

TEKNIK MEMVARIASI ENERGI BERKAS PROTON DARI AKSELERATOR ENERGI TETAP MENGGUNAKAN DEGRADER ALUMINIUM

Hari Suryanto, Silakhuddin

ABSTRAK

TEKNIK MEMVARIASI ENERGI BERKAS PROTON DARI AKSELERATOR ENERGI TETAP MENGGUNAKAN DEGRADER ALUMINIUM. Telah dilakukan eksperimen untuk memvariasi energi berkas proton dari akselerator berenergi tetap (fixed energy) dengan cara menurunkan energi berkas proton tersebut. Penurunan energi ini dilakukan dengan memasang degrader aluminium. Prinsip dasar yang digunakan adalah penyerapan energi berkas oleh material. Dengan menggunakan formulasi jangkauan proton dalam bahan dan data stopping power aluminium untuk partikel proton maka ketebalan aluminium untuk tiap-tiap energi keluaran yang dikehendaki dapat ditentukan. Sistem degrader ini telah disiapkan untuk memvariasi berkas proton dari energi 25,6 MeV menjadi berturut-turut 11, 12, 15, 17 dan 19 MeV. Energi-energi proton tersebut diperlukan untuk pembuatan radioisotop-radioisotop PET maupun untuk keperluan aktivasi lapisan tipis dalam pengujian korosi dan keausan bahan-bahan metal. Fungsi degrader dalam menurunkan energi berkas diuji dengan mengukur energi berkas setelah menembus degrader dengan menggunakan metode aktivasi susunan foil tembaga pada energi keluaran 11, 15 dan 19 MeV. Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya kesesuaian antara perhitungan dan pengukuran. Efek degrader terhadap kualitas dan kuantitas berkas diteliti dengan mengamati profil dan intensitas berkas, dan diperoleh sudut sebaran berkas sebesar $2,5^\circ$ untuk ketebalan degrader maksimum dan penurunan intensitas berkas rata-rata sebesar 10%.

ABSTRACT

TECHNIQUE TO VARY PROTON BEAM ENERGY OF A FIXED ENERGY ACCELERATOR USING ALUMINIUM DEGRADER. Various proton beam energies lower than currently available 25.6 MeV fixed energy are required for the production of PET radioisotopes and for the thin layer activation technique in wear and corrosion determination. Experiment to produce various proton beam energy from a fixed energy accelerator was carried out. The technique involved aluminium of various thickness which degraded the proton beam energy based on energy absorption by the material. Using the range formulation of proton beam in material and aluminum stopping power data for proton particle, the thickness of the aluminum degrader was determined for required energy output. Degrader system have been prepared for energy reduction from 25.6 MeV to 11, 12, 15, 17 and 19 MeV, respectively.

The degrader system was tested by measuring the energy output by stacked foils method. The measured energy output and the theoretical output was within $\pm 2.24\%$ agreement. The effects of degrader system on the beam quality and quantity were observed by measuring the profile and the beam intensity after degrader. The measurements showed 2.5 degrees of maximum beam convergency and 10% in average reduction of beam intensity.

PENDAHULUAN

Berkas proton yang dihasilkan dari suatu akselerator berenergi tetap (fixed energy) aplikasinya sangat terbatas. Hal ini disebabkan spektrum energinya tidak dapat mengakomodasi beberapa reaksi nuklir yang mempunyai puncak tampang lintang reaksi yang bervariasi. Dengan menambahkan fasilitas penurunan energi maka akselerator tersebut energi partikelnya dapat divariasikan sehingga aplikasinya dapat diperluas. Sebagai ilustrasi misalnya Siklotron BATAN yang mempunyai variasi energi sempit yaitu 24 hingga 27 MeV, aplikasinya hanya terbatas untuk pembuatan beberapa radioisotop misalnya Tl-201, Ga-67 dan I-123. Padahal radioisotop-radioisotop PET yang saat ini mempunyai kecenderungan meningkat penggunaannya hanya mungkin dibuat dengan menggunakan proton berenergi belasan MeV. Dalam bidang industri, Teknik Aktifasi Lapisan Tipis menggunakan berkas proton telah mulai digunakan untuk penyelidikan korosi dan keausan bahan-bahan metal [1]. Energi proton yang diperlukan untuk teknik ini bervariasi dari 10 hingga 25 MeV [1,2,3].

