

LAPORAN PENELITIAN

MENGHITUNG SWASERAPAN FOTON DALAM SAMPEL VOLUMETRIS DENGAN PROGRAM KOMPUTER



Drs. Masril, M. Si
(Ketua Tim Peneliti)

MILIK PERPUSTAKAAN IKIP PADANG	
DITERIMA TGL	18-6-96
SUMBER/HARGA	HD
KOLEKSI	KKI
NO INVENTARIS	215/kd/96-0/2j
KLASIFIKASI	530 MAS no. 0

Penelitian ini dibiayai oleh :
Proyek Operasi dan Perawatan Fasilitas IKIP Padang
Tahun Anggaran 1994/1995
Surat Perjanjian Kerja Nomor : 159/PT37. H8/N.1.4.2/1994
Tanggal 15 Juni 1994

INSTITUT KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN PADANG

1995

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

*MENGHITUNG SWASERAPAN FOTON DALAM SAMPEL
VOLUMETRIS DENGAN PROGRAM KOMPUTER*

PERSONALIA PENELITIAN

Ketua : Drs. Masril, M.Si
Anggota : Dra. Yulia Jamal
Dra. Yenni Darvina
Dra. Nur Asma

ABSTRACT

MENGHITUNG SWASERAPAN FOTON DALAM SAMPEL VOLUMETRIS DENGAN PROGRAM KOMPUTER

Telah dilakukan pengukuran swaserapan sinar gamma dalam sampel volumetris untuk silinder dan bola dengan dimensi sebagai berikut :

Untuk silinder :

Jari-jari (R) = 0,05 cm dan tinggi (D) = 0,01 cm

R = 0,05 cm dan D = 0,001 cm

R = 0,025 cm dan D = 0,001 cm

Untuk bola : Jari-jari (R) = 0,05 cm dan R = 0,025 cm dengan massa jenis (ρ) = 8,71 gram/cm³ untuk silinder, sedangkan untuk bola digunakan massa jenis = 1,87 gram/cm³.

Pengukuran koefisien serapan total (μ) untuk masing-masing energi foton yang dipancarkan oleh sumber menggunakan persamaan (2.17). Untuk sumber Co-57 dengan energi 0,014 MeV, 0,122 MeV dan 0,136 MeV diperoleh koefisien serapan masing-masing 102371,2 /cm, 59,0 /cm dan 40,6 /cm. Sedangkan untuk sumber Cs-137 dengan energi 0,662 MeV di-peroleh koefisien serapan 1,1 /cm. Nilai koefisien serapan ini digunakan untuk menghitung swaserapan secara komputasi (program komputer yang dirancang).

Hasil eksperimen swaserapan dengan program komputer (menggunakan metoda Monte-Carlo) menunjukkan adanya kecocokan hasil dengan acuan yang digunakan terutama untuk energi rendah. Dengan arti kata bahwa program yang dibuat sudah memenuhi syarat untuk menghitung swaserapan unsur lain secara keseluruhan.

PENGANTAR

Kegiatan penelitian merupakan bagian dari darma perguruan tinggi, di samping pendidikan dan pengabdian kepada masyarakat. Kegiatan penelitian ini harus dilaksanakan oleh IKIP Padang yang dikerjakan oleh staf akademiknya dalam rangka meningkatkan mutu pendidikan, melalui peningkatan mutu staf akademik, baik sebagai dosen maupun peneliti.

Kegiatan penelitian ini mendukung pengembangan ilmu serta terapannya. Dalam hal ini Lembaga Penelitian IKIP Padang berusaha mendorong dosen untuk melakukan penelitian sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari kegiatan mengajarnya, baik yang secara langsung dibiayai oleh dana IKIP Padang maupun dana dari sumber lain yang relevan atau bekerja sama dengan instansi terkait. Oleh karena itu, peningkatan mutu tenaga akademik peneliti dan hasil penelitiannya dilakukan sesuai dengan tingkatan serta kewenangan akademik peneliti.

Saya menyambut gembira usaha yang dilakukan peneliti untuk menjawab berbagai permasalahan pendidikan, baik yang bersifat interaksi berbagai faktor yang mempengaruhi praktek kependidikan, penguasaan materi bidang studi, ataupun proses pengajaran dalam kelas yang salah satunya muncul dalam kajian ini. Hasil penelitian seperti ini jelas menambah wawasan dan pemahaman kita tentang proses pendidikan. Walaupun hasil penelitian ini mungkin masih menunjukkan beberapa kelemahan, namun saya yakin hasilnya dapat dipakai sebagai bagian dari upaya peningkatan mutu pendidikan pada umumnya. Kami mengharapkan di masa yang akan datang semakin banyak penelitian yang hasilnya dapat langsung diterapkan dalam peningkatan dan pengembangan teori dan praktek kependidikan.

Hasil penelitian ini telah mengikuti prosedur dan proses pemeriksaan yang berlaku di Lembaga Penelitian IKIP Padang, yaitu melalui telaah tim pereviu usul dan laporan penelitian, yang dilakukan secara "blind reviewing", dan seminar penelitian yang

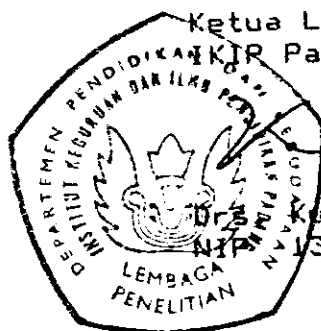
melibatkan dosen senior dan tim Kredit Point IKIP Padang. Mudah-mudahan penelitian ini juga bermanfaat bagi pengembangan ilmu pada umumnya dan peningkatan mutu staf akademik IKIP Padang.

Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang membantu terlaksananya penelitian ini, terutama kepada pimpinan lembaga terkait yang menjadi objek penelitian, responden yang menjadi sampel penelitian, tim pereviu Lembaga Penelitian, Dosen Senior dan anggota tim Kredit Point IKIP Padang yang menjadi pembahas utama dalam seminar penelitian. Kami yakin tanpa dedikasi dan kerja sama yang terjalin selama ini, penelitian ini tidak akan dapat diselesaikan sebagaimana yang diharapkan. Kerja sama yang baik ini diharapkan akan menjadi lebih baik lagi di masa yang akan datang.

Terima kasih.

Padang, Februari 1995

Ketua Lembaga Penelitian
IKIP Padang



Kumaidi
Kumaidi, M.A., Ph.D
NIP. 130 605 231

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
BAB I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	3
C. Pembatasan Masalah.....	4
D. Perumusan Masalah.....	4
E. Tujuan Penelitian.....	4
F. Kegunaan.....	5
BAB II. TINJAUAN KEPUSTAKAAN	
A. Interaksi Radiasi Gamma Dalam Bahan.....	6
B. Serapan Sinar Gamma Dalam Bahan.....	17
C. Swaserapan Radiasi Sinar Gamma Dalam Bahan....	20
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
A. Populasi dan Sampel.....	22
B. Jenis dan Sumber Data.....	22
C. Alat dan Teknik Analisis Data.....	22
D. Rancangan Penelitian.....	23
BAB IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
A. Analisis.....	25
B. Pembahasan.....	26
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan.....	29
B. Saran.....	29
DAFTAR KEPUSTAKAAN.....	30
LAMPIRAN-LAMPIRAN	

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG MASALAH

Salah satu faktor yang menentukan ketelitian hasil pengukuran aktivitas sumber radioaktif ialah koreksi terhadap adanya swaserapan. Swaserapan merupakan salah satu masalah yang cukup menarik di bidang fisika nuklir. Eksperimen-eksperimen di bidang fisika nuklir yang menyinggung masalah ini sudah banyak dilakukan. Dalam proses aktivasi neutron misalnya dikenal istilah *swatameng* (*self-shielding*). Pada swaserapan, sampel menyerap radiasi foton yang dipancarkan oleh dirinya sendiri. Sedangkan pada *swatameng*, sampel bertindak sebagai tameng/periisai bagi dirinya sendiri terhadap radiasi neutron dari luar (Bauman, 1965). Dalam teknik tomografi emisi (Kouris, 1982) dan Kusminarto (1986) masalah swaserapan ini belum terpecahkan sampai sekarang.

Pada pengukuran aktivitas sumber radioaktif atau pengukuran konsentrasi elemen kimia dalam sampel, baik dengan induksi partikel maupun induksi foton (teknik aktivasi) selalu melibatkan sampel yang mempunyai volume dan tidak dapat dianggap sebagai titik. Karena sampel volumetris, maka pengaruhnya akan terlihat pada cacah radiasi foton yang tertangkap oleh detektor. Foton gamma

yang dipancarkan oleh inti yang terletak di bagian dalam sampel akan mengalami serapan yang lebih besar dari pada foton gamma yang dipancarkan oleh inti di bagian luar sampel. Dengan adanya serapan foton gamma oleh sampel itu sendiri (swaserapan), maka cacah radiasi foton gamma yang tertangkap oleh detektor tidak lagi merepresentasikan elemen dalam sampel atau aktivitas sumber radiasi tersebut. Besar kecilnya persentase radiasi sinar gamma yang diserap oleh sampel bergantung pada tenaga gamma, kerapatan, model, dimensi, dan koefisien serapan sampel. Agar hasil pengukuran aktivitas sumber radioaktif menjadi lebih teliti, maka koreksi terhadap adanya swaserapan ini perlu dilakukan (Kusminarto, 1986).

