

HASIL COMMISSIONING MODIFIKASI SIKLOTRON BATAN UNTUK PENENTUAN ENERGI BERKAS PARTIKEL

Silakhuddin

ABSTRAK

HASIL COMMISSIONING MODIFIKASI SIKLOTRON BATAN UNTUK PENENTUAN ENERGI BERKAS PARTIKEL. Telah dilakukan pengukuran energi partikel proton pada Siklotron BATAN dengan menggunakan metode aktivasi tumpukan keping tembaga, sebagai bagian dari pengujian hasil modifikasi siklotron tersebut. Tumpukan keping diaktivasi pada saluran berkas dengan arus berkas 1,5 uA selama 60 menit. Pengukurannya dilakukan untuk radius- radius ekstraksi 38 cm, 41,2 cm dan 41,5 cm. Hasil dari pengukuran tersebut menunjukkan bahwa energi proton dari hasil modifikasi siklotron telah memenuhi spesifikasi modifikasi yaitu antara 24 hingga 27 MeV. Tingkat ketepatan dari hasil pengukuran ini cukup bagus yaitu bahwa nilainya tidak mempunyai perbedaan yang nyata dibandingkan dengan teori maupun hasil pengukuran sebelumnya yang menggunakan metode panjang jejak maksimum partikel.

ABSTRACT

COMMISSIONING RESULT OF MODIFICATION OF BATAN'S CYCLOTRON FOR DETERMINATION OF AN ENERGY OF PARTICLE BEAM. A measurement of proton particle energy of BATAN Cyclotron was carried out using the stacked copper foils method, as part of testing of the cyclotron modification. The stacked foils was activated at beam line by 1.5 uA protons beam during 60 minutes. The measurements were carried out at 38 cm, 41.2 cm and 41.5 cm of stripper radius. The measurement result was accordance with specification of modification namely 24 MeV until 27 MeV. The result also have insignificant differences compared to either theory or the measurement before which used the maximum range of particle.

PENDAHULUAN

Pada awal tahun 1997 telah dilakukan modikasi mesin Siklotron BATAN dengan merubah pemercepat ion positif menjadi pemercepat ion negatif. Salah satu spesifikasi kemampuan siklotron dari hasil modifikasi adalah kemampuan menghasilkan berkas proton berenergi 24 hingga 27 MeV. Ada berbagai metode pengukuran energi, di antaranya adalah metode aktivasi tumpukan keping, metode analisator magnet, metode aktivasi foil tunggal dan metode pengukuran jejak proton maksimum.

(1) Metode aktivasi tumpukan keping memiliki beberapa keuntungan bila dibandingkan dengan metode-metode lainnya. Keuntungan-keuntungan tersebut adalah parameter yang harus diperhitungkan lebih sedikit dan hasil yang diperoleh lebih teliti.

Dalam makalah ini akan dilaporkan hasil pengukuran energi dengan metode aktivasi tumpukan keping. Pengukuran ini dilakukan bersama dengan pihak pelaksana modifikasi siklotron dari Belgia dalam rangka uji fungsi. Tujuan dari pengukuran adalah menentukan kemampuan siklotron untuk dapat menghasilkan proton sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan dari hasil modifikasi.

PRINSIP PENGUKURAN

Bila suatu tumpukan keping diiradiasi dengan berkas proton maka proton-proton akan menembus kedalam tumpukan keping hingga beberapa milimeter sampai akhirnya berhenti. Dalam hal ini tumpukan keping berlaku sebagai penyerap/ penurun energi proton. Sebelum proton benar-benar berhenti maka ada suatu batas energi yang sudah tidak memberikan lagi reaksi inti yakni energi ambang. Prinsip metode tumpukan keping adalah menentukan ketebalan tumpukan keping yang pada batas ketebalan tersebut proton mencapai energi ambang untuk suatu reaksi tertentu. Penentuannya dengan jalan menentukan keping terakhir dari tumpukan keping yang masih mempunyai keradioaktifan. Ketebalan ambang dinyatakan sebagai jumlah tebal keping-keping sampai dengan keping terakhir tersebut. Ketebalan tersebut tergantung atas energi awal proton, E_0 , yang datang pada tumpukan keping tersebut dan hubungannya dinyatakan sebagai:

$$x = \int_{E_0}^{E} \left\{ \frac{dE}{d(x)} \right\}^{-1} dE \quad \dots (1)$$

Dalam bentuk diskontinu dapat dituliskan dalam sumasi:

$$x = \sum \frac{E_i}{\{dE/d(x)\}_i} \quad \dots (2)$$

di mana,

x = panjang jejak proton dalam material penyerap

$dE/d(x)$ = suatu tetapan yang disebut stopping power, nilainya bergantung energi proton dan material penyerap