Teknik variasi energi proton dengan cara menurunkan energinya ini dapat dilakukan dengan memasang suatu degrader pada lintasan berkas proton dimana energi dan posisi berkas dikehendaki. Besarnya energi partikel tergantung dari ketebalan degrader, dan banyaknya variasi energi yang diperoleh sama dengan banyaknya variasi ketebalan degrader. Dengan teknik ini spektrum energinya tidak dapat kontinyu, namun dengan memberikan ketebalan degrader-degrader yang semakin tipis maka semakin memungkinkan membuat variasi energinya mendekati kontinyu.

Degrader adalah suatu keping metal yang berfungsi menyerap sebagian energi partikel yang menembusnya. Dalam eksperimen ini degrader yang digunakan adalah aluminium, dimana besarnya pengurangan energi pada degrader dihitung dengan formulasi jangkauan partikel dalam bahan dan data stopping power aluminium untuk partikel proton, sehingga ketebalan aluminium untuk tiap-tiap energi keluaran yang dikehendaki dapat dihitung.

Titik berat dari eksperimen ini antara lain menguji akurasi fungsi degrader dalam menurunkan energi berkas partikel proton dengan mengukur energi partikel setelah menembus degrader. Pengukuran energi ini dilakukan dengan menggunakan metode aktivasi susunan foil tembaga [2]. Disamping itu juga dilakukan pengamatan efek penyebaran berkas setelah melewati degrader. Pengamatan efek penyebaran berkas ini dilakukan untuk ketebalan degrader maksimal dengan harapan diperoleh penyebaran berkas yang maksimal pula. Degrader yang maksimal yang dimaksud disini adalah ketebalan degrader dimana energi keluaran yang dihasilkan seminimal mungkin yang masih dapat menghasilkan reaksi inti yang diperlukan dalam pengukuran energi partikel. Harga energi keluaran tersebut adalah 2,5 MeV hingga 3,5 MeV yang merupakan energi ambang pembentukan Zn-65 yang diperlukan dalam pengukuran energi berkas proton dengan menggunakan metode aktivasi susunan foil tembaga [2,6].

Hasil-hasil eksperimen ini diharapkan akan merupakan pembuka jalan atau langkah awal bagi pengembangan aplikasi akselerator khususnya Siklotron BATAN dalam pengembangan pembuatan radioisotop PET maupun untuk tujuan Aktivasi Lapisan Tipis dalam penyediaan korosi dan keausan.

TATA KERJA

Komponen-komponen pendukung.

Sistem Window

Sistem window ini terdiri dari rumah window yang dibuat dari bahan aluminium dan sekat window yang terbuat dari bahan foil havar. Foil havar ini adalah alloy Co42.5/Cr20/Ni13/Fe/W/Mo/Mn yang bersifat non magnetik dan mempunyai kekuatan tarik yang tinggi [7]. Tebal foil havar yang digunakan untuk sekat window ini adalah 25 mikro-meter. Rumah window ini dihubungkan secara terisolasi dengan saluran berkas sehingga arus berkas yang melewati window dapat dipantau. Window ini berfungsi mengeluarkan berkas dari ruang vakum melalui ujung saluran berkas siklotron ke udara luar, karena eksperimen ini dilakukan diluar saluran berkas. Penyambungan sistem window terhadap saluran berkas ini ditunjukkan pada Gambar 1.

Sistem Degradier

Sistem degradier terdiri dari rumah degradier yang dibuat dari bahan aluminium dan degradier yang dibuat dari foil aluminium. Ada lima jenis ketebalan degradier yang disediakan, yaitu : 1,42 mm; 1,77 mm; 2,04 mm; 2,50 mm dan 2,54 mm yang masing-masing berturut-turut diharapkan dapat menurunkan energi dari 25,6 MeV menjadi 19 MeV; 17 MeV; 15 MeV; 12 MeV dan 11 MeV. Susunan sistem degradier ini ditunjukkan pada Gambar 2.