Proses pancaran sinar gamma adalah proses yang bersifat acak dan serapan yang terjadi pada dasarnya disebabkan oleh peristiwa fotolistrik, hamburan sinar gamma (hamburan Compton) dan efek terbentuknya produksi pasangan oleh atom-atom yang dilaluinya yang juga bersifat acak. Oleh karena itu, perhitungan swaserapan sinar gamma ini dapat dilakukan dengan metoda Monte-Carlo.

Peterman (1972) telah menghitung swaserapan radiasi gamma dalam sampel bentuk cakram menggunakan metoda Monte-Carlo. Hasilnya menunjukkan bahwa untuk sampel cakram berdiameter 1 mm dan tebal 0,1 mm, swaserapan yang terjadi sebesar 90 % untuk energi gamma 14,4 keV.

Sedangkan untuk energi di atas 100 keV swaserapan tersebut masih di bawah 10 %. Disini terlihat bahwa pengaruh swaserapan terhadap hasil pengukuran radiasi cukup besar terutama untuk energi rendah.

Tsoufanidis (1983) mengelompokkan faktor-faktor yang menentukan ketelitian suatu aktivitas radioaktif, antara lain :efek geometri, efek sumber, dan efek detektor.

Dari ketiga efek di atas dapat dilihat bahwa faktor swaserapan (self-absorption) turut memberi kontribusi terhadap ketelitian hasil pengukuran aktivitas suatu sumber radioaktif.

Untuk itulah dilakukan penelitian perhitungan swaserapan ini melalui program komputasi sebagai salah satu upaya untuk menghitung prosentase swaserapan yang terjadi di dalam sampel sehingga dapat meningkatkan ketelitian dalam pengukuran aktivitas suatu sumber radioaktif dan sekaligus membantu mahasiswa dalam melakukan kegiatan perkuliahan sebagai pengganti eksperimen di laboratorium karena fasilitas yang menunjang kegiatan ini tidak ada, dan akhirnya akan sangat membantu dalam usaha-usaha perlindungan radiasi.

B. IDENTIFIKASI MASALAH

Sinar- γ adalah salah satu unsur radioaktif yang mempunyai daya tembus yang sangat kuat dibandingkan dengan sinar- α dan sinar- β . Dengan daya tembus yang

begitu kuat, sinar- γ sangat luas pemakaiannya dalam fisika atom dan inti. Untuk mempelajari sinar gamma kita perlu mengetahui berapa energi yang dipunyainya, panjang gelombang, frekuensi dan daya serapnya terhadap bahan (material).

C. PEMBATASAN MASALAH

Melihat begitu banyaknya sifat-sifat dari sinar- γ , maka dalam penelitian ini penulis akan membahas tentang daya serap (swaserapan) oleh foton sinar- γ terhadap suatu bahan terutama di dalam bahan berbentuk volumetris dengan sumber Cs-137 dan Co-56.

D. PERUMUSAN MASALAH

Masalah ini perlu dilakukan sebagai salah satu upaya untuk lebih meningkatkan ketelitian dalam pengukuran aktivitas suatu sumber radioaktif. Hal ini tentu saja mengingat kedudukan swaserapan sebagai faktor koreksi, yang pada gilirannya akan sangat membantu dalam usaha-usaha perlindungan radiasi.

E. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian adalah untuk menghitung prosentase swaserapan secara komputasi melalui algoritme Peterman (1972) guna menguji hasil teoritis yang sudah ada.

F. KEGUNAAN

1. Sebagai pengganti eksperimen bagi mahasiswa di laboratorium karena fasilitas yang menunjang kegiatan ini tidak ada, khususnya di labor Fisika FPMIPA IKIP Padang.
2. Membantu mahasiswa merancang program komputer berdasarkan metoda Monte Carlo.
3. Dengan mengetahui serapan diri dari foton sinar-gamma, maka akan sangat membantu dalam usaha-usaha perlindungan radiasi.

BAB II

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

A. INTERAKSI RADIASI GAMMA DALAM BAHAN

Foton gamma mempunyai daya tembus yang besar. Hal ini disebabkan karena radiasi foton gamma tidak bermuatan dan tidak bermassa, sehingga tidak terjadi interaksi medan listrik. Bila radiasi foton gamma mengenai bahan, maka foton gamma akan berinteraksi langsung dengan elektron atom. Proses ionisasi yang terjadi disebabkan karena hilangnya tenaga (sebagian atau seluruhnya) yang diberikan kepada bahan yang dilaluinya. Mekanisme hilangnya tenaga foton gamma yang melewati bahan karena adanya beberapa efek, antara lain :

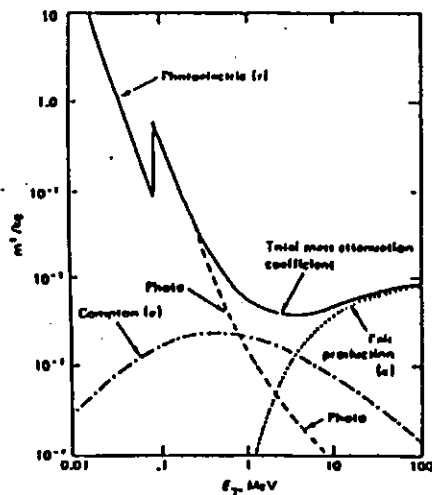
1. efek fotolistrik
2. efek Compton
3. efek bentukan pasangan.

Ketiga efek inilah yang paling dominan dalam interaksi radiasi foton gamma dengan bahan. Disamping ketiga efek di atas, masih ada efek-efek lain yang jauh lebih kecil dibanding ketiga efek tersebut, sehingga efek-efek tersebut diabaikan.

Ketiga efek dominan tersebut akan saling bersaing dalam suatu proses penyerapan sinar gamma. Untuk tenaga gamma kurang dari 0,5 MeV, efek fotolistrik merupakan efek yang paling dominan. Kemudian dengan kenaikan tenaga gamma hingga mencapai 1 MeV, proses serapan didominasi oleh efek

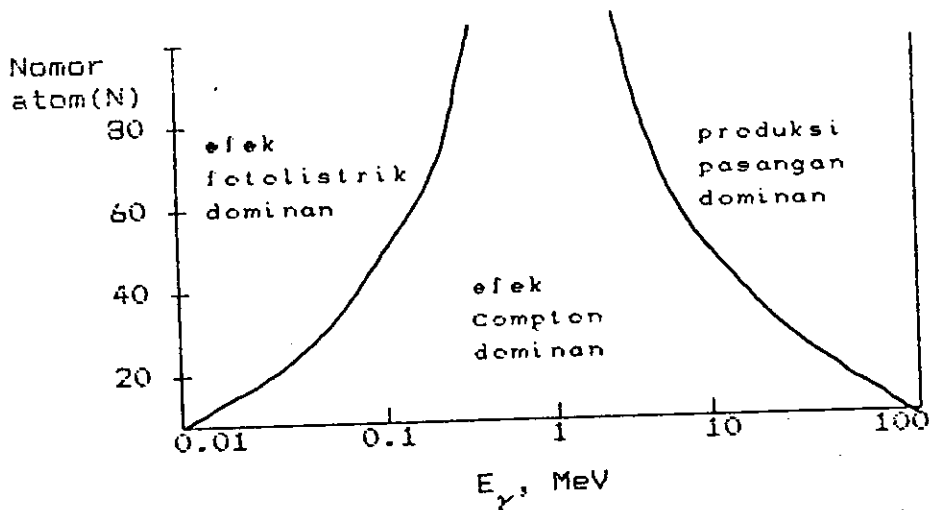
1950
MILIK ÜPT
IKI

hamburan Compton. Sedangkan efek produksi pasangan akan terjadi bila tenaga gamma $> 1,022$ MeV. Gambar 2.1 menunjukkan persaingan antar ketiga efek dominan tersebut.



Gambar 2.1. Perbandingan dari ketiga efek dominan sebagai fungsi tenaga gamma. (Tsoulfanidis, 1983)

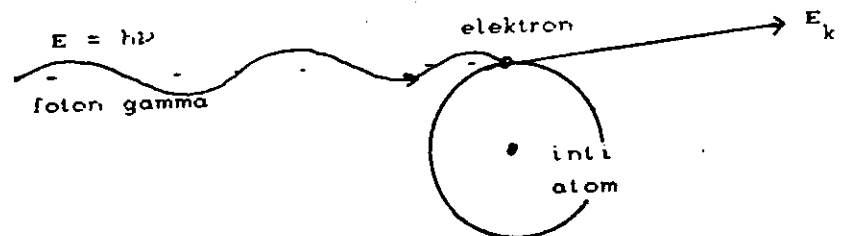
Dari gambar 2.1 tersebut tampak bahwa pada suatu harga tertentu kebolehjadian dari masing-masing efek akan sama besarnya. Pada kondisi yang demikian, di dalam bahan akan terjadi dua efek secara bersamaan. Selain tenaga, nomor atom pun mempengaruhi besar kecilnya kebolehjadian terjadinya efek-efek dominan tersebut. Gambar 2.2 menunjukkan pengaruh nomor atom terhadap tiga efek dominan dalam interaksi radiasi sinar gamma.