E = celah tertentu dari energi proton, semakin sempit mengambil celah semakin teliti penentuan x nya.

E_0, E_1 = energi awal dan akhir dari proton.

Dengan diketahui ketebalan ambang berarti akan dapat diketahui energi awal proton. Energi proton awal tersebut adalah energi proton yang hendak diukur. Pemilihan material keping didasarkan atas segi analisis dan segi praktis dalam aktivasi. Dilihat dari segi analisis maka material keping harus yang mempunyaiampang lintang reaksi besar terhadap reaksi dengan proton dan mempunyai jumlah isotop alam yang sedikit. Dari segi praktis aktivasi maka material tersebut harus mudah didapat dan mudah dibentuk dalam keping-keping yang tipis. Atas dasar itu maka tembaga (Cu) layak untuk tujuan tersebut.

Dalam suatu aktivasi biasanya terbentuk beberapa radionuklida. Nuklida-nuklida penting yang dihasilkan oleh iradiasi tembaga dengan proton adalah Zn-63; Zn-65; Zn-62 dan Zn-64. Pada Tabel 1 dicantumkan beberapa sifat dari keempat radionuklida dan reaksi nuklir yang menghasilkan radionuklida tersebut.⁽³⁾ Agar pengukuran keradioaktivannya lebih teliti maka diupayakan sesedikit mungkin radionuklida yang tinggal sewaktu dilakukan pengukuran. Caranya dengan menurunkan energi proton sedemikian sehingga energinya hanya mampu menghasilkan satu jenis reaksi inti. Dengan melihat Tabel 1 maka pilihan tersebut adalah reaksi pembentukan Zn-65, yaitu radionuklida yang pembentukannya memerlukan energi ambang terkecil dan umurnya cukup panjang. Untuk memperoleh kondisi yang hanya tinggal Zn-65 yang terukur maka energi proton diturunkan hingga 10 MeV. Walaupun pada energi ini Zn-63 masih terbentuk tetapi karena umurnya relatif pendek dibanding Zn-65 maka dengan melakukan pendinginan pasca aktivasi beberapa jam, keradioaktifan Zn-63 sudah akan habis. Pemilihan energi 10 MeV dimaksudkan agarampang lintang pembentukan Zn-65 cukup besar.

Untuk menurunkan energi proton hingga 10 MeV memang harus diduga terlebih dahulu perkiraan energi proton yang hendak diukur. Sebagai contoh, bila diduga bahwa partikel proton yang hendak diukur berenergi di sekitar 27 MeV maka untuk menurunkan energi proton hingga 10 MeV adalah dengan menempatkan suatu penurun energi (degrader) keping tembaga berketebalan 1 mm (dihitung dengan rumus 2) sebagai keping pertama dari tumpukan keping.

Prinsip penentuan energi dengan metoda ini adalah menentukan ketebalan tumpukan keping yang masih teraktivasi oleh suatu energi proton tertentu. Untuk menentukan ketebalan tumpukan keping tersebut diperlukan suatu tabel hubungan antara energi proton dengan ketebalan tumpukan keping. Pembuatan tabel tersebut dilakukan dengan lebih dahulu menentukan kurva penurunan energi proton di dalam penyerap (keping-keping) tembaga.