Sistem Pengukur Energi berkas

Sistem pengukur energi berkas terdiri dari rumah foil yang dibuat dari bahan aluminium dan foil-foil tembaga murni berdiameter 12 mm yang terdiri dari dua macam ukuran ketebalan yaitu 0,05 mm dan 0,02 mm. Untuk keperluan pengukuran energi disediakan dua macam ketebalan susunan foil, yaitu pertama tiga buah susunan foil dengan ketebalan 0,45 mm yang disusun dari 5 buah foil 0,05 mm dan 10 buah foil 0,02 mm. Ketebalan 0,45 mm ini digunakan untuk mengukur energi keluaran 2,5 MeV, 11 MeV dan 15 MeV. Kedua, satu buah susunan foil setebal 0,95 mm yang terdiri dari 1 buah 0,5 mm, 5 buah 0,05 mm dan 10 buah 0,02 mm. Ketebalan 0,95 mm ini digunakan untuk mengukur energi keluaran 19 MeV. Sistem pengukur energi ini ditunjukkan pada Gambar 3.

Spektrometer Gamma

Spektrometer gamma ini merupakan bagian dari sistem pengukur energi berkas. Alat ini digunakan untuk mencacah aktifitas foil-foil tembaga pasca aktivasi.

PERCOBAAN

Pengujian Fungsi Degradier

Skema percobaan pengujian fungsi degradier ini ditunjukkan pada Gambar 4. Berkas partikel proton berenergi 25,6 MeV dengan arus sebesar 2,4 μA dilewatkan menembus window dan degradier.

Berkas yang keluar dari degrader ditumbukkan pada susunan foil tembaga dan arus berkas yang mencapai susunan foil ini sebesar $2 \mu\text{A}$, proses penembakkan ini dilakukan selama 60 menit. Akibat tumbukan ini susunan foil tembaga akan teraktifasi dan aktifitasnya diukur dengan menggunakan spektrometer gamma untuk menentukan energi partikel yang keluar dari degrader [2].

Pengamatan Profil dan Intensitas Berkas

Pengamatan profil berkas ini dilakukan seperti percobaan pertama, hanya posisi susunan foil tembaga diganti dengan bahan pertineks. Arus berkas yang digunakan dalam percobaan ini adalah $1 \mu\text{A}$ dalam waktu 0,5 menit. Akibat tumbukan ini akan terjadi cacat pada permukaan pertineks. Pola cacat pada permukaan pertineks ini setelah dibandingkan dengan pola cacat permukaan mula-mula (sebelum dipasang degrader) akan memberikan gambaran adanya efek penyebaran berkas akibat degrader. Sedangkan untuk mengetahui penurunan intensitas berkas dilakukan pengamatan arus berkas sebelum dan sesudah melewati degrader.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji fungsi degrader dalam menurunkan energi berkas secara eksperimen dan hasil perhitungan secara teoritis ditunjukkan pada Tabel 1. Uji fungsi degrader dalam menurunkan energi berkas secara eksperimen ini dilakukan dengan menentukan ketebalan susunan foil tembaga yang masih teraktifasi oleh berkas proton setelah berkas tersebut melewati degrader. Kemudian dengan menggunakan kurva energi awal proton sebagai fungsi kedalaman susunan foil tembaga yang dapat ditembus untuk menghasilkan reaksi $\text{Cu-65}(p,n)\text{Zn-65}$ pada Gambar 5 maka akan dapat ditentukan energi datangnya. Sedangkan perhitungan fungsi degrader secara teori dikerjakan dengan menggunakan formulasi jangkauan proton dalam material, yaitu :

$$x = \int_{E_0}^{E_1} \left[\frac{dE}{d(\rho x)} \right]^{-1} dE$$

dimana : x adalah tebal material; E_0 adalah energi proton datang ; E_1 adalah energi proton setelah melewati ketebalan material dan $dE/d(\rho x)$ adalah stopping power yang harganya tergantung energi proton dan bahan penyerap [4,5].

