalam pembangkitan plasma dan fungsi dalam produksi berkas ion. Pengujian fungsi secara kualitatif yaitu terdeteksinya secara visual adanya plasma melalui *viewer* dan secara kuantitatif terukurnya arus berkas pada penangkap berkas.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Konstruksi Perangkat Keseluruhan

Sesuai dengan data desain, telah dibuat komponen-komponen dan dikonstruksi perangkat untuk optimasi parameter operasi SI seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Deskripsi dari komponen-komponen serta fungsinya diuraikan sebagai berikut:



Gambar 1. Foto perangkat uji sumber ion (tidak terlihat dalam foto adalah perangkat catu gas)

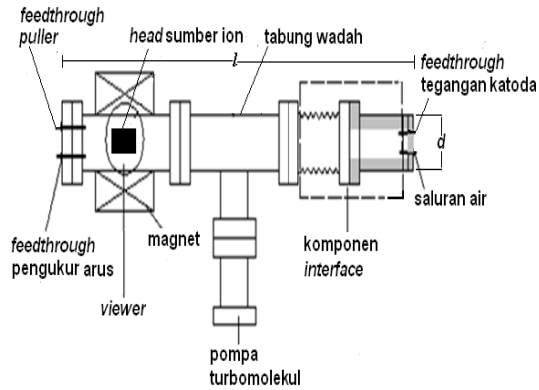
Pada perangkat ini, sumber ion (SI) yang hendak diuji parameter-parameternya optimumnya ditempatkan pada tabung wadah SI dalam kondisi kevakuman hingga tingkat  $10^{-6}$  Torr oleh operasi pompa vakum turbomolekul dan pompa vakum mekanik. Catu tegangan katoda mencatu tegangan hingga minimum 2 kV terhadap anoda (yang bertegangan tanah) pada katoda SI yang berada di *head* nya. Subperangkat catu gas mengalirkan gas  $H_2$  ke ruang ionisasi yaitu di rongga anoda pada *head* SI. Dalam subperangkat ini terdapat *variable valve* yang mengendalikan laju aliran gas secara halus dan besarnya laju aliran dimonitor melalui suatu *flowmeter*. Kombinasi antara tegangan katoda-anoda dan medan magnet yang ditimbulkan oleh magnet-elektro akan timbul ionisasi atom hidrogen di rongga anoda yang kemudian terbentuk ion  $H^-$  dan  $H^+$ . Tegangan *puller* hingga hingga 10 kV akan menarik ion-ion  $H^-$  keluar dari rongga anoda dan ditangkap oleh pengukur arus ion. Dengan perangkat ini parameter-parameter operasi yaitu debit gas, tegangan katoda, kuat medan magnet dan tegangan antara *puller*-anoda dapat divariasikan untuk mendapatkan nilai-nilai optimumnya.

### Konstruksi dan Pengujian Komponen

#### 1. Komponen tabung wadah sumber ion

Tabung wadah SI berbentuk silinder terbuat dari *stainless-steel*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

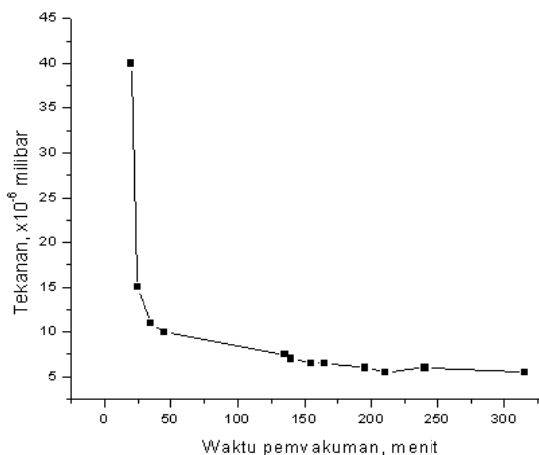
Untuk mawadahi sumber ion yang berukuran panjang 70 cm dan diameter 8 cm maka tabung ini dibuat berukuran lebih besar dari ukuran tersebut yaitu panjang  $l=90$  cm dan berbentuk silinder berdiameter  $d=10$  cm dari bahan *stainless steel*.