TATA KERJA

Pembuatan Kurva Penurunan Energi Proton Dalam Penyerap

Dengan rumus (1) dapat ditentukan bagaimana penurunan energi proton sebagai fungsi ketebalan penyerap. Adapun caranya adalah sebagai berikut:

1. Ditentukan x yang dikehendaki, misal 0,1 mm.
2. Ditentukan E sesuai tabel stopping power tersedia, misal 0,5 MeV bila digunakan tabel dari pustaka 4.
3. Dikerjakan penjumlahan ruas kanan dan ruas kiri (dari rumus (1)), dengan cara memasukkan harga $\{dE/d(x)\}$ tiap energi, mulai dari energi awal yang dikehendaki dengan langkah $E=0,5$ MeV.
4. Penjumlahan ruas kanan dihentikan bila ruas kanan sudah sama besar dengan besar x yang sudah dipilih pada butir 1 di atas.
5. Energi proton setelah menembus x sama dengan energi terakhir yang terambil dari tabel ketika penjumlahan dihentikan.
6. Langkah-langkah 1 hingga 5 di atas diulangi untuk x yang berikutnya, sehingga akan didapat gambar fungsi penurunan energi terhadap ketebalan penyerap.

Pada Gambar 1 terlihat gambar fungsi tersebut untuk energi-energi awal 28; 27; 26; dan 24 MeV. Jika ditarik garis energi 2,5 MeV yaitu energi ambang untuk terbentuknya Zn-65, maka terlihat bahwa kurva-kurva energi memotong garis ambang pada titik-titik A, B, C dan D. Jika dibuatkan kurva hubungan antara energi awal dengan titik potong tersebut maka hasilnya terlihat pada Gambar 2. Dalam praktiknya maka titik ambang merupakan titik perbatasan antara bagian depan yang teraktivasi dengan bagian belakang yang tidak teraktivasi dari penyerap tersebut. Sehingga dengan kurva pada Gambar 2 dapat ditentukan energi awal proton jika dapat ditentukan posisi x yang merupakan daerah terakhir dari keping yang teraktivasi.

Penyiapan Keping Tembaga

Telah digunakan keping-keping tembaga dengan ketebalan 0,05 mm dan 0,02 mm. Dengan asumsi energi proton tidak akan lebih dari 28 MeV maka berdasarkan perhitungan panjang jejak maksimum yang masih menghasilkan keradioaktifan, ketebalan tumpukan keping adalah 1,4 mm. Adapun susunan tumpukan keping tersebut adalah:

1. Keping pertama tebal 1 mm, yang dimaksudkan untuk menurunkan energi proton hingga 10 MeV, keping ini tidak akan diukur aktivitasnya dan akan dinamai keping nomor 0.
2. Empat buah keping nomor 1 sampai 4) dengan ketebalan masing-masing 0,05 mm pada urutan berikutnya.
3. Keping nomor 5 hingga nomor 14 yang masing-masing berketebalan 0,02 mm berada di urutan belakang. Sehingga seluruh tumpukan keping berketebalan 1,4 mm. Penempatan keping-keping dalam wadahnya ditekan sedemikian rupa sehingga tak dimungkinkan adanya celah di antara keping-keping. Kemungkinan celah tersebut harus dicegah untuk menghindari adanya hamburan berkas proton. Susunan tumpukan keping dalam wadahnya ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel Hubungan Energi Dengan Tebal Tumpukan Keping

Dengan susunan keping seperti di atas maka selanjutnya berdasarkan Gambar 2 dapat dibuat suatu data hubungan antara nomor keping dengan energi awal proton. Data hubungan tersebut dicantumkan pada Tabel 2. Adapun contoh penggunaan Tabel 2 adalah sebagai berikut:

Misal dalam suatu pengukuran aktivasi nantinya diperoleh bahwa keping nomor 10 yang merupakan keping terakhir yang masih teraktivasi, berarti energi proton awal adalah di antara 26,74 MeV dan 26,97 MeV.

Aktivasi Tumpukan Keping

Tumpukan keping dalam wadahnya ditempatkan pada mulut saluran berkas arah 15° setelah switching magnet pada siklotron. Siklotron dioperasikan untuk menghasilkan arus berkas proton terekstraksi dan diarahkan ke saluran berkas 15° tersebut. Tata letak penempatan tumpukan keping sewaktu aktivasi ditunjukkan pada Gambar 3.

Besarnya arus berkas sekitar $1,5 \mu\text{A}$ dan lama aktivasinya 60 menit. Telah dilakukan aktivasi tiga kali yaitu untuk radius-radius ekstraksi (stripper): 38 cm, 41,2 cm dan 41,5 cm.