Dari Tabel 1 tersebut terlihat bahwa hasil eksperimen fungsi degrader dan hasil perhitungan menunjukkan harga yang bersesuaian. Hal ini dapat dimengerti karena degrader aluminium yang digunakan dalam eksperimen mempunyai nilai kemurnian yang tinggi yaitu 99%, sehingga adanya penyerapan berkas proton oleh unsur lain yang dapat menyebabkan adanya penyimpangan dalam pengukuran sangat kecil. Namun dari Tabel 1 tersebut juga terlihat bahwa nilai ketidak pastian hasil perhitungan lebih besar dari nilai ketidak pastian hasil pengukuran (nilai ketidak pastian perhitungan sebesar 1 MeV sedang nilai ketidak pastian pengukuran sebesar 0,4 MeV), hal ini disebabkan data stopping power aluminium yang digunakan dalam perhitungan mempunyai jangkauan energi yang cukup besar yaitu 1 MeV, sedangkan dalam pengukuran nilai ketidak pastian ini banyak ditentukan oleh ketebalan masing-masing foil tembaga dalam susunan foil pengukur energi. Semakin tipis foil-foil yang digunakan semakin kecil nilai ketidak pastiannya. Dalam pengukuran ini tebal foil dimana aktivitas mulai hilang adalah pada susunan foil-foil 0,02 mm.

Hubungan antara tebal degrader dengan energi keluarannya untuk energi awal proton 25,6 MeV ditunjukkan pada Gambar 6. Kurva hasil pengukuran dan perhitungan keduanya memberikan hasil yang hampir sama dengan nilai hasil pengukuran rata-rata sedikit dibawah hasil perhitungan.

Profil berkas yang teramati terlihat adanya penyebaran berkas setelah melewati degrader. Penyebaran berkas maksimum yang terjadi adalah 2,5 derajat, sehingga untuk bahan sasaran yang berjarak 35 mm dari degrader hanya akan memberikan efek penambahan diameter berkas sebesar 3 mm. Harga maksimum penyebaran berkas tersebut di atas diperoleh dengan memberikan tebal degrader yang maksimum, yaitu 3,06 mm, dimana pada ketebalan tersebut energi berkas keluarannya minimum, yaitu 2,5 MeV sampai dengan 3,5 MeV yang merupakan nilai ambang pembentukan Zn-65 yang di perlukan untuk pengukuran energi berkas proton pada metode aktivasi susunan foil tembaga. Lebih kecil dari energi diatas maka metode pengukuran ini tidak dapat digunakan. Dari pengukuran arus berkas sebelum dan sesudah melewati degrader diperoleh harga rata-rata penurunan intensitas berkas sebesar 10%, yang mana dari segi aplikasi besar penurunan intensitas tersebut tidak banyak mempengaruhi hasil aktivasi.

KESIMPULAN

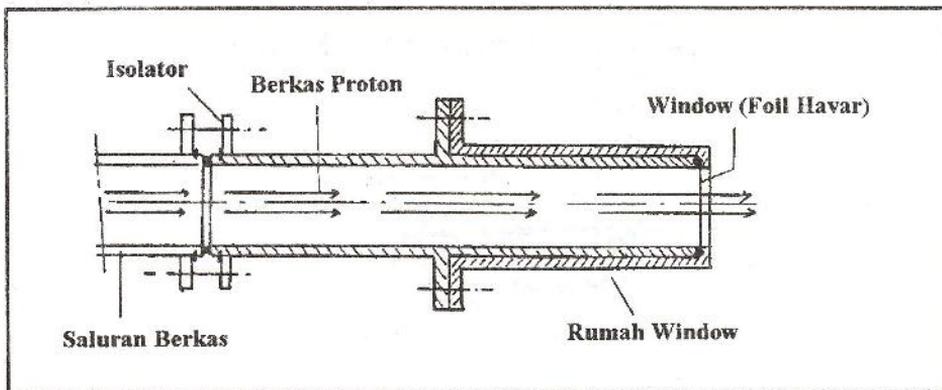
Hasil uji fungsi degrader dalam menurunkan energi berkas memberikan hasil yang bersesuaian antara perhitungan dan pengukuran dan penyebaran berkas yang terjadi oleh adanya degrader relatif kecil, yaitu sebesar 2,5 derajat. Oleh karena itu bahan sasaran yang terletak pada jarak 35 mm dari degrader hanya akan memberikan penambahan diameter berkas sebesar 3 mm. Sedangkan intensitas berkas setelah menembus degrader mengalami penurunan rata-rata sebesar 10%. Hasil dari eksperimen ini diharapkan akan merupakan pembuka jalan atau langkah awal bagi pengembangan aplikasi akselerator khususnya Siklotron-BATAN untuk tujuan pengembangan produksi radioisotop-radioisotop PET maupun untuk tujuan aktivasi lapisan tipis dalam penyelidikan korosi dan keausan material.