Gambar 2. Tabung wadah sumber ion, komponen *interface*, *viewer* dan pompa turbomolekul

Pada bagian pangkal kanan tempat sumber ion dimasukkan dan pada bagian ujung kiri dipasang dua *feedthrough* untuk tegangan *puller* dan pengukur arus ion. Di bagian arah sisi dari *head* sumber ion dipasang suatu *viewer* dari gelas pleksi untuk melihat pendaran pada *slit* anoda sebagai indikator bahwa plasma terbentuk di dalam rongga anoda sumber ion. Tabung wadah SI ini divakumkan oleh pompa vakum turbomolekul dan yang di *back-up* oleh pompa mekanik.

Pengujian telah dilakukan untuk memeriksa kesiapan sistem vakum pada perangkat uji sumber ion dalam eksperimen optimasi sumber ion. Dengan mengoperasikan sistem vakum tinggi pada sistem perangkat uji sumber ion, diperoleh kondisi vakum seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Lama pemvakuman kevakuman dari tabung wadah sumber ion

Dari data pengujian dapat diperoleh data karakteristik tabung wadah tersebut yaitu

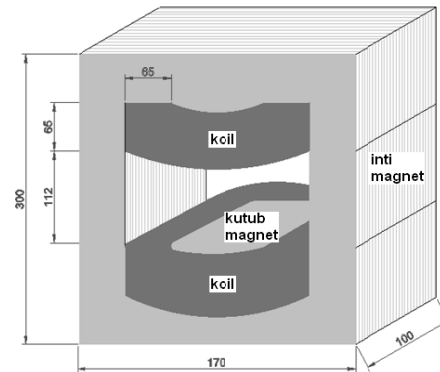
1. Kevakuman mencapai  $5 \times 10^{-6}$  mbar, ini berarti bahwa tidak ada kebocoran yang *significant*
2. Setelah pendingin air dijalankan kevakuman tidak mengalami penurunan yang berarti

tidak ada kebocoran pendingin air atau efek pengembunan pada ruang vakum.

3. Diperlukan waktu kurang lebih 3 jam untuk untuk mencapai kevakuman maksimum  $5 \times 10^{-6}$  mbar. Dalam operasi siklotron pemercepat ion negatif diperlukan kevakuman dalam daerah  $10^{-7}$  mbar sebelum gas hidrogen dimasukkan. Ini berarti tingkat kevakuman perangkat pengujian ini masih perlu ditingkatkan jika diinginkan eksperimen uji sumber ion yang sama dengan kondisi kevakuman pada siklotron. Peningkatan kevakuman dapat dilakukan dengan menambah satu unit vakum tinggi yang paralel dengan pompa turbo molekul yang sudah terpasang.

## 2. Magnet-elektro

Dengan mempertimbangkan ukuran-ukuran *head* sumber ion dan tabung wadah sumber ion di sekitar *head* serta dengan melihat ukuran plat besi untuk inti magnet, maka dibuatlah ukuran inti magnet-elektro seperti pada ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4. Magnet-elektro (ukuran dalam mm)

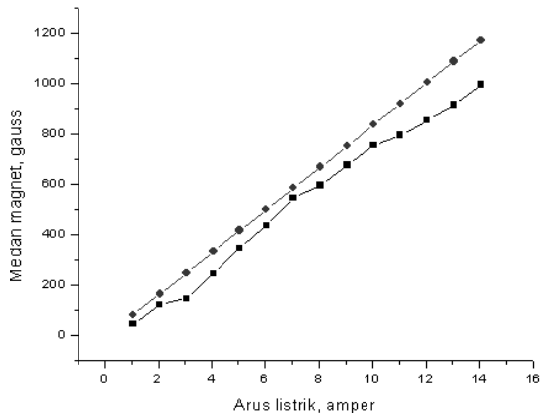
Inti magnet disusun dari besi-besi trafo dalam konfigurasi rongga bentuk H penuh dengan kutub magnet ada di tengah yang dikelilingi oleh koil untuk aliran arus listrik. Penyusun inti magnet adalah plat-plat besi trafo berketebalan 0,5 mm dan koil terdiri 750 lilitan dari kawat tembaga berdiameter 1 mm.

