

KARAKTERISTIK ARUS BERKAS TERHADAP GAS STRIPPER PADA AKSELERATOR TANDEM 3MV

Taxwim, Djoko SP

Puslitbang Teknologi Maju, BATAN

Kiyoshi Mizuhashi

JAERI Takasaki JAPAN

ABSTRAK

KARAKTERISTIK ARUS BERKAS TERHADAP GAS STRIPPER PADA AKSELERATOR TANDEM 3 MV. Telah dilakukan eksperimen untuk menentukan karakteristik arus berkas terhadap gas stripper dan perhitungan kebolehdan charge state serta kehilangan energi ion akibat gas stripper pada akselerator tandem 3 MV di JAERI Takasaki Jepang. Gas stripper pada akselerator tandem berfungsi untuk mengubah ion negatif dari sumber ion menjadi ion positif. Gas stripper yang digunakan pada eksperimen ini adalah gas nitrogen, sedangkan jenis ion yang digunakan adalah ion hidrogen (H) dan ion helium (He). Hasil eksperimen berupa data tekanan optimum gas stripper pada tegangan 1 MV sebesar $7,5 \times 10^{-7}$ Torr (H^+), $1,8 \times 10^{-7}$ Torr (He^{1+}) dan $5,3 \times 10^{-7}$ Torr (He^{2+}); pada tegangan 2 MV sebesar 10×10^{-7} Torr (H^+); pada tegangan 2,5 MV sebesar $2,5 \times 10^{-7}$ Torr (He^{1+}), $9,0 \times 10^{-7}$ Torr (He^{2+}); pada tegangan 3 MV sebesar 13×10^{-7} Torr (H). Dari hasil perhitungan diketahui bahwa kebolehdan charge state terbesar untuk He = 2, N = 3, P = 3, Fe = 3 dan Au = 3. Hasil perhitungan kehilangan energi ion pada tegangan 3 MV akibat gas stripper adalah 0,8 keV untuk He, 7 keV untuk N, 11 keV untuk P, 12 keV untuk Fe dan 14 keV untuk Au. Hasil-hasil tersebut digunakan sebagai acuan untuk pengesetan operasi akselerator tandem.

Kata kunci : gas stripper akselerator tandem

ABSTRACT

CHARACTERISTIC OF BEAM CURRENT OF STRIPPER GAS ON 3 MV TANDEM ACCELERATOR.

The experiment for determining the characteristic of beam current of stripper gas and calculation the most probability of charge state and the energy loss of ions caused by the stripper gas of 3 MV tandem accelerator has been done at JAERI Takasaki Japan. Stripper gas in a tandem accelerator is used to exchange the negative ions produced by ion source into positive ions. In this experiment, nitrogen gas was used as stripper gas, while helium and hydrogen were used as ions beam. The result of the experiment is the optimum pressure of gas stripper at 1 MV are $7,5 \times 10^{-7}$ Torr (H^+), $1,8 \times 10^{-7}$ Torr (He^{1+}), $5,3 \times 10^{-7}$ Torr (He^{2+}); at 2 MV are 10×10^{-7} Torr (H^+); at 2.5 MV are $2,5 \times 10^{-7}$ Torr (He^{1+}), $9,0 \times 10^{-7}$ Torr (He^{2+}), and at 3 MV are 13×10^{-7} Torr (H^+). The result of calculation of most probable charge state are He = 2, N = 3, P = 3, Fe = 3, and Au = 3. The result of calculation of ion energy loss caused by stripper gas are 0,8 keV for He, 7 keV for N, 11 keV for P, 12 keV for Fe, and 14 keV for Au. The result of the experiment and calculation data are used for the reference of operations setting of tandem accelerator.

Key words : tandem akselerator gas stripper

PENDAHULUAN

Akselerator merupakan suatu alat untuk mempercepat berkas ion sehingga mempunyai energi tertentu (*energetic ion beam*).