Gambar 2.2. Pengaruh perubahan nomor atom terhadap interaksi radiasi sinar gamma (Tsoulfanidis, 1983)

1. Efek Fotolistrik

Pada efek fotolistrik, foton gamma yang melewati suatu bahan, maka tenaganya akan diberikan kepada elektron orbital suatu atom. Tenaga tersebut digunakan untuk melepaskan elektron dari ikatannya, dan digunakan pula sebagai tenaga gerak elektron. Makin besar kerapatan elektron pada atom atau bahan (nomor atom besar), makin besar pula kebolehjadian terjadinya efek fotolistrik. Diagram proses efek fotolistrik dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.3 Peristiwa efek fotolistrik (Krane, 1992)

Berdasarkan hukum kekekalan tenaga dapat dituliskan persamaan tenaganya sebagai :

$$E_k = E_\gamma + E_i \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana : E_k = tenaga kinetik elektron fotolistrik

E_γ = tenaga foton gamma

E_i = tenaga ikat elektron orbital.

Efek fotolistrik terjadi bila tenaga foton gamma yang datang lebih besar daripada tenaga ikat elektron, sehingga mampu melepaskan elektron dari ikatannya. Tenaga ikat elektron E_i harganya berkisar antara beberapa eV sampai beberapa keV bergantung pada jenis atom penyusun bahan.

Elektron yang terlepas karena pelimpahan tenaga foton gamma kebanyakan dari elektron atom kulit K, akibat terlepasnya elektron tersebut, maka di kulit K terjadi kekosongan elektron. Kekosongan ini akan diisi elektron dari orbit yang lebih luar. Pada waktu elektron orbit luar turun ke orbit yang lowong tadi akan disertai dengan pemancaran foton cahaya, berupa sinar-X.

Inti yang memancarkan foton gamma dan tenaganya diserap oleh elektron atom di kulit K, L, M,...dst, apabila tenaga foton gamma lebih besar daripada tenaga ikat elektron atom, sehingga elektron tersebut akan terpental keluar. Peristiwa ini dinamakan *konversi dalam*, dan elektron yang terpental disebut elektron

konversi dalam. Elektron yang terpental tersebut memiliki tenaga kinetik sebesar E_{kd} , yaitu selisih antara tenaga foton gamma yang diserap elektron dengan tenaga ikat elektron pada orbitnya. Secara matematis dituliskan sebagai :

$$E_{kd} = E_{\gamma} + E_i \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan : E_{kd} = tenaga kinetik elektron konversi dalam

E_{γ} = tenaga foton gamma

E_i = tenaga ikat elektron pada orbitnya

Pada efek fotolistrik, besarnya penyerapan τ dinyatakan dalam penampang lintang (cross section) per atom adalah sebagai berikut (Kaplan, 1954) :

$$\tau = \phi_0 Z^5 \left[\frac{1}{137} \right]^4 4\sqrt{2} \left[\frac{m_0 c^2}{h\nu} \right]^{7/2} \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan : $\phi_0 = \frac{8\pi}{3} \left[\frac{e^2}{m_0 c} \right]^2 = 6,651 \times 10^{-25} \text{ cm}^2$

Z = nomor atom bahan penyerap

$h\nu$ = tenaga foton gamma yang datang

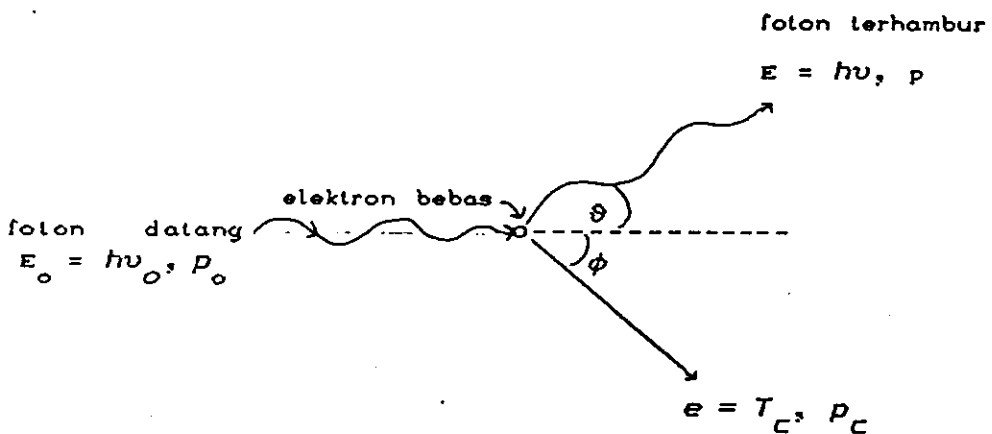
$m_0 c^2$ = tenaga rehat elektron

Persamaan (2.3) menunjukkan bahwa kebolehjadian terjadinya efek fotolistrik berbanding lurus dengan pangkat lima nomor atom (Z^5) dan berbanding terbalik dengan tenaga foton yang datang ($h\nu^{7/2}$). Untuk tenaga foton gamma di atas 0,35 MeV nomor atom (Z) berpangkat antara 4 dan 5. Kemudian untuk tenaga 1,13 MeV, Z berpangkat kurang lebih 4,5 dan untuk tenaga 2,62 MeV, Z berpangkat 4,6. Tampang lintang (cross section) akan

menurun lebih cepat dengan naiknya tenaga. Untuk tenaga di bawah 0,5 MeV, penurunan tersebut sebanding dengan $(h\nu)^{-3}$, dan untuk tenaga di atas 0,5 MeV, penurunannya sebanding dengan $(h\nu)^{-1}$ (Kaplan, 1954).

2. Efek Compton

Pada hamburan Compton, foton gamma yang melewati bahan penyerap sebagian tenaganya akan diserap oleh elektron yang ditumbuknya, dan sisanya akan dihamburkan. Elektron yang ditumbuk itu umumnya elektron bebas atau elektron yang tenaga ikatnya sangat lemah. Akibat penyerapan ini elektron akan terpental, sementara sisa tenaga foton gamma yang tidak terserap elektron akan terhambur. Diagram proses hamburan Compton dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.4. Peristiwa Hamburan Compton
(Krane, 1992)

Pada proses tumbukan foton gamma dengan elektron, tenaga dan momentum sistem secara total adalah tetap.

Kekekalan tenaga dinyatakan sebagai :

$$h\nu_0 + m_0 c^2 = h\nu + \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} \dots \dots \dots (2.4)$$

dengan : $h\nu_0$ = tenaga foton gamma sebelum tumbukan.

$m_0 c^2$ = tenaga rehat elektron

$h\nu$ = tenaga foton gamma sesudah tumbukan

$\beta = v/c$

Di samping tenaga sistem yang tetap, momentum sistem juga tetap. Momentum sistem terdiri dari dua komponen, yaitu komponen ke arah sumbu-X dan komponen ke arah sumbu-Y. Momentum ke arah sumbu x dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\frac{h\nu_0}{c} = \frac{h\nu}{c} \cos \vartheta + \frac{m_0 c}{\sqrt{1 - \beta^2}} \cos \phi \dots \dots \dots (2.5)$$

dan untuk momentum ke arah sumbu y dinyatakan dengan persamaan :

$$0 = \frac{h\nu}{c} \sin \vartheta + \frac{m_0 c}{\sqrt{1 - \beta^2}} \sin \phi \dots \dots \dots (2.6)$$

Sudut ϑ menyatakan sudut antara arah foton mula-mula dan arah foton terhambur, sedangkan sudut ϕ menyatakan sudut antara arah foton mula-mula dan arah elektron yang terpen-tal. Dari persamaan (2.4), (2.5), (2.6) akan diperoleh hubungan antara panjang gelombang foton mula-mula dengan panjang gelombang foton terhambur yang besar sudut hambur-annya sebesar ϑ ,

$$m_0 c^2 \cdot (h\nu_0 - h\nu) = (h\nu_0)(h\nu) (1 - \cos\vartheta) \dots \dots \dots (2.7)$$

1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960

Jika persamaan (2.7) dibagi dengan konstanta h^2c^2 dan panjang gelombang foton gamma dinyatakan sebagai,

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0} \quad \text{dan} \quad \lambda = \frac{c}{\nu}$$

maka persamaan 2.7 dapat ditulis sebagai :

$$\lambda - \lambda_0 = \frac{h\nu}{m_0 c} (1 - \cos \theta) \dots \dots \dots (2.8)$$

Persamaan (2.8) di atas menggambarkan perubahan panjang gelombang foton yang datang terhadap foton yang terhambur dengan sudut hamburan θ . Perubahan ini tidak bergantung pada panjang gelombang foton yang datang.