Pengujian telah dilakukan untuk memeriksa kesiapan komponen magnet-elektro dalam membangkitkan medan magnet pada perangkat uji sumber ion. Dengan mencatu arus listrik pada koil magnet-elektro diperoleh data-data pengukuran kuat medan magnet di titik pusat *gap* (yang nantinya sama dengan titik pusat rongga anoda). Hasil pengukuran dibandingkan dengan formulasi <sup>[2]</sup>

$$B = \frac{\mu_0 NI}{g} \quad (1)$$

dengan  $B$  medan magnet dalam Tesla,  $\mu_0$  permeabilitas ruang hampa =  $4\pi \times 10^{-7}$ ,  $N$  jumlah

lilitan koil magnet-elektro,  $I$  arus pembangkitan dalam Ampere dan  $g$  lebar celah di antara dua kutub magnet. Data pengukuran dan perhitungan ditunjukkan pada Gambar 5.

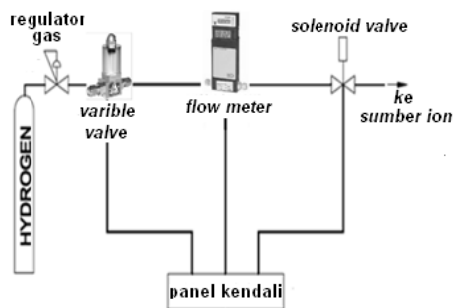


Gambar 5. Medan magnet dari magnet-elektro sebagai fungsi arus listrik pembangkitan, —■— hasil pengukuran dan —●— hasil perhitungan formulasi (1)

Hasil perhitungan sedikit di atas hasil pengukuran, dan ini normal terjadi. Pertama adanya efek *fringing field* yang menyebabkan pengurangan medan magnet di tengah. Kedua karena sebenarnya pada formulasi (1) ada penyederhanaan pada penyebutnya yang mestinya bukan saja  $g$  tetapi  $g + l/\mu$  di mana  $l$  panjang lintasan garis gaya magnet mengelilingi celah-kutub magnet - inti magnet, dan  $\mu$  permeabilitas besi yang nilainya besar sekali sehingga faktor  $l/\mu$  menjadi kecil. Secara umum dapat dikatakan bahwa pola kenaikan medan magnet hasil pengukuran yang mengikuti pola hasil perhitungan menunjukkan bahwa desain magnet elektro sudah benar.

### 3. Unit catu gas

Rangkaian unit catu gas diperlihatkan pada Gambar 6.

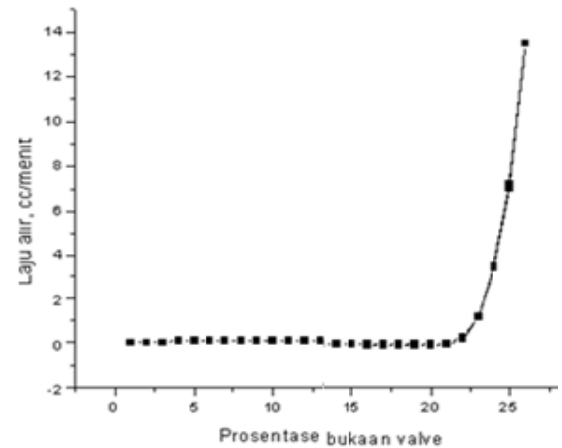


Gambar 6. Unit catu gas

Komponen-komponen penting di dalam dalam unit ini adalah *variable valve* dan *flow meter*. *Variable*

*valve* tipe *proportionating solenoid valve* (PSV) buatan Aalborg telah dipilih dalam konstruksi ini. Dalam operasi catu gas menggunakan botol persediaan gas bertekanan 2000 psi dan laju alir bekerja pada kira-kira 10 cc/menit, sehingga laju alir per tekanan adalah sebesar 0,005. Dalam konstruksi ini digunakan PSV1 yang mempunyai koefisien laju alir 0,009<sup>[3]</sup>. Untuk *flow meter* digunakan *gas flow meter* (GFM) juga buatan Aalborg, dan telah dipilih GFM 17 yang mempunyai daerah operasi laju alir 0-50 cc/menit<sup>[4]</sup>, yang ini sesuai kebutuhan untuk laju alir operasi sumber ion kira-kira 10 cc/menit.