DAFTAR PUSTAKA

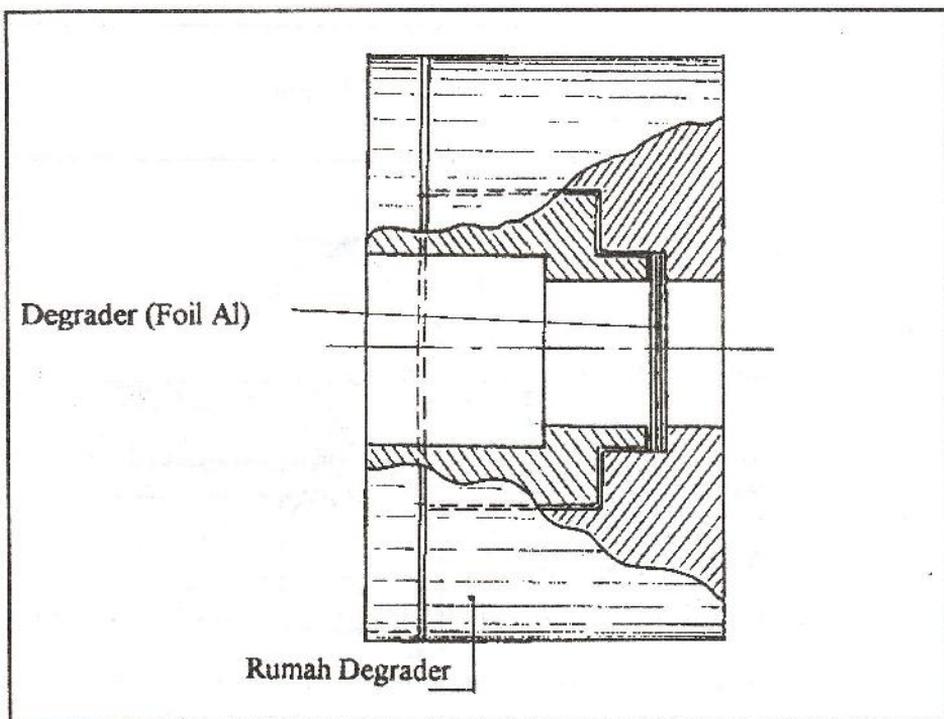
1. SILAKHUDDIN dan HARI SURYANTO, "Penggunaan Teknik Aktifasi Lapisan Tipis untuk Penyelidikan Keausan Komponen Mesin Otomotif dan Industri", Buletin Batan, Tahun XVII, No.4, Oktober (1996).
2. HARI SURYANTO dan SILAKHUDDIN, "Metode Aktifasi Susunan Foil untuk Penentuan Energi Berkas Proton Terekstraksi dari Siklotron", PPI-PPNY, BATAN Yogyakarta (1997).
3. BOLLMAN et al, "Irradiation Technique of Machine Part for Wear Measurement in Mechanical Engineering", Proceeding Ninth International Conference on Cyclotrons and their Applications, September 1981, p723.
4. WILLIAMSON.C.D. et al, "Tables of Range and Stopping Power for Charged Particles OF Energy 0.05 to 500 MeV", Rapport CEA-R 3042 (1966).
5. ANONIM, "Stopping Power and Range for Protons and Alpha Particles", ICRU Report 49 (1993).
6. ANONIM, "Log Book Pengujian Modifikasi Siklotron CS-30", IBA (1996).
7. ANONIM, "Metals Alloys, Compounds, Ceramics, Polymers, Composites", Goodfellow, Cambridge Limited, England, Catalogue (1995/1996).