Berdasarkan persamaan (2.7) dapat ditulis energi foton terhambur yang dinyatakan dengan energi mula-mula dan sudut hamburan θ ,

$$h\nu = \frac{h\nu_0}{1 + \frac{h\nu_0}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta)} \dots \dots \dots (2.9)$$

Jika sudut $\theta = 180^\circ$, maka banyak foton yang terhambur mempunyai harga minimum yaitu :

$$h\nu = \frac{h\nu_0}{1 + 2 \frac{h\nu_0}{m_0 c^2}}$$

Elektron Compton (terpental) akan mendapat tenaga kinetik maksimum, jika sudut $\theta = 180^\circ$,

$$\begin{aligned} T_{max} &= h\nu_0 - h\nu \\ &= \frac{h\nu_0}{1 + [m_0 c^2 / 2h\nu_0]} \dots \dots \dots (2.10) \end{aligned}$$

Pada spektrum, harga tenaga kinetik maksimum dari elektron Compton disebut *tepi Compton (Compton Edge)*.

Bila foton hamburan Compton yang lolos oleh bahan di sekitar detektor dihamburbalikkan, maka akan nampak puncak penyerapan dari foton tersebut yang terletak di dalam plateau elektron Compton. Foton-foton tersebut antara lain adalah hamburan Compton, foton anihilasi, sedangkan sinar-X karakteristik muncul disamping tenaga yang lebih rendah dari puncak penyerapan bentukan pasangan.

Kebolehjadian terjadinya efek hamburan Compton dinyatakan dalam tampang lintang (cross section) per elektron $e\sigma$,

$$e\sigma = \frac{3}{4}\phi_0 \frac{(1+\alpha)}{\alpha^2} \left[\frac{2(1+\alpha)}{1+2\alpha} - \frac{1}{\alpha} \ln(1+2\alpha) \right] + \frac{1}{2\alpha} \ln(1+2\alpha) - \frac{1+3\alpha}{(1+2\alpha)^2} \dots\dots\dots(2.11)$$

dengan $\alpha = \frac{h\nu}{m_0 c^2}$; $E = h\nu$ dalam MeV

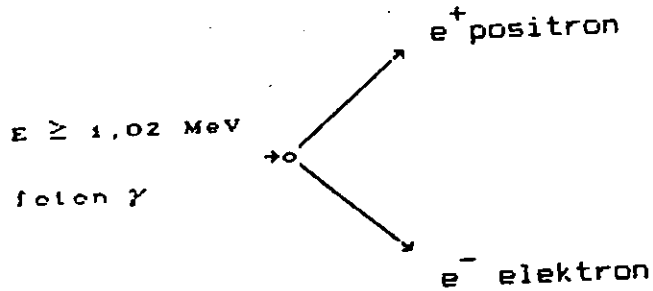
$$\phi_0 = \frac{8\pi}{3} \left[\frac{e^2}{m_0 c^2} \right]^2 = 6,651 \times 10^{-25} \text{ cm}^2$$

Bila dibandingkan dengan penyerapan pada efek fotolistrik, penyerapan oleh efek hamburan Compton mengalami penurunan yang lebih lambat dengan naiknya tenaga foton gamma. Efek hamburan Compton ini terjadi pada interval tenaga antara 0,6 MeV sampai 2,5 MeV (Kaplan, 1954).

3. Bentukan Pasangan

Jika foton gamma yang mempunyai tenaga sebesar 1,02

MeV atau lebih memasuki medan inti maka akan tampak gejala hilangnya foton dan diganti dengan munculnya pasangan elektron-positron. Proses terjadinya pembentukan pasangan dapat dilihat seperti diagram berikut.



Gambar 2.5. Peristiwa pembentukan pasangan (Krane, 1992)

Dari gambar 2.5 di atas dapat dilihat bahwa elektron dan positron masing-masing akan memiliki tenaga kinetik sebesar T_- dan T_+ . Hukum kekekalan tenaga dalam proses ini dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$E_\gamma = T_- + T_+ + m_0 c^2 + m_0 c^2 \dots \dots \dots (2.12)$$

dengan : E_γ = tenaga foton gamma yang datang

T_- = tenaga kinetik elektron

T_+ = tenaga kinetik positron

$m_0 c^2$ = tenaga rehat elektron

Persamaan (2.12) menunjukkan bahwa proses pembentukan pasangan akan terjadi bila tenaga foton gamma $> 2 m_{0e} c^2$. Bila berada dekat dengan elektron, positron umurnya tidak lama dan mudah untuk berinteraksi, sehingga terjadi proses kebalikan yaitu pelenyapan pasangan elektron-positron menjadi 2 foton gamma, peristiwa ini

disebut dengan "annihilasi", dan peristiwa ini mengikuti terjadinya efek bentukan pasangan.



Besar tenaga yang dilepas adalah $E = 2 m_0 c^2$. Jadi tenaga gamma masing-masing adalah $E_\gamma = m_0 c^2 = 0,510$ MeV atau sama dengan tenaga rehat sebuah elektron.

Mengingat bahwa efek bentukan pasangan timbulnya dipengaruhi oleh kuat medan inti, maka koefisien serapannya akan berbanding lurus dengan kekuatan medan inti atau sebanding dengan besarnya nomor atom.

Menurut Segre (1953), tampang lintang kebolehdijadian terjadinya efek bentukan pasangan ini adalah :

$$\sigma_x = \frac{\bar{\phi}}{Z} \left\{ \frac{28}{9} \ln 2\alpha - \frac{218}{27} - \frac{1}{\alpha} \left[\frac{4}{3} [\ln 2\alpha]^3 - 3[\ln 2\alpha]^2 + 6,84 (\ln 2\alpha) + 21,51 \right] \right\} \dots (2.14)$$

dengan : $\alpha = \frac{E}{m_0 c^2}$; E dalam MeV

$$m_0 c^2 = 0,511 \text{ MeV}$$

$$\bar{\phi} = \frac{Z^2}{137} \left(\frac{e^2}{m_0 c^2} \right)^2 = Z^2 \times 796 \times 10^{-28} \text{ cm}^2$$

Z = nomor atom bahan penyerap (sampel)

Proses penyerapan dari efek bentukan pasangan sangat kompleks. Proses pertama menghasilkan pasangan elektron-positron, elektron terhenti di dalam bahan, sedangkan positronnya teranihilasi. Tenaga anihilasi tersebut dapat terserap kembali oleh detektor dengan mengalami efek fotolistrik atau efek hamburan Compton

530
MAS
m: ①

215/hd/96-m(2)

atau tenaga tersebut lolos keluar dari detektor (Kaplan, 1954).

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

B. SERAPAN SINAR GAMMA DALAM BAHAN

Bila suatu berkas sinar gamma melewati bahan, karena adanya penyerapan oleh ketiga efek dominan di atas, intensitasnya akan berkurang. Penurunan intensitas ini disebut atenuasi. Besaran yang dipakai untuk menyatakan besarnya atenuasi yang dialami foton gamma disebut koefisien atenuasi yang dilambangkan dengan μ . Koefisien atenuasi ini sering disebut koefisien serapan linier total yang merupakan jumlah dari ketiga koefisien serapan parsial. Dengan demikian dapat dinyatakan sebagai :

$$e^{\mu} = e^{\tau} + e^{\sigma} + e^{\kappa} \dots\dots\dots(2.15)$$

dengan : e^{κ} = koefisien serapan parsial yang disebabkan oleh efek fotolistrik

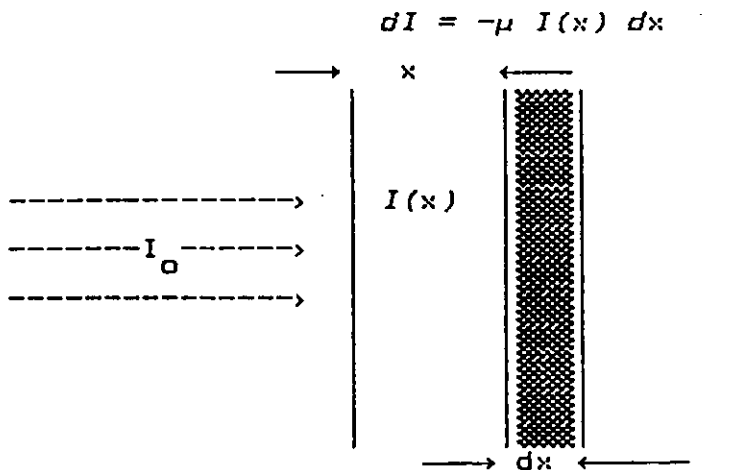
e^{σ} = koefisien serapan parsial yang disebabkan oleh efek hamburan Compton

e^{τ} = koefisien serapan parsial yang disebabkan oleh efek bentukan pasangan

Koefisien serapan linier total ini dinyatakan dalam satuan cm^{-1} .