Pengukuran Keradioaktifan Keping

Pengukuran keradioaktifan keping-keping dilakukan 24 jam setelah aktivasi.

Setelah selang waktu tersebut pengaruh keradioaktifan dari Zn-63 dapat diabaikan. Pengukuran selanjutnya hanya terhadap keradioaktifan Zn-65 dengan menggunakan detektor HPGe yang dilengkapi dengan MCA. Hasil keradioaktifan yang diinginkan adalah cacah per detiknya (cpd) setelah dikoreksi dengan cacah latar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran keradioaktifan keping-keping pasca aktivasi ditunjukkan pada Gambar-gambar 4, 5 dan 6 masing-masing untuk radius stripper 38 cm, 41,2 cm dan 41,5 cm. Bagian sumbu datar pada gambar tersebut adalah nomor keping dan sumbu vertikalnya adalah log cpd. Dari gambar-gambar tersebut kemudian dapat segera ditentukan keping terakhir yang masih mempunyai keradioaktifan, dan melalui Tabel 2 dapat diketahui energi awal proton yang diukur. Hasil energi proton terukur secara ringkas dinyatakan sebagai berikut:

Radius stripper	Energi proton
38,0 cm	23,7 MeV <E<24,3 MeV
41,2 cm	26,5 MeV <E<26,7 MeV
41,5 cm	E>27,9 MeV

Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa energi proton terukur telah memenuhi energi yang diinginkan yaitu bervariasi antara 24 MeV hingga 27 MeV, dengan nilai ketidakpastian sebesar 0,5 MeV (selisih antara E_{min} dan E_{maks}) atau sekitar 1,8 %. Untuk tujuan produksi radioisotop nilai ketidakpastian tersebut tidak menjadi masalah karena untuk maksud produksi tidak memerlukan ketelitian yang tinggi. Hanya untuk maksud penggunaan kajian teoritis fisika nuklir harus dilakukan lagi pengukuran ulang dengan menggunakan keping-keping yang lebih tipis lagi. Misalnya dari Gambar 2 akan dapat diperkirakan bahwa bila nilai ketidakpastiannya hanya sebesar 0,1 MeV maka harus dipakai keping setebal 0,004 mm.

Hasil pengukuran yang dilakukan oleh pembuat Siklotron CS 30 dengan menggunakan metode panjang jejak maksimum, menunjukkan bahwa pada radius 41,5 cm diperoleh energi proton sebesar 26,5 MeV.⁽⁵⁾ Karena pusat orbit proton dipengaruhi oleh posisi sumber ion dan juga adanya osilasi pusat orbit maka sesungguhnya radius orbit sewaktu terekstraksi bisa berselisih kira-kira 1 cm antara satu operasi dengan operasi yang lain.⁽⁷⁾ Berdasar hal ini maka hasil pengukuran kali ini tidak berbeda nyata (insignificant) dengan pengukuran oleh pembuat Siklotron CS 30.

Perhitungan komputer yang dilakukan oleh pabrik Siklotron CS 30⁽⁶⁾ (termasuk Siklotron BATAN) menunjukkan bahwa pada radius-radius di atas energi partikel proton adalah:

Radius	Energi proton
38,0 cm	22,6 MeV
41,2 cm	26,7 MeV
41,5 cm	27,1 MeV

Jika dibandingkan dengan hasil perhitungan tersebut tampak bahwa hasil pengukuran kali ini lebih besar kira-kira 0,9 MeV. Angka penyimpangan masih wajar mengingat bahwa suatu pengukuran pada sekitar 26 MeV dapat mempunyai selisih dalam jangkauan 1 MeV. Hal ini karena sesungguhnya pusat orbit tidak dapat ditentukan dengan tepat melainkan pada suatu daerah dengan radius 1 cm di sekitar orbit teoritis⁽⁷⁾. Selisih 1 cm ini untuk partikel berenergi sekitar 26 MeV akan memberikan selisih energi 1 MeV.

KESIMPULAN

Hasil pengukuran energi proton pada siklotron setelah modifikasi adalah sesuai dengan rencana yaitu dapat divariasikan antara 24 hingga 27 MeV. Metode aktivasi tumpukan keping yang dipakai dalam pengukuran ini mempunyai ketepatan yang layak.