Tabel 1 : Hasil eksperimen dan perhitungan fungsi degrader.

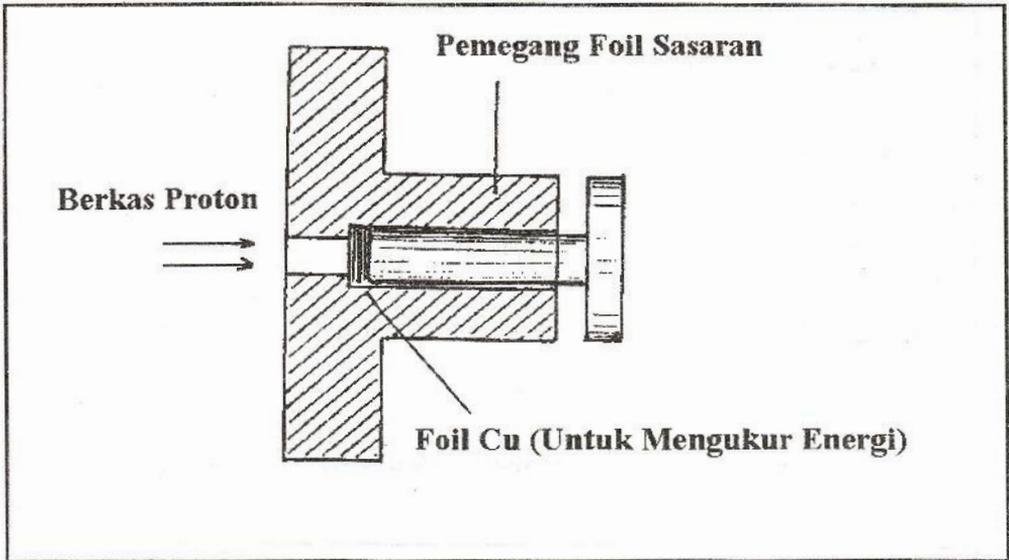
No.	Tebal Degradar (mm)	Energi Awal Proton (MeV)	Energi Keluaran Yang Dikehendaki (MeV)	Energi Keluaran Hasil Pengukuran (MeV)	Energi Keluaran Hasil Perhitungan (MeV)
1.	1,42	25,6	19	17,4 - 17,8	17,5 - 18,5
2.	1,77	25,6	17	-	15,5 - 16,5
3.	2,04	25,6	15	13,5 - 13,9	13,5 - 14,5
4.	2,50	25,6	12	-	11,5 - 12,5
5.	2,54	25,6	11	10,8 - 11,2	10,5 - 11,5



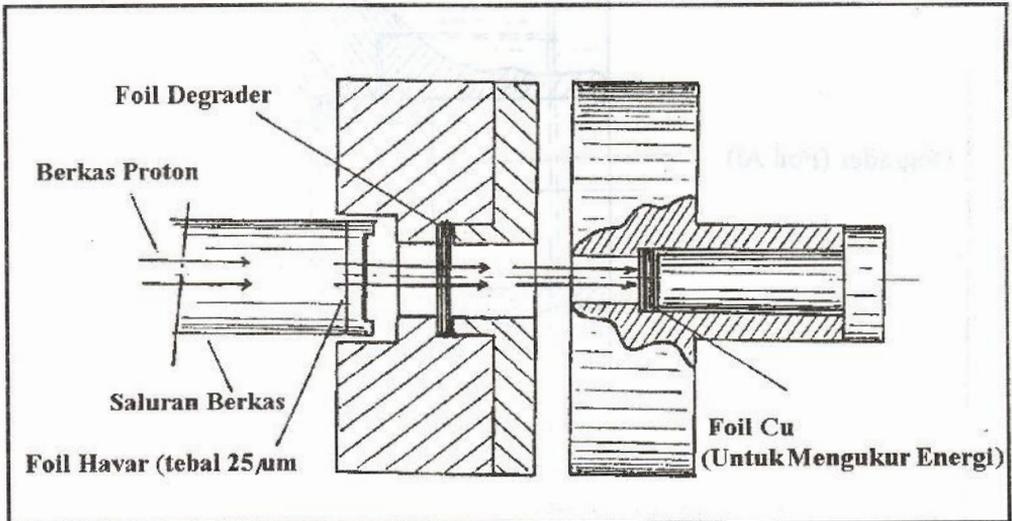
Gambar 1. Penyambungan Sistem Window ke Saluran Berkas.