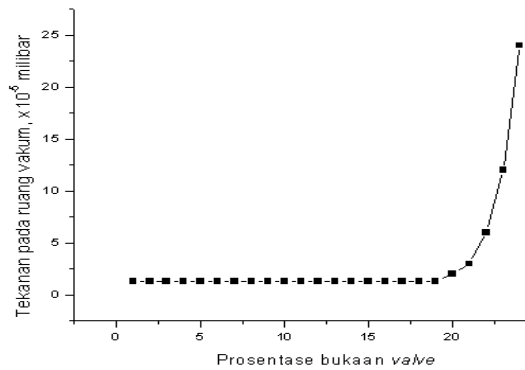
Hasil pengujian unjuk kerja dari PSV ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Karakteristik laju alir fungsi prosentase bukaan *valve*

Dari kurva tersebut terlihat bahwa bukaan *valve* tidak segera berakibat adanya penunjukan aliran gas pada GFM setelah nilai bukaan *valve* di atas 20% terjadi indikasi adanya aliran gas. Kemungkinan pertama adalah sensitivitas dari GFM yang kurang pada aliran yang masih sangat kecil, atau kemungkinan kedua adalah prosentase bukaan *valve* PSV yang karena konstruksi mekaniknya memang belum memungkinkan adanya aliran gas yang lewat. Untuk menguji kemungkinan pertama tidak mudah karena berarti harus disediakan *flow meter* pembanding yang lebih sensitif. Kemungkinan kedua dapat diuji dengan melihat efek bukaan *valve* PSV terhadap kevakuman pada ruang vakum tabung pengujian sumber ion. Pada Gambar 8 ditunjukkan hasil pengujian dari kemungkinan kedua tersebut.

Dari Gambar 8 terlihat bahwa tekanan mulai naik atau kevakuman mulai turun ketika prosentase bukaan *valve* pada nilai 20, yang ini persis sama dengan pengaruhnya pada nilai laju alir gas. Jadi dapat disimpulkan bahwa *valve* PSV dan pipa saluran gas dari *valve* hingga ke msm mulai berfungsi ketika nilai bukaannya minimum sebesar 20%.



Gambar 8. Pengaruh bukaan valve terhadap tekanan ruang vakum

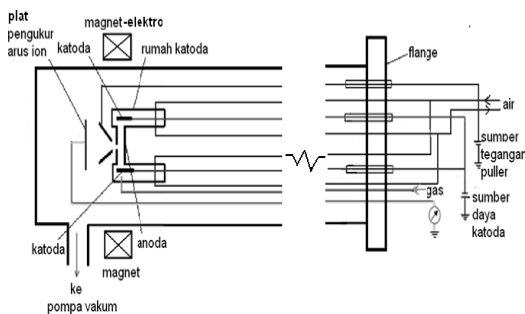
#### 4. Pengujian Sistem Perangkat

##### Pengujian fungsi dalam pembentukan plasma

Setelah aliran gas dinaikkan hingga 2 cc/menit, kevakuman turun dari semula  $5 \times 10^{-6}$  Torr menjadi  $3 \times 10^{-5}$  Torr. Setelah tegangan katoda dinaikkan hingga 1890 V, arus listrik magnet-elektro dinaikkan, teramati timbulnya pendaran yang terlihat pada slit anoda sebagai tanda terjadinya ionisasi di rongga anoda pada nilai arus 10 A, yang berdasarkan pengukuran dengan gaussmeter setara dengan 465 gauss. Terjadinya ionisasi juga diyakinkan dengan arus katoda sebesar 5 mA.

##### Pengujian fungsi dalam pembentukan arus berkas ion

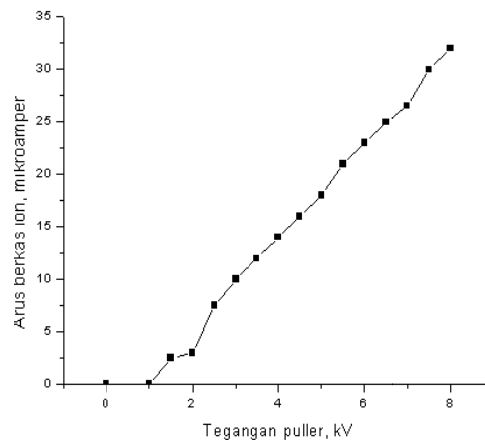
Pengujian ditunjukkan pada Gambar 9, yang merupakan bentuk skematik dari Gambar 1.