Bila suatu berkas sinar gamma jatuh normal pada suatu permukaan bahan dengan intensitas I_0 , maka penyerapan intensitasnya makin ke dalam makin berkurang. Jika pada jarak x dari permukaan intensitasnya tinggal $I(x)$,

lapisan setebal dx akan menyerap radiasi dengan intensitas $I(x)$ yang masuk sebesar dI dan berbanding lurus dengan tebal lapisan dx . Lapisan setebal dx akan menyerap radiasi gamma sebesar :



Gambar 2.6. Serapan sinar gamma dalam bahan (Tsolfanidis, 1983)

Absorpsi oleh lapisan dx sebanding dengan banyaknya foton gamma yang datang (atau intensitas I) dan sebanding pula dengan banyaknya atom-atom absorber setebal dx per satuan luas, yang sama dengan $n dx$, dengan $n =$ banyaknya atom absorber per cm^2 .

Karena tiap foton gamma hanya dapat berinteraksi dengan 1 atom saja, maka pengurangan intensitas sinar gamma karena absorpsi lapisan dx adalah :

$$\begin{aligned} dI &= - I n (\tau + \sigma + \kappa) dx \\ &= - I n \mu dx \\ &= - I \mu dx \end{aligned}$$

$$\frac{dI}{I} = -\mu dx$$

sehingga : $I_x = I_0 e^{-\mu x} \dots\dots\dots(2.16)$

dengan : I_x = intensitas foton gamma setelah melewati bahan setebal x

I_0 = intensitas foton gamma sebelum melewati bahan

μ = koefisien serapan linier total bahan

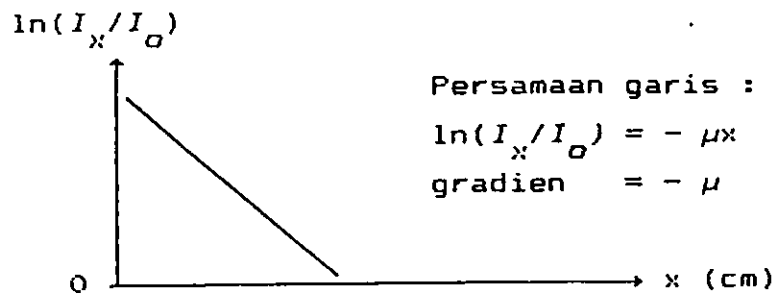
Jadi intensitas sinar gamma turun secara eksponensial terhadap tebal absorbernya.

Nilai koefisien serapan total foton berenergi E dalam suatu sumber sampel yang memiliki massa jenis ρ , nomor atom Z dan nomor massa A adalah :

$$\mu = \rho N \frac{Z}{A} [e^{\tau} + e^{\sigma} + e^{\kappa}] \dots\dots\dots(2.17)$$

(dalam cm^{-1}) dengan N = bilangan Avogadro = $6,0247 \times 10^{23}$

Berdasarkan persamaan (2.17), nilai koefisien serapan linier total μ dapat juga ditentukan secara eksperimen. Dengan mengukur intensitas radiasi foton gamma (I_0 dan I_x) sebagai fungsi tebal bahan penyerap, maka dapat dibuat grafik hubungan $\ln(I_x/I_0)$ versus tebal bahan penyerap x . Dari grafik tersebut, kemiringan grafik adalah nilai μ yang akan ditentukan. Adapun grafik/kurva penyerapan yang dimaksud dapat dilihat pada gambar 2.10 berikut :



Gambar 2.7. Kurva penyerapan

C. SWASERAPAN RADIASI SINAR GAMMA DALAM BAHAN

a. Swaserapan Sampel Bentuk Silinder

Algoritme untuk menghitung swaserapan sampel berbentuk silinder telah diturunkan oleh Peterman (1972). Dimensi silinder ditentukan dengan jejari (R) dan tebal (D). Titik asal sistem koordinat dipilih pada pusat silinder. Angka-angka acak (q) dibangkitkan untuk mensimulasikan posisi sumber (r, ϕ, t), dengan : $r = Rq$, $\phi = 2\pi q$, dan $t = 1/2Dq$, dalam koordinat cartesian ditulis : $x = r \cos \phi$, $y = r \sin \phi$, dan $z = t$. Pancaran radiasi gamma dalam peristiwa ini dianggap bersifat isotropis dalam ruang, sehingga arahnya dapat dibangkitkan secara acak, yaitu dinyatakan oleh sudut polar φ dan sudut azimut θ dengan $\varphi = 2\pi q$ dan $\theta = \pi q$.

Komponen pada masing-masing sumbu koordinat dari vektor satuan yang menunjukkan arah radiasi adalah :
 $w = \cos \theta$, $\rho = (1-w^2)^{1/2}$, $u = \rho \cos \varphi$, dan $v = \rho \sin \varphi$.

Jarak yang ditempuh oleh radiasi gamma, yaitu jarak antara posisi titik sumber dengan titik tempat

terjadinya serapan fotolistrik atau hamburan Compton yaitu

$$s = -\ln(q)/\mu, \dots \dots \dots (2.18)$$

Koordinat titik tempat terjadinya interaksi fotolistrik atau hamburan Compton adalah (x', y', z') dengan : $x' = x + us$, $y' = y + vs$, $z' = z + ws$. Jika titik (x', y', z') berada di dalam sumber, berarti terjadi swaserapan.

b. Swaserapan Sampel Bentuk Bola

Dalam penelitian ini bentuk sumber diperluas pada bentuk bola. Dimensi bola ditentukan oleh jari-jari R dengan pusat bola di pusat koordinat.

Posisi sumber titik dinyatakan oleh (r, θ, ϕ) , yaitu : $r = Rq$, $\theta = \pi q$, dan $\phi = 2\pi q$, yang dalam koordinat kartesian menjadi (x, y, z) , dengan $x = r \sin \theta \cos \phi$, $y = r \sin \theta \sin \phi$, dan $z = r \cos \theta$.

Selanjutnya dalam menentukan arah radiasi, koordinat titik interaksi serta prosedur pengecekan letak titik interaksi dilakukan seperti pada model silinder.

Dalam perhitungan ini, data koefisien pelemahan linear (μ) tidak diambil dari tabel karena tidak tersedia. Oleh karena itu, harga μ dihitung melalui persamaan yang telah diturunkan oleh Kaplan (1954) seperti telah dijelaskan di atas.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. POPULASI DAN SAMPEL

Yang menjadi populasi dalam penelitian ini adalah unsur-unsur radioaktif yang memancarkan sinar gamma, sedangkan sampel yang digunakan adalah sinar gamma dengan unsur Cs-137 dan Co-57 untuk berbagai tingkat energi.

B. JENIS DAN SUMBER DATA

Jenis data yang diperlukan untuk mengolah data adalah:

1. Energi sinar gamma
2. Massa jenis
3. Nomor massa
4. Nomor atom

Sedangkan sumber data adalah unsur Cs-137 dan Co-60.

C. ALAT DAN TEKNIK ANALISIS DATA

Alat dan teknik analisis data yang digunakan adalah dengan membuat program komputer berdasarkan pada algoritma Peterman. Program yang bersifat interaktif ini ditulis dalam bahasa Turbo Pascal versi 5.0, dan telah diuji coba dengan menggunakan komputer mikro IBS 625 MB (IBM XT Compatible).

Pembangkit bilangan acak yang digunakan dalam program tersebut juga diuji sesuai dengan kriteria bilangan acak

yang baik, yaitu memberikan nilai rata-rata 0,5 dan deviasi standar 0,2887 (Kusminarto, 1986).

D. RANCANGAN PENELITIAN

Dalam melakukan penelitian, penulis membuat suatu rancangan program komputer sesuai dengan tujuan yang akan dicapai, yaitu : (Flow chartnya dapat dilihat dalam lampiran 2)

1. Memasukkan input sumber radiasi radioaktif yang dipakai, yaitu Energi(E), nomor massa(A), Nomor Atom(Z), dan massa jenis(ρ).

Untuk sumber Co-57, energinya adalah sebagai berikut : 0,014 MeV, 0,122 MeV, 0,136 MeV. Sedangkan nomor massanya 57 dan nomor atomnya 27 dengan massa jenisnya 8,71 gr/cm³. Untuk sumber Cs-137, energinya 0,662 MeV dengan nomor massanya 137, nomor atom 55 dan massa jenis 1,87 gr/cm³.

2. Menghitung koefisien serapan linear total (μ) dengan rumus $e^{\mu} = e^{\tau} + e^{\sigma} + e^{\kappa}$
3. Memilih model sampel geometris yang berbentuk bola dan silinder.

4. Memasukkan input sampel yang dipilih yaitu jari-jari(R), panjang(P) dan Lebar(L).

Pada sampel berbentuk silinder, Jari-jari yang digunakan adalah :

$R = 0,05$ cm dengan diameter 0,01 cm dan 0,001 cm.