Disamping reaktor nuklir yang sudah sejak lama dimanfaatkan, akselerator saat ini juga banyak digunakan untuk eksperimen di berbagai disiplin ilmu, seperti biologi, material elektronik, analisis lingkungan, dan sebagainya. Salah satu jenis akselerator yang banyak digunakan terutama untuk analisis lingkungan dan eksperimen lainnya adalah akselerator tandem. Akselerator tandem merupakan akselerator elektrostatik, yaitu akselerator yang

menggunakan medan elektrostatik sebagai medan pemercepat berkas ion. Komponen-komponen akselerator tandem terdiri dari sumber ion, magnet seleksi, sistem pemfokus, gas stripper, tabung akselerator, tegangan tinggi, dan sebagainya. Untuk dapat menghasilkan berkas ion sesuai dengan yang diperlukan dalam pemanfaatan akselerator tandem, maka dalam pengoperasian akselerator tandem biasanya dilakukan optimasi dari masing-masing komponen tersebut.

Gas stripper pada akselerator tandem sangat penting, digunakan mengubah muatan berkas ion dari sumber ion negatif menjadi ion positif. Gas

stripper ditempatkan pada terminal tegangan tinggi positif. Ion positif yang keluar dari gas *stripper* akan dipercepat untuk kedua kalinya oleh tegangan positif antara gas *stripper* dan *ground* pada ujung tabung pemercepat sehingga energinya menjadi berlipat. Gas Nitrogen biasanya digunakan sebagai gas *stripper* pada akselerator tandem, disamping gas Argon yang juga digunakan terutama jika sumber ion menggunakan jenis ion ^{14}C .

Ion positif yang keluar dari gas *stripper* pada umumnya terdiri dari berbagai *charge state* dan sebagai fungsi dari tekanan gas *stripper*. Sebelum akselerator tandem dioperasikan untuk tujuan pemanfaatan tertentu dengan jenis ion tertentu, maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan kebolehjadian terbesar *charge state* ion positif yang keluar dari gas *stripper* sebagai acuan untuk *setting* komponen-komponen lain seperti seleksi magnet, sistem pemfokus, magnet kemudi dan sebagainya. Disamping itu tekanan gas *stripper* perlu dioptimasi untuk memperoleh berkas ion dengan *charge state* tertentu. Dalam makalah ini dibahas tentang hasil eksperimen untuk menentukan karakteristik gas *stripper* dan perhitungan kebolehjadian *charge state* serta kehilangan energi ion akibat gas *stripper* pada akselerator tandem 3 MV di JAERI Takasaki Jepang.

DASAR TEORI

Seperti telah disebutkan di muka bahwa setelah melalui gas *stripper*, ion-ion negatif dari sumber ion menjadi ion-ion positif karena adanya pertukaran muatan (*charge exchange*) yang berlangsung di dalam gas *stripper*. Ion-ion positif yang keluar dari gas *stripper* biasanya tidak hanya satu jenis *charge state*, melainkan terdiri dari beberapa jenis *charge state*. Kebolehjadian terbesar *charge state* untuk media gas adalah sebagai berikut^[1,3,4]:

$$0,3 < q/z < 0,9 \quad (1)$$

Sedangkan *charge state* rata-rata adalah^[1]:

$$q(a) = \frac{Z \times \log\left(\frac{v}{m \times Z^{a1}}\right)}{\log(n \times Z^{a2})} \quad (2)$$

di mana $q(a)$: *charge state* rata-rata, z : nomor atom ion, v : kecepatan ion ($\times 10^6 \text{ ms}^{-1}$). Sedangkan nilai-nilai $m = 0,9$; $n = 7$; $a1 = 0,4$; $a2 = 0,3$ untuk gas nitrogen dan gas argon $q/z < 0,3$ sehingga *charge state* rata-rata menjadi^[1]

$$q(a) = 0,18 \times v \times Z^{1/2} \quad (3)$$

Dengan perhitungan seperti di atas akan didapat suatu nilai *charge state* yang akan dibandingkan dengan hasil eksperimen menggunakan sumber ion hidrogen dan helium.

Tekanan gas *stripper* juga memberikan kontribusi terhadap ion positif yang keluar dari gas *stripper*. Tekanan optimum gas *stripper* dapat dihitung sebagai berikut^[1,3,4]:

$$N_{max} = N_{in} \times \delta \times N_{opti} \quad (4)$$

dimana N_{max} : jumlah ion maksimum dari gas *stripper*, N_{in} : jumlah ion masuk ke dalam gas *stripper*, δ : tampang lintang *charge exchange* dan N_{opti} : jumlah optimum dari gas *stripper*.