DAFTAR PUSTAKA

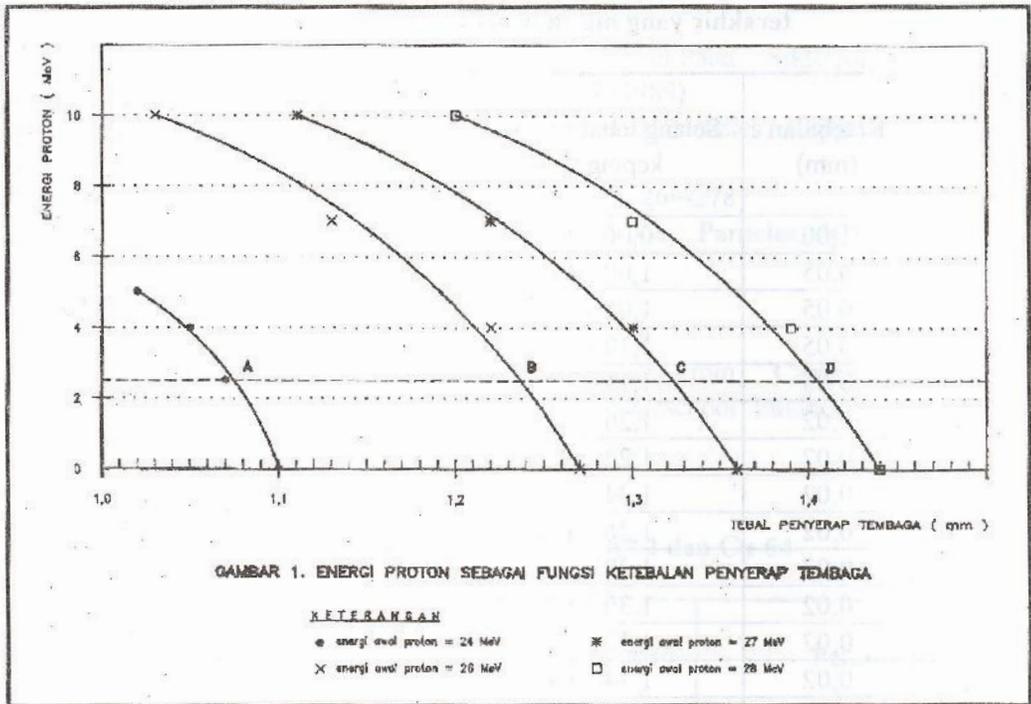
1. SILAKHUDDIN, "Metode Pengukuran Energi Partikel Pada Siklotron", Kumpulan Makalah Simposium Fisika Nasional XII, HFI (1989)
2. Tables of Range and Stopping Power for Charged Particles, Rapport CEA-R 3042 (1996).
3. BARRANDON , Nucl.Instr. and Meth. 127 (1975) 269-278
4. Stopping Power and Ranges for Protons and Alpha Particles, ICRU Report 49 (1995)
5. Log Book Pengujian Siklotron CS 30, CTI (1987)
6. Analisis Medan Magnet Siklotron CS 30, CTI (1987)
7. J.M. VAN NIEUWLAND, Extraction of Particles From Compact Isochronous Cyclotron, Desertasi Doctor pada Technische Hogeschool Eindhoven - Nederland (1972), p 39.