SECRET

CONFIDENTIAL

SECRET

$R = 0,025$ cm dengan diameter $0,001$ cm.

Sedangkan pada sampel berbentuk bola, jari-jari yang digunakan adalah $0,05$ cm dan $0,025$ cm.

5. Menghitung cacah radiasi sebanyak 5000 kali secara iteratif.
6. Menentukan posisi sumber secara acak.
7. Menentukan posisi interaksi secara acak dengan metoda Monte Carlo.
8. Mengecek apakah interaksi terjadi dalam sampel atau tidak? Kalau ya berarti terjadi cacah dalam sampel, kalau tidak akan diulang dari awal sampai cacah 5000 kali.
9. Jika jumlah cacah = 5000 kali, maka persentase swaserapan yang terjadi dihitung dengan rumus :
$$\% = \text{cacah}/N \times 100\%$$
10. selesai.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. ANALISIS

Hasil perhitungan program yang dibuat disajikan dalam Tabel 1 yaitu untuk sampel berbentuk silinder dan Tabel 2 untuk sampel berbentuk bola. Kemudian hasil tersebut dibandingkan dengan acuan sesuai dengan sumber Co-57 dan Cs-137.

Tabel 1. Swaserapan sumber radiasi berbentuk Silinder dengan sumber Co-57 dan Cs-137 untuk berbagai energi.

Sumber	Energi (E) (MeV)	Koef. Serapan (μ)	R = 0,05 cm D = 0,01 cm		R = 0,05 cm D = 0,001cm		R = 0,025cm D = 0,001cm	
			Exp. (%)	Teori (%)	Exp. (%)	Teori (%)	Exp. (%)	Teori (%)
Co-57	0,014	102371,2	99,2	90,3	98,7	44,2	98,5	44,0
	0,122	59,0	32,9	3,0	7,4	0,44	6,9	0,35
	0,136	40,6	25,6	1,85	5,6	0,3	5,2	0,28
Cs-137	0,662	1,1	1,12	0,1	0,24	0,02	0,22	-

Tabel 2. Swaserapan sumber radiasi berbentuk bola dengan sumber Co-57 dan Cs-137 untuk berbagai energi.

Sumber	Energi (E) (MeV)	Koef. Serapan (μ)	R = 0,05 cm		R = 0,025 cm	
			Exp. (%)	Teori (%)	Exp. (%)	Teori (%)
Co-57	0,014	102371,2	99,6	99,98	99,3	99,97
	0,122	59,0	73,6	7,0	8,8	5,4
	0,136	40,6	66,3	67,2	49,8	47,8
Cs-137	0,662	1,1	4,8	4,1	2,5	2,1

B. PEMBAHASAN

Sesuai dengan tabel 1 di atas, swaserapan foton energi 0,014 MeV, 0,122 MeV dan 0,316 MeV pada sumber Co-57 dihitung masing-masing untuk sampel berbentuk silinder dengan dimensi

Jari-jari (R) = 0,05 cm dan tinggi (D) = 0,01 cm,
 Jari-jari (R) = 0,05 cm dan tinggi (D) = 0,001 cm,
 Jari-jari (R) = 0,025 cm dan tinggi (D) = 0,001 cm

dan untuk sampel berbentuk bola pada tabel 2 dengan dimensi jari-jari (R) = 0,05 cm dan R = 0,025. Pada setiap sampel menggunakan sumber Co-57 dengan nomor atom (Z) = 27, nomor massa (A) = 57 dan massa jenis (ρ) = 8,71 gr/cm³.

Swaserapan foton berenergi 0,662 MeV pada sumber Cs-137 dihitung untuk sampel silinder dengan jari-jari (R) = 0,05cm, 0,005 cm dan 0,025 cm dengan tinggi masing-masing 0,1 cm, 0,01 cm, dan 0,05 cm. Sedangkan untuk sampel berbentuk bola dengan dimensi jari-jari (R) = 0,05 cm dan 0,025 cm. Sumber data yang digunakan adalah unsur Cs-137 dengan nomor atom (Z) = 55, nomor massa (A) = 137, dan massa jenis (ρ) = 1,87 gr/cm³.

Hasil perhitungan swaserapan model silinder tidak cocok sama sekali dengan hasil perhitungan (teori) yang dilakukan oleh Peterman (1972). Hal ini disebabkan oleh karena nilai koefisien serapan linear (μ) tidak sama pada kedua perhitungan tersebut. Peterman menggunakan nilai koefisien serapan dari perhitungan Storm & Israel, Los Alamos

Scientific Laboratory Report No. 3753 (1967) yang tidak dipunyai peneliti dan pada paper Peterman, nilai tersebut tidak dicantumkan. Perhitungan nilai μ yang digunakan dalam penelitian dengan menggunakan persamaan (17) seharusnya Z^5 . Besarnya eksponen yang digunakan dalam perhitungan akan sangat berpengaruh terhadap hasil yang diperoleh. Untuk tenaga foton gamma diatas 0,35 MeV, nomor atom (Z) berpangkat antara 4 dan 5, untuk tenaga foton gamma 1,13 MeV, Z berpangkat kurang lebih 4,5 dan untuk tenaga foton gamma 2,62 MeV, Z berpangkat 4,6 (Kaplan,1954). Berdasarkan penjelasan di atas, maka perhitungan koefisien serapan total untuk tenaga gamma 0,662 MeV dengan sumber Cs-137 menunjukkan bahwa nomor atom Z tidak berpangkat 5. Hasil perhitungan dengan program yang dibuat bahwa hasil terbaik untuk nilai Z adalah 4,15. Jadi disini nilai koefisien serapan sudah berbeda dengan persamaan yang digunakan.

Andaikata perbedaan tersebut hanya disebabkan oleh perbedaan μ yang digunakan, mestinya memberikan hasil dengan pola yang sama, meskipun ada perbedaan dalam orde besar swaserapan. Keadaan ini dapat dilihat dalam tabel 1. Untuk dimensi yang sama, semakin besar energi semakin kecil swaserapannya. Sedangkan untuk energi foton yang sama, swaserapannya semakin kecil. Dengan demikian program yang dibuat ini tidak salah, namun belum dapat dikatakan betul-betul benar tanpa menggunakan nilai μ yang sama.

Perhitungan untuk sumber radiasi bentuk bola tidak dilakukan oleh Peterman. Oleh karena itu hasil penelitian ini dibandingkan dengan hasil perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan rumus yang diturunkan oleh Francois (1974) dengan nilai μ yang sama dengan nilai μ pada penelitian ini. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2. Dari Tabel 2 tersebut terlihat bahwa kedua hasil menunjukkan adanya kecocokan hasil untuk berbagai energi dan dimensi sampel. Dengan demikian hasil ini merupakan verifikasi dari program yang dibuat.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis dan pembahasan, maka penulis menyimpulkan bahwa hasil penelitian ini maupun penelitian para peneliti lain sebelumnya, mengungkapkan bahwa masalah swaserapan ini tidak dapat diabaikan dalam pengukuran, terutama untuk energi rendah. Hasil yang diperoleh untuk swaserapan yang dihitung secara komputasi dan dibandingkan dengan acuan yang ada menunjukkan adanya kesesuaian, terutama untuk sampel berbentuk bola dengan berbagai tingkat energi.

Pengetahuan tentang nilai koefisien serapan linear μ sangat menentukan hasil perhitungan swaserapan ini. Dalam terapannya, nilai μ dari sampel dapat ditentukan dengan eksperimen. Suatu eksperimen perlu dilakukan untuk menguji kebenaran algoritma dan program yang telah ada.

B. S A R A N

Dengan adanya kecocokan antara hasil yang diperoleh, maka peneliti menyarankan :

1. Program komputer yang dibuat dapat digunakan untuk menguji swaserapan unsur-unsur lain yang memancarkan foton gamma.
2. Perhatikan keselamatan dalam laboratorium jika menggunakan bahan yang mengandung radiasi.