Di samping memberikan kontribusi terhadap jumlah ion positif, gas *stripper* juga menyebabkan kehilangan energi (*energy loss*) ion akibat tumbukan pada gas *stripper*. Kehilangan energi tersebut tidak begitu besar dibandingkan terhadap energi ion dan dapat dihitung menggunakan persamaan sbb^[1,6]:

$$-\frac{dE}{dX} = 0,307 \times \frac{Z_{med} \times \rho_{med}}{A_{med}} \times Z_{inc}^2 \times F(u)$$

$$F(u) = \frac{u^2}{u^2 - 1} \ln \left[\frac{1,022 \times 10^6 (u^2 - 1)}{18 (\text{eV})} \right] - 1 \quad (5)$$

$$u = 1 + \frac{T (\text{MeV})}{931,5 M (\text{amu})}$$

dimana Z_{med} : jumlah elektron target, ρ_{med} : kerapatan target, A_{med} : jumlah elektron pada *incident ions* dan M : nomor massa *incident ions*.

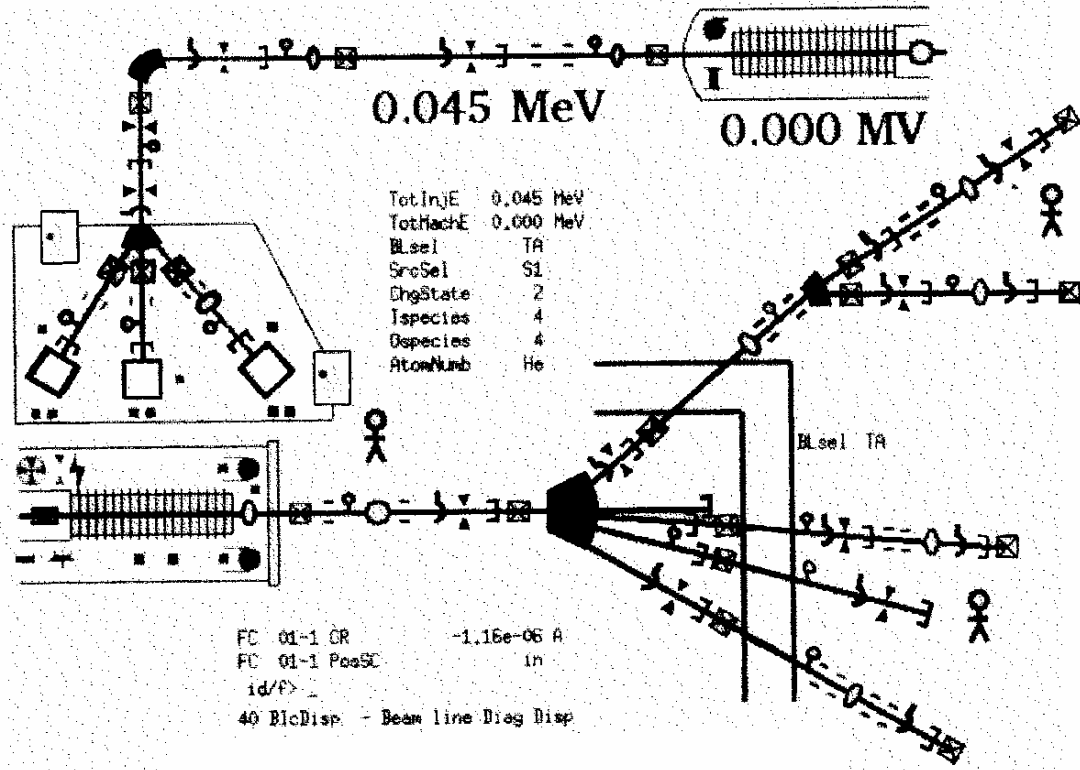
TATA KERJA

Eksperimen ini menggunakan akselerator tandem 3 MV dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Tegangan pemercepat : 0,4 - 3,0 MV
- Generator HV : tipe *pellet chain*
- *Charging current* : 250 μA
- Tabung akselerator : keramik dan titanium (*metal boarded*)
- Gas *stripper* : nitrogen
- Magnet penganalisa : *mass selectivity (M/dM)* > 100
- Sumber ion : alphetross