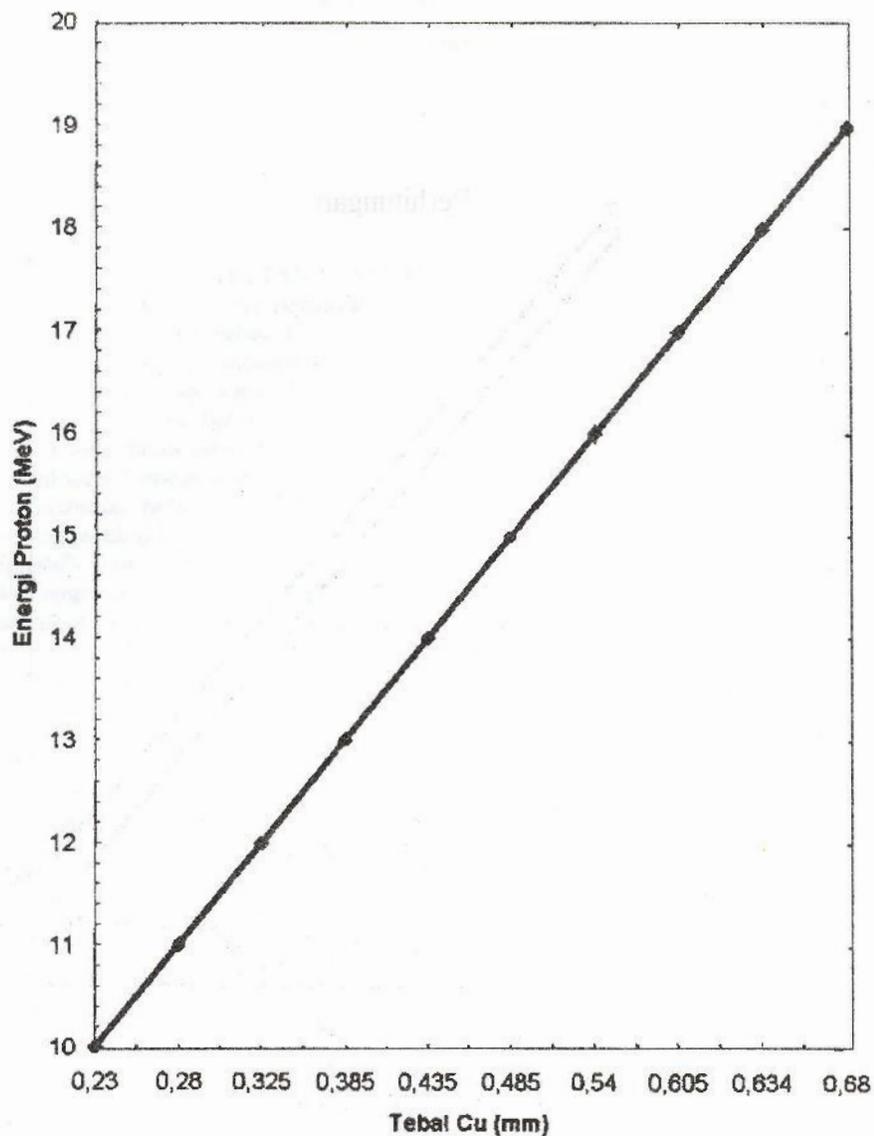
Gambar 2. Susunan Sistem Degrader



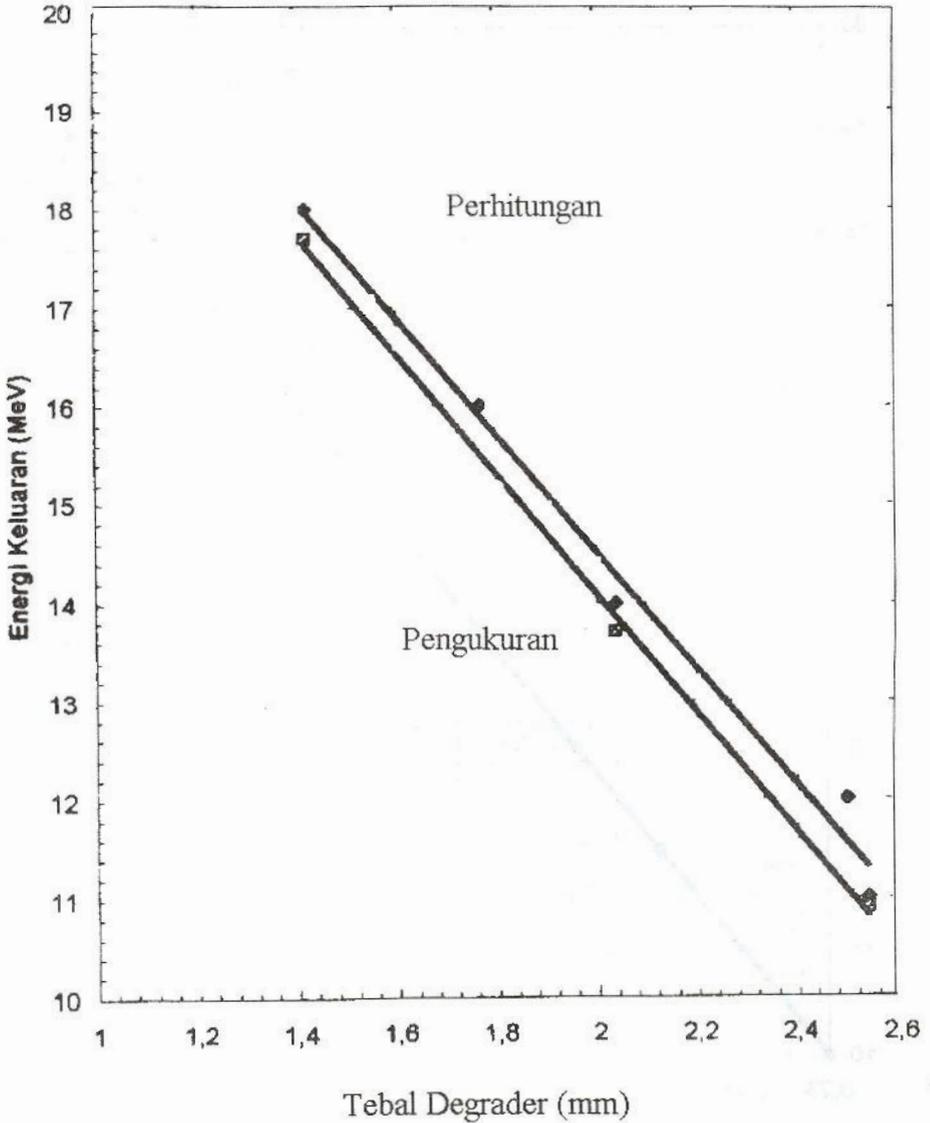
Gambar 3. Sistem Pengukur Energi.



Gambar 4. Skema Percobaan Pengujian Sistem Degrader.



Gambar 5. Kurva daya tembus proton terhadap ketebalan penyerap tembaga (Cu)



Gambar 6. Energi keluaran berkas proton sebagai fungsi ketebalan degrader untuk energi proton awal 25,6 MeV.