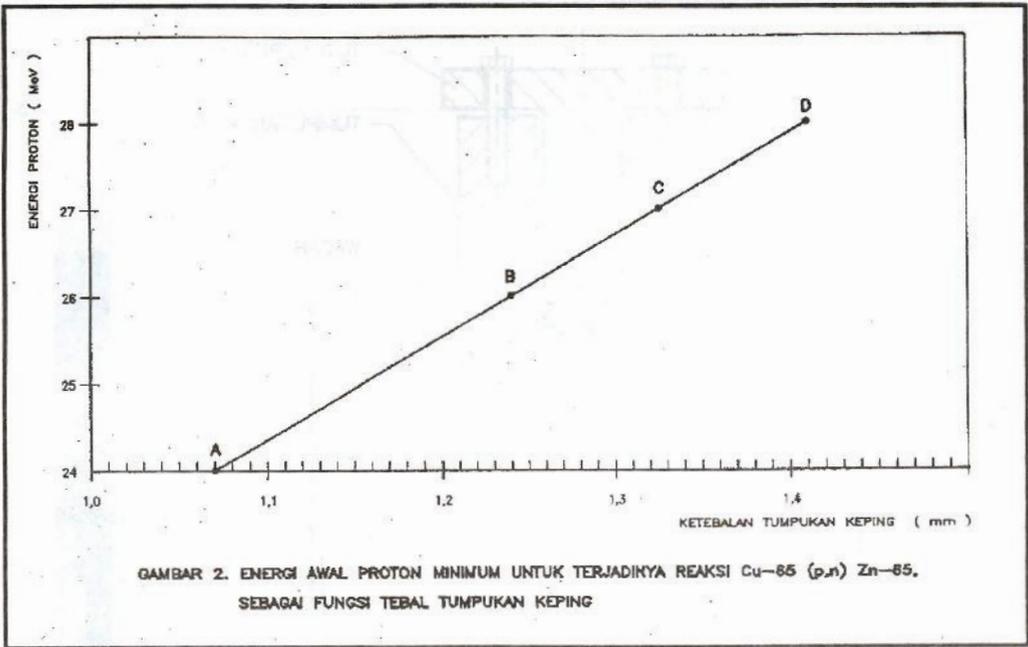
Tabel 1. Sifat-sifat Zn-63, Zn-65, Zn-62 dan Cu-64

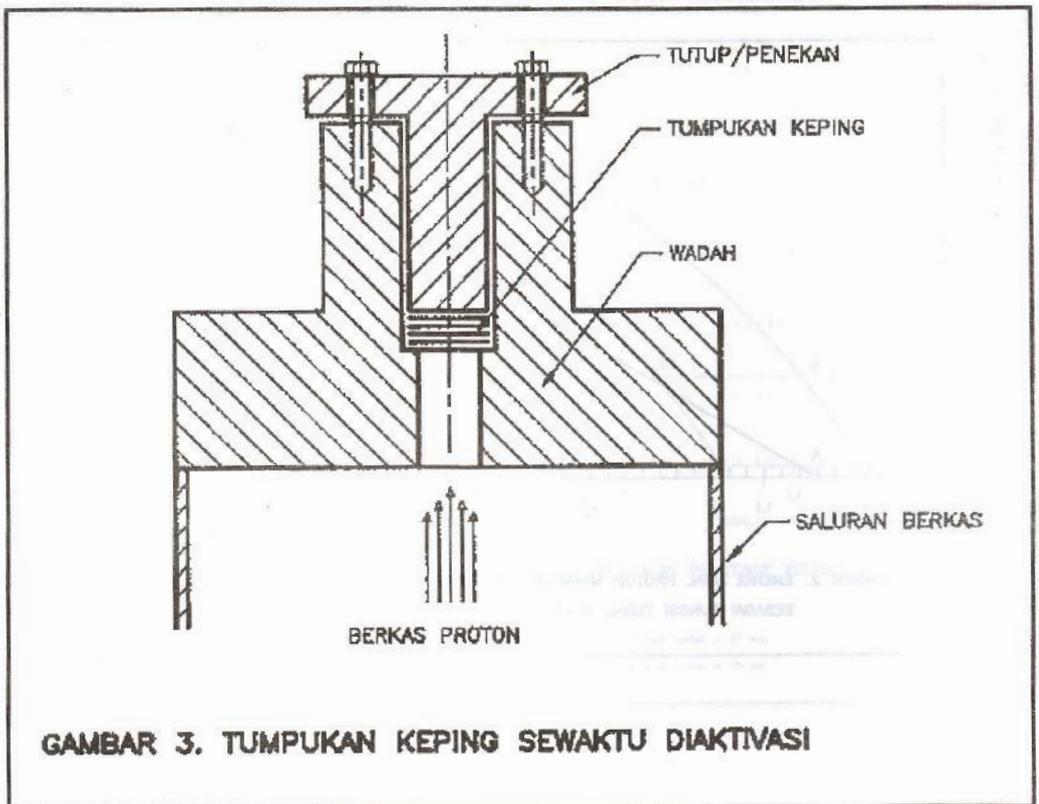
Isotop	Reaksi Inti	E ambang	Waktu paro	Peluruhan
Zn-63	Cu-63(p,n)Zn-63	4,5	38,1 m	β^+ ; =670; 962; 1412keV
Zn-65	Cu-65(p,n)Zn-65	2,5	244 h	β^+ =1115keV
Zn-62	Cu-63(p,2n)Zn-62	13,5	9,1 h	β^+ =41keV
Cu-64	Cu-65(p,pn)Cu-64	10.0	12,7 h	β^+ , β^- =1346keV