Untuk mengoptimasi pengaturan arus berkas maka perlu dilakukan persiapan, perhitungan dan pengaturan masing masing sistem. Diagram operasi akselerator tandem ditunjukkan pada Gambar 1. Pertama, ditentukan dahulu jenis sumber ionnya dan kemudian dihitung kebolehjadian terbesar *charge state* untuk acuan dalam pengaturan magnet penyeleksi. Selanjutnya dilakukan eksperimen menggunakan sumber ion tertentu yaitu gas helium. Generator HV diset pada tegangan 1 MV, kemudian tekanan gas *stripper* diatur, dan pada posisi tertentu

berkas ion dan tekanan gas *stripper* diukur. Langkah tersebut diulangi lagi pada tegangan pemercepat yang berbeda. Selain dengan sumber ion gas helium, eksperimen serupa juga dilakukan menggunakan sumber ion gas hidrogen. Dari eksperimen tersebut diperoleh data arus berkas ion pada berbagai tekanan gas *stripper* tegangan pemercepat tertentu. Data-data tersebut kemudian dibuat grafik antara arus berkas ion dengan tekanan gas *stripper* pada tegangan pemercepat tertentu.



Gambar 1. Diagram operasi akselerator Tandem 3 MV^[1,2].

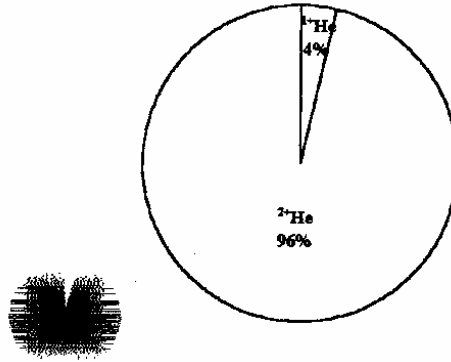
HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengoptimasi magnet selektor perlu diketahui dahulu *charge state* dari masing-masing gas dengan menghitung kebolehjadian *charge state* terbesar dari masing-masing gas menggunakan persamaan (3). Hasil perhitungan seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Hal ini sangat penting untuk mengoptimasi arus berkas ion dengan mengatur magnet selektor pada nilai yang sesuai dengan nilai kebolehjadian *charge state* terbesar dari sumber ion yang digunakan. Pada Gambar 2 ditunjukkan *charge state* dari helium yang digunakan sebagai sumber ion, sedangkan pada

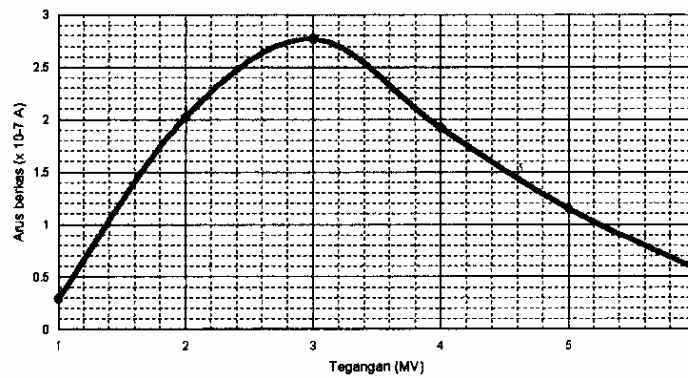
Gambar 3 ditunjukkan contoh distribusi *charge state* dari emas.

Tabel 1. Data perhitungan kebolehjadian *charge state* terbesar beberapa jenis ion^[1].

No.	Jenis ion	Kebolehjadian terbesar <i>charge state</i>
1	He	2
2	N	3
3	P	3
4	Fe	3
5	Au	3



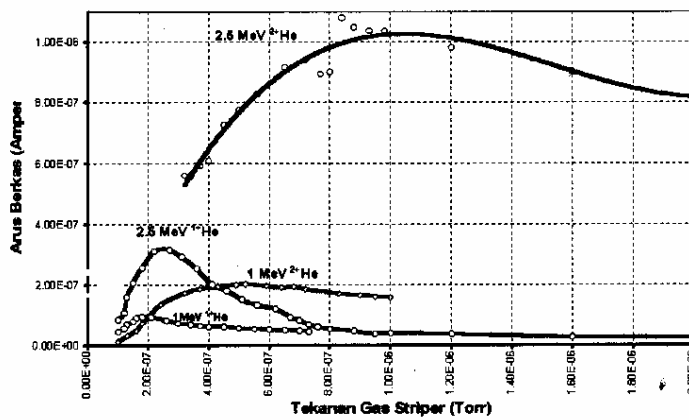
Gambar 2. Helium charge state pada tekanan $1,0 \times 10^{-6}$ Torr dan tegangan 2,5 MV^[1].