Gambar 9. Skema pengujian sistem sumber ion

Pembentukan arus berkas ion terjadi bila diberi tegangan *puller* untuk menarik ion-ion dari ruang anoda. Untuk pengujian dalam pembentukan berkas ion, sistem perangkat dilengkapi dengan *puller* bertegangan hingga 10 kV untuk menarik berkas ion dari *head* dan sepotong plat yang terisolasi untuk mengukur arus berkas ion. Pada nilai parameter sewaktu pengujian pembentukan plasma seperti

tersebut di atas, tegangan *puller* dinaikkan secara bertahap, hasilnya ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Arus ion sebagai fungsi tegangan *puller*.

Pada pengujian-pengujian selanjutnya yang dilakukan adalah membuat salah satu dari parameter operasi secara bergantian dinaik-turunkan, hasilnya adalah arus ion juga mengalami naik turun secara konsisten. Demikian juga apabila salah satu parameter dibuat nol maka arus ion juga menjadi nol. Dari data eksperimen-eksperimen tersebut ditunjukkan bahwa perangkat uji sudah terbukti dapat digunakan untuk menguji kemampuan sumber ion dalam menghasilkan arus berkas ion.

#### KESIMPULAN

Pengujian terhadap perangkat uji sumber ion baik pengujian masing-masing komponen maupun secara sistem telah dilakukan. Komponen tabung wadah sumber ion telah menunjukkan kevakuman pada batas minimum untuk pengujian dan peman-tauan pendaran pada ruang ionisasi telah berfungsi. Akan tetapi untuk standard pengujian seperti pada sistem siklotron, komponen ini masih perlu penambahan unit pompa vakum tinggi. Karakteristik magnet-elektro sesuai dengan desain. Unit catu gas sedikit menunjukkan abnormalitas yaitu gas mengalir setelah nilai bukaanannya sudah mencapai 20%, walau demikian karakteristiknya menunjukkan konsistensi sehingga tidak akan mengganggu operasional pengujian. Pengujian secara keseluruhan sistem perangkat menunjukkan bahwa untuk maksud pengujian dasar, perangkat ini sudah berfungsi seperti yang diharapkan.

#### DAFTAR ACUAN

1. Silakhuudin, Slamet Santosa dan Sunarto, (2012), *Penentuan Parameter Komponen Perangkat Uji Sumber Ion Siklotron*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi

- Akselerator dan Aplikasinya, ISSN 1411-1349, Vol 14, PTAPB-BATAN, Yogyakarta Nopember 2012.
2. Neil Marks, (2006), *Conventional Magnets for Accelerators*, CERN of Accelerators School, Zakopane Oct 2006, <http://cas.web.cern.ch/cas/zakopane-2006/PDFs/Marks-Magnets.pdf>, diunduh 17 April 2014.
  3. Aalborg Catalogue 2014, Table 73 – Max Flow Rates and Cv Values for PSV, Aalborg Instruments, New York USA.
  4. Operating Manual GFM Mass Flow Meters 2010, Aalborg Instruments, New York USA.

---

### Tri Mardji Atmono

- Hubungan antara arus listrik dengan medan magnet yang dihasilkan tidak selalu linier tentu ada nilai jenuh pada arus tertentu, tergantung bahan magnet
- Saran untuk grafik 1 tidak perlu ditampilkan (hubungan antara waktu dengan tekanan vakum)

- Sebaiknya digunakan persamaan (hukum) yang ada untuk menentukan terjadinya discharge hingga timbul plasma yang melibatkan tegangan, tekanan gas dan besaran lainnya.

### Silakhuiddin

- Pada pengukuran medan magnet dari magnet elektro baru sampai arus 15 amper, jadi mungkin medan magnetnya belum jenuh.
- Saran akan dipertimbangkan
- Deteksi adanya plasma diindikasikan dengan adanya pendaran pada ruang ionisasi dan adanya arus katoda. Studi dengan menggunakan persamaan yang menyangkut parameter-parameter terjadinya plasma akan dikaji lebih lanjut.

### Imam Kambali

- Apakah besarnya arus ion akan berubah jika posisi puller dipindah-pindahkan?

### Silakhuiddin

- Pada perangkat uji sumber ion yang sekarang ada, belum dapat dioperasikan sistem penggerak untuk dapat merubah-ubah posisi head terhadap puller, sehingga belum dapat diketahui perubahan arus ion akibat perubahan posisi puller.