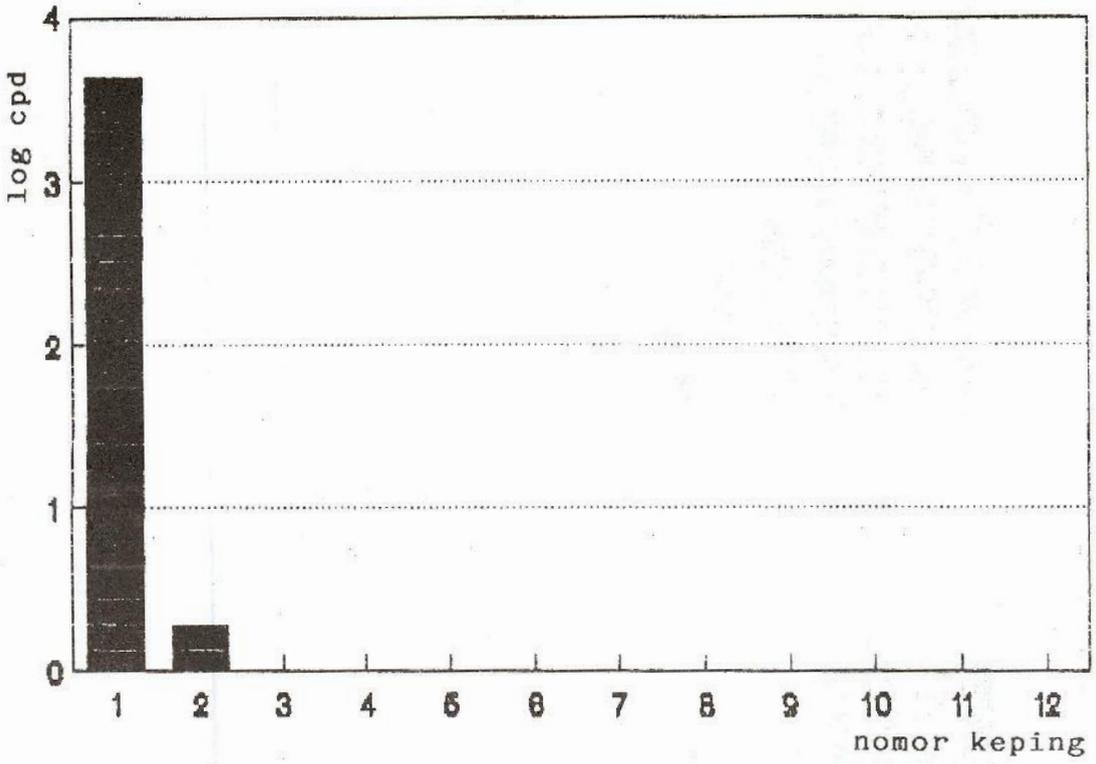
Tabel 2. Energi awal proton (E) sebagai fungsi keping terakhir yang masih beraktivitas Zn-65

Nomor keping	Ketebalan (mm)	Selang tebal tumpukan keping (mm)	E_{\min} (MeV)	E_{\max} (MeV)
0	1,00	0,00 - 1,00	2,5	23,1
1	0,05	1,00 - 1,05	23,1	23,7
2	0,05	1,05 - 1,10	23,7	24,3
3	0,05	1,10 - 1,15	24,3	24,9
4	0,05	1,15 - 1,20	24,9	25,55
5	0,02	1,20 - 1,22	25,55	25,80
6	0,02	1,22 - 1,24	25,80	26,05
7	0,02	1,24 - 1,26	26,05	26,28
8	0,02	1,26 - 1,28	26,28	26,51
9	0,02	1,28 - 1,30	26,51	26,74
10	0,02	1,30 - 1,32	26,74	26,97
11	0,02	1,32 - 1,34	26,97	27,20
12	0,02	1,34 - 1,36	27,20	27,43
13	0,02	1,36 - 1,38	27,43	27,66
14	0,02	1,38 - 1,40	27,66	27,89