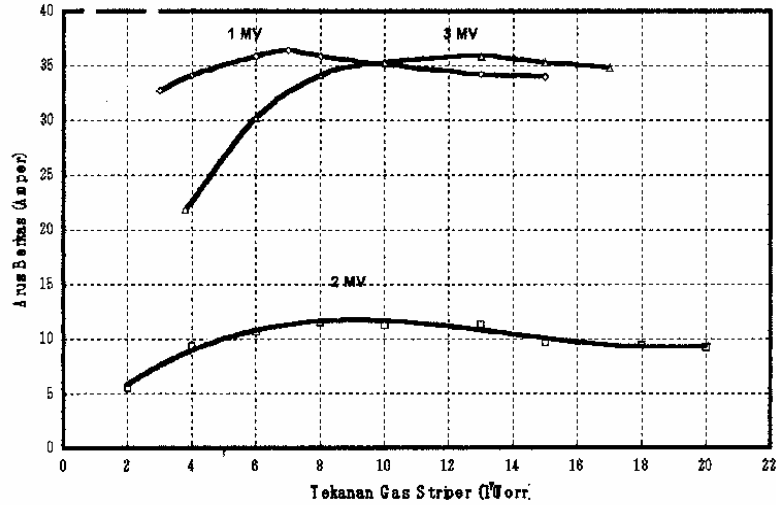
Gambar 3. Distribusi level muatan dari emas pada 3 MV^[1].

Selanjutnya eksperimen dilakukan dengan mengatur magnet selektor pada posisi kebolehjadian charge state terbesar dari sumber ion, kemudian dilakukan pengamatan tekanan gas stripper dan

arus berkas ion yang dihasilkan pada tegangan pemercepat tertentu sehingga diperoleh data yang dibuat grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Karakter pertukaran muatan (Helium)^[1].

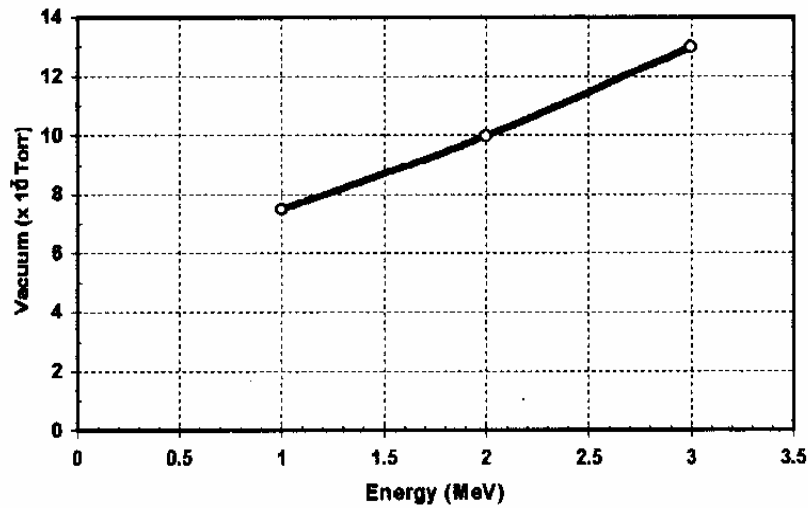


Gambar 5. Karakter pertukaran muatan (Hydrogen)^[1].

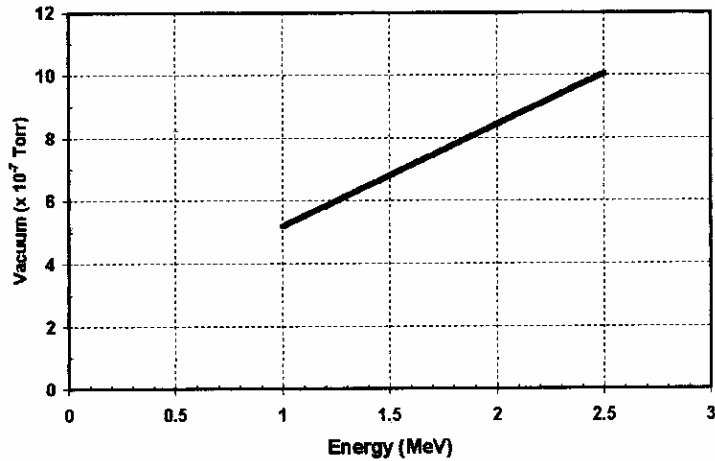
Dari data eksperimen tersebut dibuat grafik nilai optimum tekanan gas *stripper* untuk helium dan hidrogen seperti ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Dari hasil eksperimen tersebut di atas dibuat Tabel 2 dan 3.