LAMPIRAN 1

```

{*****}
{*
{*          PROGRAM KOMPUTASI SWA-SERAPAN RADIASI FOTON DALAM SAMPEL          *}
{*
{*          JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA                                          *}
{*          FAKULTAS PEND. MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM              *}
{*          IKIP PADANG                                                        *}
{*
{*          DRS. MASRIL, M.Si                                                 *}
{*
{*          1 9 9 4                                                            *}
{*
{*****}
{ $N+ }
Program Self_Absorption;
uses CRT, DOS;
const Finol = 6.651E-25;
      N = 5000;
      A = 6.02E+23;
      MC2 = 0.511;
      FiRa = 5.796E-28;
type
{ $IFOPT N+ }
      real = extended;
{ $ENDIF }
      ary = array[1..10] of real;
var R, D, P, L, H, TAU, mean, seed, sigma : real;
      ch : char; NAtom : longint; cent : ary;
      E, Nmass, MasaJenis : real;
{-----}
{* Procedure menghitung koefisien serapan empiris *}

Procedure KoefSerapan;
var Tou, alfa1, alfa, sim1, sim2, sim3,
      Z5, sim, sam, saim, suma, sum1, sum2, alfa7, sigme,
      ln2, S1, S2, S3, kappa : real;
begin
      write('ENERGI FOTON YANG DIPANCARKAN SUMBER (MeV) = '); readln(E);
      write('NOMOR MASSA SUMBER (A)      = '); readln(NMass);
      write('NOMOR ATOM SUMBER (Z)      = '); readln(NAtom);
      write('MASSA JENIS SUMBER (GR/CM3) = '); readln(MasaJenis);
      alfa := E/MC2;

                                     { Fotolistrik }
      Tou := sqr(1/137)*sqr(1/137);
      Tou := tou * 4*sqr(2);
      Tou := tou * finol;
      alfa1 := sqr(1/alfa);
      alfa7 := sqr(alfa1)*(alfa1/alfa);
      alfa7 := sqrt(alfa7);
      tou := tou * alfa7;
      Z5 := sqr(NAtom)*sqr(NAtom)*NAtom;
      tou := tou * Z5;

```

{ Compton }

```
sim := 3*Finol/4;  
sim1 := 1 + alfa;  
sim2 := 1 + 2*alfa;  
sim3 := 1 + 3*alfa;  
sam := 2*sim1/sim2;  
saim := ln(sim2)/alfa;  
suma := sam-saim;  
sam := sim1/sqr(alfa);  
sum1 := sam * suma;  
sam := sim3/sqr(sim2);  
saim := ln(sim2)/(2*alfa);  
sum2 := saim-sam;  
sigme := sim * (sum1+sum2);
```

{ Bentukan Pasangan }

```
{ ln2 := ln(2*alfa);  
S1 := (28*ln2/9)-(218/27);  
S2 := (4*ln2*sqr(ln2))/3;  
S3 := 3*sqr(ln2);  
S2 := S2 + 6.84*ln2;  
S3 := 21.51-S3;  
sam := (S2+S3)/alfa;  
sam := S1 - sam;  
kappa := Fira*NAtom*sam;}
```

{ Kcoef. Serapan Total }

```
Tau := MasaJenis*A*NAtom/Mass;  
Tau := Tau*(sigme+tau);
```

end;

```
{-----}  
{* Procedure pembangkit bilangan random *}
```

```
Function Acak(dummy : integer):real;  
var Sd : real;  
begin  
  Sd := seed + pi;  
  Sd := exp(5.0 * ln(Sd));  
  seed := Sd - trunc(Sd);  
  acak := seed;
```

end;

```
{-----}  
{* Procedure Meanstd digunakan untuk menentukan rerata dan deviasi  
standar persentase swa-serapan suatu model sumber radiasi *}
```

```
Procedure Meanstd (cent : ary);  
var I : integer; X, sum_X, sum_SQ : real;  
begin  
  sum_X := 0;  
  sum_SQ := 0;  
  for I:=1 to 5 do  
    begin  
      sum_X := sum_X + cent[i];  
      sum_SQ := sum_SQ + sqr(cent[i]);
```

```
end;
```

```

mean := sum_X/5;
sigma := sqrt((sum_SQ - sqr(sum_X)/5)/4);
writeln;
writeln('PERSENTASE SWA-SERAPAN = ',mean:6:2,' +/- ',sigma:6:2,' PERSEN');
end;
{-----}
Procedure Satu_Cacah_Cakram(K : integer);
var I, cacah : longint;
    RS,FI,T,X1,Y1,Z1,X2,Y2,Z2,PSI,THETA,RHD,
    U,V,W,S : real;
begin
    cacah := 0;
    for I := 1 to N do
        begin
            (* Koordinat Silinder titik sampel radiasi *)
            RS := R * acak(1);
            FI := 2 * Pi * acak(1);
            T := D * acak(1);

            (* Koordinat Kartesian titik sampel radiasi *)
            X1 := R * cos(FI);
            Y1 := R * sin(FI);
            Z1 := T;

            (* Vektor arah titik interaksi radiasi *)
            PSI := 2 * Pi * acak(1);
            THETA := Pi * acak(1);
            W := cos(THETA);
            RHD := sqrt(1-sqr(W));
            U := RHD * cos(PSI);
            V := RHD * sin(PSI);
            S := -ln(acak(1))/TAU;

            (* Koordinat Kartesian titik interaksi radiasi *)
            X2 := X1 + U * S;
            Y2 := Y1 + V * S;
            Z2 := Z1 + W * S;

            (* Prasyarat interaksi di dalam model *)
            if abs(X2)<=R then
                if abs(Y2)<=R then
                    if (Z2>=0) and (Z2<=D) then cacah := cacah + 1;
                end;
            end;
        end;
    cent[k] := 100 * (cacah/N);
end;
{-----}
Procedure Satu_Cacah_Bola(K : integer);
var I, cacah : longint;
    RS,FI,ETA,X1,Y1,Z1,X2,Y2,Z2,PSI,THETA,RHD,
    U,V,W,S : real;
begin
    cacah := 0;
    for I := 1 to N do
        begin

```

```

                                (* Koordinat Bola titik sampel radiasi      *)
RS := R * acak(1);
FI := 2 * Pi * acak(1);
ETA:= Pi * acak(1);
                                (* Koordinat Kartesian titik sampel radiasi *)
X1 := R * sin(ETA) * cos(FI);
Y1 := R * sin(ETA) * sin(FI);
Z1 := R * cos(ETA);
                                (* Vektor arah titik interaksi radiasi      *)
FSI := 2 * Pi * acak(1);
THETA := Pi * acak(1);
W := cos(THETA);
RHD := sin(theta);
U := RHD * cos(FSI);
V := RHD * sin(FSI);
S := -ln(acak(1))/TAU;
                                (* Koordinat Kartesian titik interaksi radiasi *)
X2 := X1 + U * S;
Y2 := Y1 + V * S;
Z2 := Z1 + W * S;
                                (* Prasyarat interaksi di dalam model      *)
if abs(X2)<=R then
  if abs(Y2)<=R then
    if abs(Z2)<=R then cacah := cacah + 1;
  end;
cent[k] := 100 * (cacah/N);
end;
{-----}
Procedure Satu_Cacah_Kotak(K : integer);
var I, cacah : longint;
    X1,Y1,Z1,X2,Y2,Z2,FSI,THETA,RHD,
    U,V,W,S : real;
begin
  cacah := 0;
  for I := 1 to N do
    begin
                                (* Koordinat Kartesian titik sampel radiasi *)
      X1 := P * acak(1);
      Y1 := L * acak(1);
      Z1 := H * acak(1);
                                (* Vektor arah titik interaksi radiasi      *)
      FSI := 2 * Pi * acak(1);
      THETA := Pi * acak(1);
      W := cos(THETA);
      RHD := sin(theta);
      U := RHD * cos(FSI);
      V := RHD * sin(FSI);
      S := -ln(acak(1))/TAU;
                                (* Koordinat Kartesian titik interaksi radiasi *)
      X2 := X1 + U * S;
      Y2 := Y1 + V * S;
      Z2 := Z1 + W * S;
    end;
  end;
end;

```

```

                                (* Prasyarat interaksi di dalam model *)
    if (X2>=0) and (X2<=P) then
      if (Y2=0) and (Y2<=L) then
        if (Z2=0) and (Z2<=H) then cacah := cacah + 1;
      end;
    cent[k] := 100 * (cacah/N);
  end;
}
(* Procedure PilihModel digunakan untuk memilih bentuk
   model sumber radiasi ( Cakram, Bola atau Kotak ) *)

Procedure PilihModel(var ch:char; var tau:real);
begin
  clrscr;
  writeln('      MODEL BENTUK SUMEER : ');
  writeln('      [C]AKRAM ');
  writeln('      [B]OLA ');
  writeln('      [K]OTAK ');
  writeln;
  write('=====> Pilihan Model : ');
  readln(ch);
  clrscr;
  writeln('ENERGI FOTON YANG DI[PANCARKAN SUMEER = ',E:2:3,' MeV');
  writeln('NOMOR MASSA SUMEER      A = ',NMass:2:0);
  writeln('NOMOR ATOM SUMEER      Z = ',NAtom:2);
  writeln('MASSA JENIS SUMEER (RHO) = ',MasaJenis:2:3,' GR/CM');
  writeln('KDEFISIEN SERAPAN TOTAL = ',TAU:2:4,' /CM ');
  writeln('CACAH ACAK TOTAL      = ',N:2);
end;
}
Procedure RasioBola;
(* Menghitung swaserapan pada sampel bola (Lih. Francois, 1974) *)
var MiuR, sum1, sum2, sum, rasio : real;

begin
  MiuR := Tau * R;
  sum1 := MiuR + 0.5;
  sum2 := exp(-2*MiuR);
  sum1 := sum1 * sum2;
  sum2 := sqr(MiuR) - 0.5;
  sum := 3*(sum1+sum2)/4;
  sum := sum/sqr(MiuR);
  sum := sum/MiuR;
  Rasio := (1-sum)*100;
  writeln('RASIO = ',rasio:8:4,' PERSEN ');
end;
}
Procedure Cakram;
var K : integer;
begin
  WRITELN;
  writeln('MODEL BENTUK SUMEER ADALAH CAKRAM ');
  write('JEJARI CAKRAM ( CM ) : '); readln(R);
  write('TEBAL CAKRAM ( CM ) : '); readln(D);