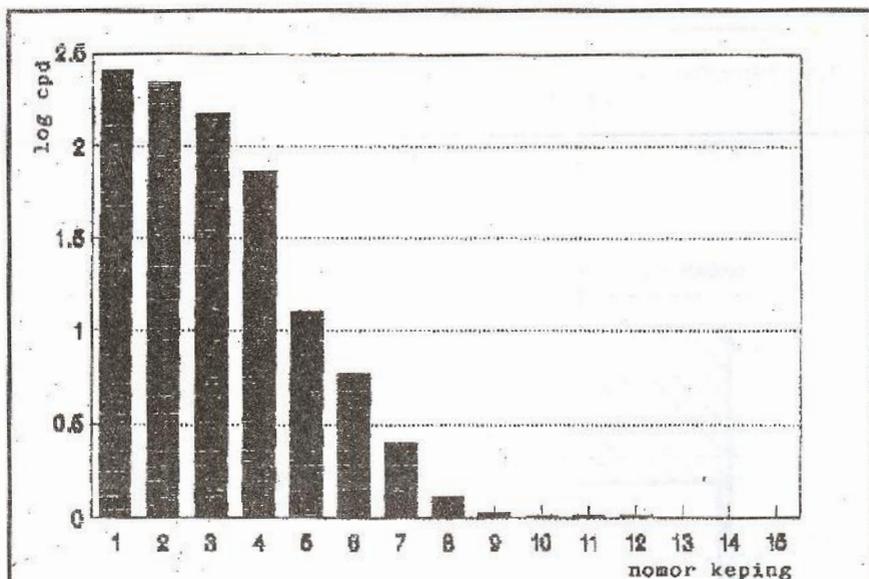




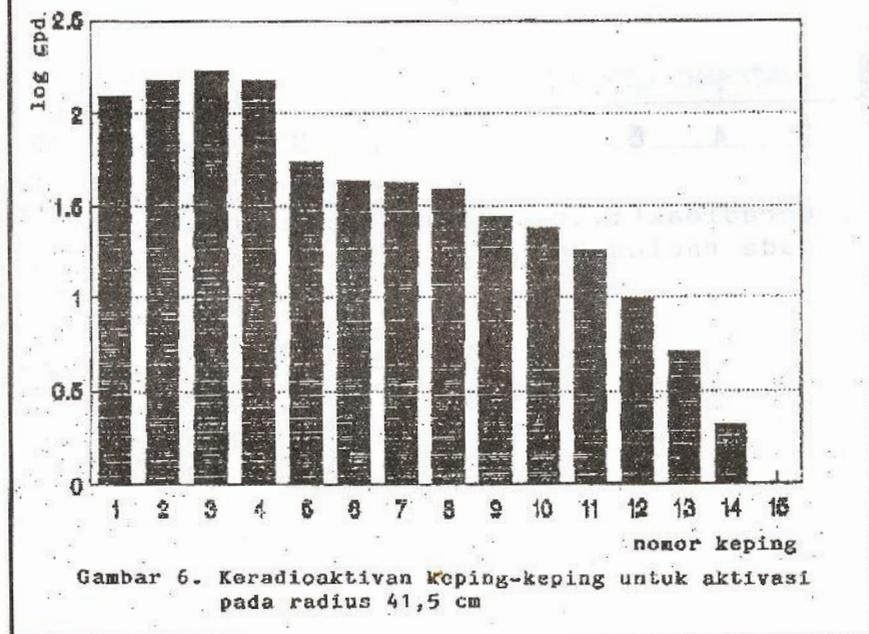




Gambar 4. Keradioaktifan keping-keping untuk aktivasi pada radius 38 cm.



Gambar 5. Keradioaktifan keping-keping untuk aktivasi pada radius 41,2 cm



Gambar 6. Keradioaktifan Keping-keping untuk aktivasi pada radius 41,5 cm