Sedangkan kehilangan energi ion akibat gas *stripper* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5). Hasil perhitungan kehilangan energi ion untuk beberapa jenis ion adalah seperti tertampil pada Tabel 4.



Gambar 6. Grafik tekanan optimum gas *stripper* (Hidrogen)^[1].



Gambar 7. Grafik tekanan optimum pada gas stripper (Helium)^[1].

Tabel 2. Hasil dari data eksperimen^[1].

No.	Tegangan Tinggi (MV)	Hidrogen (H ⁺) 10 ⁻⁷ Torr	Helium (He ¹⁺) 10 ⁻⁷ Torr	Helium (He ²⁺) 10 ⁻⁷ Torr
1.	1	7,5	1,8	5,3
2	2	10	-	-
3	2.5	-	2,5	9,0
4	3	13	-	

Tabel 3. Hasil dari data perhitungan^[1].

No.	Tegangan Tinggi (MV)	Hidrogen (H ⁺) 10 ⁻⁷ Torr	Helium (He ¹⁺) 10 ⁻⁷ Torr	Helium (He ²⁺) 10 ⁻⁷ Torr
1.	1	7,5	1,8	5,3
2	2	$7,5 \times \sqrt{2} = 10$	-	-
3	2.5	-	$1,8 \times \sqrt{2,5} = 2,84$	$5,3 \times \sqrt{2,5} = 8,8$
4	3	$7,5 \times \sqrt{3} = 12,99$	-	-

Tabel 4. Kehilangan energi ion akibat gas stripper.

No.	Jenis ion	Energy loss (keV) pada 3 MV
1	He	0.8
2	N	7
3	P	11
4	Fe	12
5	Au	14

Kehilangan energi tersebut sangat kecil bila dibandingkan dengan tegangan pemercepat sebesar 3 MV sehingga kehilangan energi akibat gas *stripper* tersebut dapat diabaikan.

KESIMPUAN

Dari eksperimen yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk optimasi arus berkas perlu dihitung dahulu kebolehjadian *charge state* terbesar untuk ion yang digunakan sebagai acuan untuk pengaturan posisi magnet penyeleksi seperti ditunjukkan pada Tabel 1.
2. Hasil eksperimen gas *stripper* pada 1 MV diperoleh $7,5 \times 10^{-7}$ Torr (H^+), $1,8 \times 10^{-7}$ Torr (He^{1+}), $5,3 \times 10^{-7}$ Torr (He^{2+}) dst. (ditunjukkan pada Tabel 1)
3. Dari data eksperimen dapat diketahui bahwa tampang lintang dari pertukaran muatan tergantung pada kecepatan ion dan akan berbeda untuk ion yang berbeda.
4. Kehilangan energi ion oleh gas *stripper* sangat kecil dibanding dengan energi ionnya sehingga dapat diabaikan.

ACUAN

- [1] TAXWIM, K. MIZUHASHI, *Operation and Maintenance Technology for Electrostatic*

Accelerators, JAERI Final Research Report, Jaeri Takasaki Japan, 2003.

- [2] TIARA ANNUAL REPORT, *Advanced Radiation Technology Center*, Japan Atomic Energy Research Institute, 2000.
- [3] DMITRIEV I.S, AND NIKOLAEV V.S, *Gas Media*, Sov. Phys. JETP, 20, 409, 1965.
- [4] NIKOLAEV V.S AND DMITRIEV I.S, *Solid Media*, Phys. Lett. 28A, 277, 1968.
- [5] J.F. ZIEGLER AT AL, *The Stopping and Range of Ion in Solids*, Volume 1, Pergamon Press, 1985.

TANYA JAWAB

Utaja

- Mengapa muatan ion harus diubah muatannya?

Taxwim

- Karena prinsip kerja dari Tandem akselerator adalah mempercepat ion negatif dari sumber ion dan mempercepat ion tersebut untuk kedua kalinya maka perlu dirubah muatannya, jika tak dirubah maka tidak dapat dipercepat untuk kedua kalinya. Jadi harus dirubah.