```

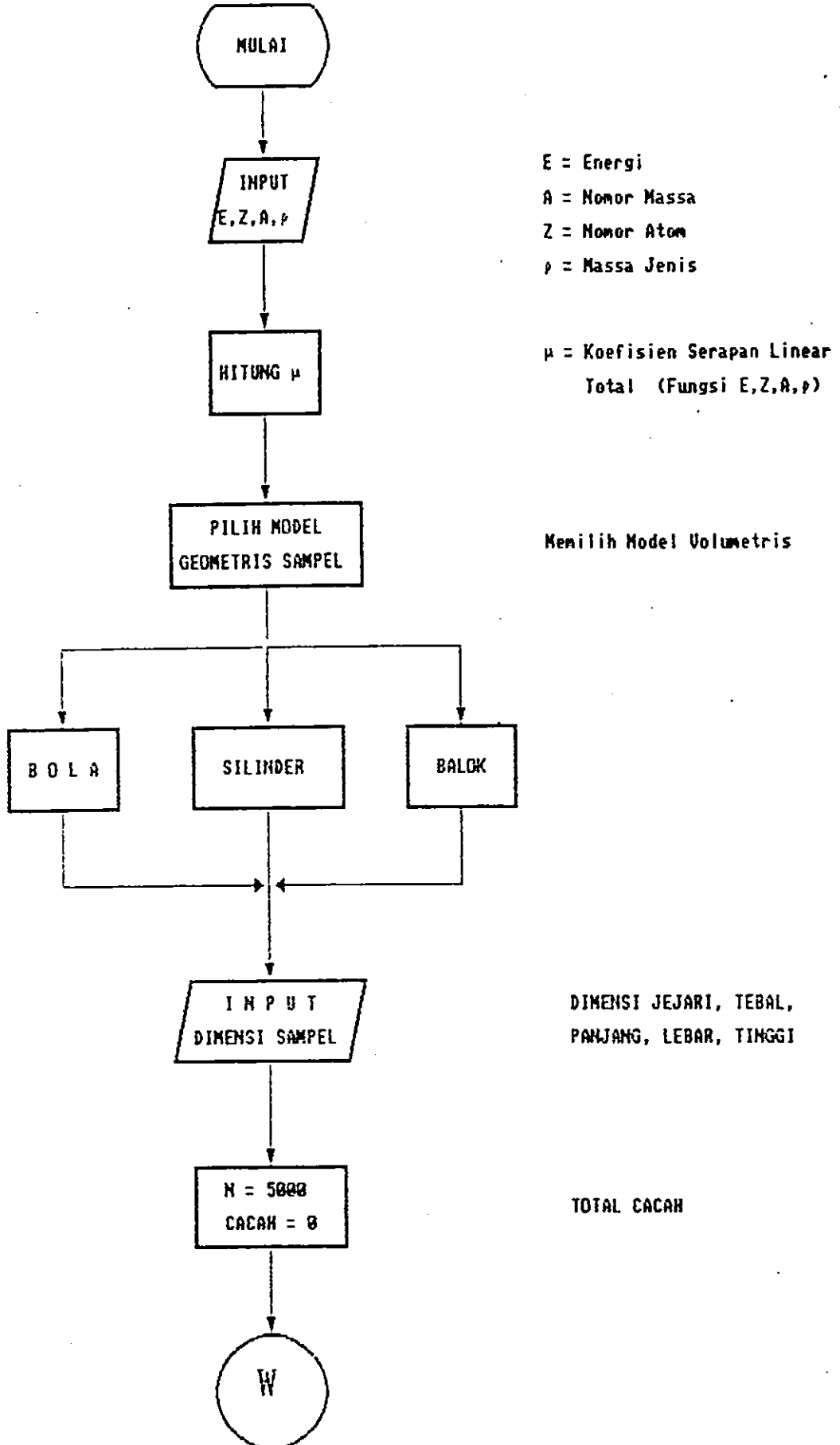
```

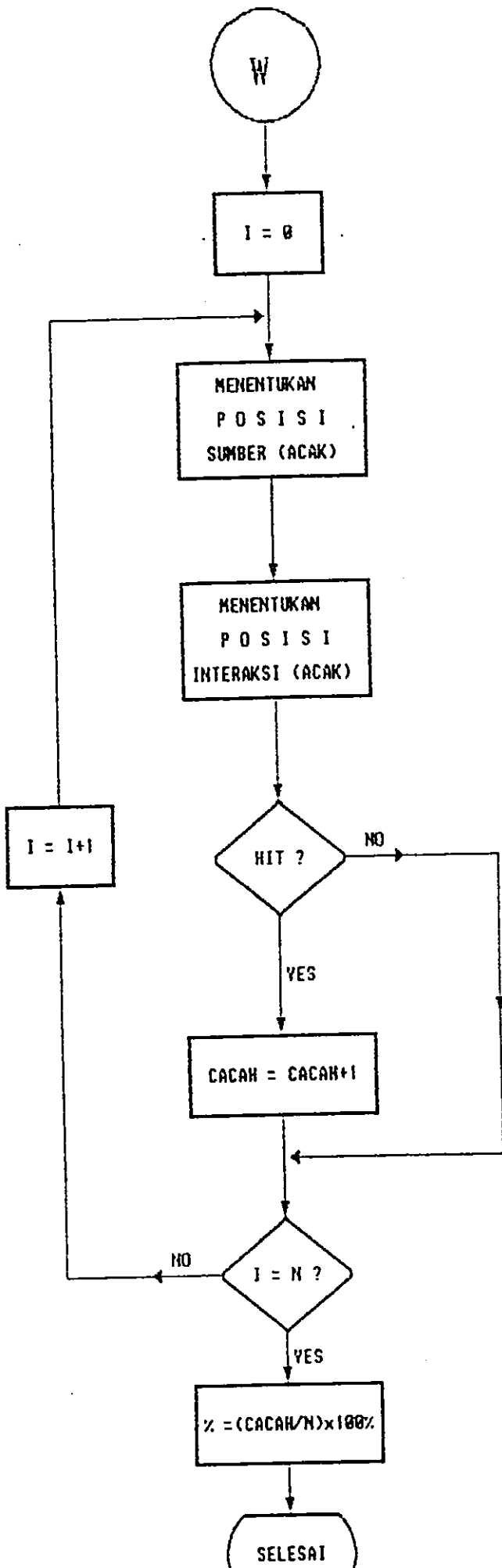
writeln;
writeln('PERSENTASE SWA-SERAPAN BENTUK CAKRAM (5 PERCOBAAN) : ');
writeln('=====');
for K:=1 to 5 do
begin
    Satu_Cacah_Cakram(K);
    writeln('PERCOBAAN : ',K:3,'          PERSENTASE : ',cent[k]:6:2,' %
');
end;
end;
(-----)
Procedure Bola;
var K : integer;
begin
    WRITELN;
    writeln('MODEL BENTUK SUMBER ADALAH BOLA ');
    write('JEJARI BOLA ( CM ) : '); readln(R); WRITELN;
    writeln('PERSENTASE SWA-SERAPAN BENTUK BOLA (5 KALI) : ');
    writeln('=====');
    writeln;
    for K:=1 to 5 do
        begin
            Satu_Cacah_Rola(K);
            writeln('PERCOBAAN : ',K:3,'          PERSENTASE : ',cent[k]:6:2,' %
');
        end;
    RasioBola;
end;
(-----)
Procedure Kotak;
var K : integer;
begin
    WRITELN;
    writeln('MODEL BENTUK SUMBER ADALAH KOTAK ');
    write('PANJANG KOTAK ( CM ) : '); readln(P);
    write('LEBAR KOTAK ( CM ) : '); readln(L);
    write('TINGGI KOTAK ( CM ) : '); readln(H);
    WRITELN;
    writeln('PERSENTASE SWA-SERAPAN BENTUK KOTAK (5 KALI) : ');
    writeln('=====');
    writeln;
    for K:=1 to 5 do
        begin
            Satu_Cacah_Kotak(K);
            writeln('PERCOBAAN : ',K:3,'          PERSENTASE : ',cent[k]:6:2,' %
');
        end;
end;
(-----)

```


1911

```
begin
  Clrscr;
  Seed := 4.0;
  KoefSerapan;
  PilihModel(Ch,Tau);
  case ch of
    'C', 'c' : Cakram;
    'B', 'b' : Bola;
    'K', 'k' : Kotak;
  end;
  Meanstd(cent);
  READLN;
end.
```





Inisialisasi

Menggunakan Metoda Acak Monte Carlo

Yes = Di Dalam Sampel
No = Di Luar Sampel

Cacah Yang Terserap

Persentase Swaserapan