

## KARAKTERISASI KAPSUL *RABBIT* JENIS POLYETHYLENE NAPHTHALENE

Sarwani, S.Suroso, Suwoto, Pranto B.

### ABSTRAK

**KARAKTERISASI KAPSUL *RABBIT* JENIS POLYETHYLENE NAPHTHALENE.** Polyethylene Naphthalene (PEN) merupakan polimer jenis plastik yang mempunyai titik leleh 273°C (lebih tinggi dari Polyethylene). PEN akan dipergunakan sebagai bahan kapsul yang akan diiradiasi di fasilitas iradiasi sistem *rabbit* dengan *fluence* neutron besar. Pengujian kapsul PEN telah dilakukan dengan mengiradiasi kapsul PEN pada *fluence* neutron bervariasi, mengukur laju dosis radiasinya, menganalisis unsur pengotor yang terkandung dalam kapsul dan selanjutnya dilakukan uji kerapuhan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kapsul PEN tahan diiradiasi sampai *fluence* neutron  $2,8 \times 10^{17}$  n/cm<sup>2</sup> dengan laju dosis kapsul PEN setelah peluruhan 1 jam pada jarak 0 m adalah 1460 <sup>H</sup>Gy dan pada jarak 1 meter adalah 153 <sup>H</sup>Gy. Unsur pengotor yang terkandung dalam kapsul PEN adalah Na, Al, Zn, Sb, Mn, Cr, Cu, Sn dan Ti. Hasil uji kerapuhan kapsul PEN yang teriradiasi pada *fluence* neutron  $2,8 \times 10^{17}$  n/cm<sup>2</sup> adalah 2 kJ/m<sup>2</sup>. Dari hasil pengujian tersebut di atas menunjukkan bahwa kapsul PEN tahan untuk diiradiasi sampai *fluence* neutron  $2,8 \times 10^{17}$  n/cm<sup>2</sup> (6 jam) pada daya 15 MW. Untuk keselamatan pekerja maka penanganan kapsul PEN harus dilakukan di dalam Hot Cell.

### ABSTRACT

**CHARACTERITATION OF THE POLYETHYLENE NAPHTHALENE CAPSULE.** Polyethylene Naphthalene (PEN) is a plastic polymer with melting point of 273°C. The PEN will be used for capsule material and irradiated in the *rabbit* system facility dealing with high neutron *fluence*. The characteritaton test of the PEN capsule has been carried out at varied neutron *fluence* and then followed by radiation measurement, analysis of the impurities in the capsule material and brittle test of the capsule. The result shows that PEN capsule can be applied at neutron *fluence* of  $2.8 \times 10^{17}$  n/cm<sup>2</sup>. The radiation dose after 1-hour of cooling down is 1460 <sup>H</sup>Gy at 0-meter and 153 <sup>H</sup>Gy at 1-meter. The impurities in the capsule material are Na, Al, Zn, Sb, Mn, Cr, Cu, Sn and Ti. The capsule brittle test is 2 kJ/m<sup>2</sup> at neutron *fluence* of  $2.8 \times 10^{17}$  n/cm<sup>2</sup>. The handling of the PEN capsule must be carried out in the hot cell

### PENDAHULUAN

Untuk memanfaatkan reaktor nuklir secara optimal, maka Reaktor Serba Guna-GA.Siwabessy mempunyai beberapa fasilitas iradiasi yang digunakan untuk melakukan penelitian, pengujian dan produksi radioisotop. Salah satu fasilitas tersebut adalah fasilitas iradiasi sistem *rabbit* yang dapat digunakan untuk iradiasi sampel dengan waktu singkat (beberapa detik) sampai waktu relatif panjang (4-5 jam). Sejauh

ini penggunaan fasilitas tersebut digunakan untuk iradiasi sampel dengan *fluence* neutron rendah ( $3,5 \times 10^{16}$  n/cm<sup>2</sup>) dengan menggunakan kapsul Polyethylene sebagai wadah sampel. Dalam rangka peningkatan pelayanan iradiasi, maka dilakukan pengembangan kapsul *rabbit* yang tahan terhadap *fluence* neutron besar, tidak cepat rapuh dan serapan terhadap neutron rendah.

Polyethylene Naphthalene (PEN) merupakan polimer jenis plastik (buatan

Teijin-Jepang), mempunyai titik leleh 273°C (lebih tinggi dari Polyethylene) yang dipilih untuk digunakan sebagai bahan kapsul *rabbit* untuk wadah sampel yang akan diiradiasi dengan *fluence* neutron besar ( $\pm 3 \times 10^{17}$  n/cm<sup>2</sup>).

Dalam penelitian ini akan dikaji karakterisasi kapsul PEN dengan cara mengiradiasi kapsul tersebut pada *fluence* neutron yang bervariasi, mengukur laju dosis radiasinya, menganalisis unsur-unsur yang terkandung dalam PEN secara kualitatif dan selanjutnya melakukan pengujian mekanik untuk mengetahui tingkat kerapuhan kapsul setelah iradiasi dengan menggunakan alat uji kerapuhan (uji Charpy). Laju dosis radiasi kapsul PEN teraktivasi diukur dengan menggunakan alat survey meter, sedangkan analisis kandungan unsur yang terkandung dalam kapsul PEN dilakukan dengan metode spektrometri sinar  $\gamma$  dengan menggunakan detektor Hp.Ge.

## TEORI

Bila suatu bahan diiradiasi dengan neutron, maka inti atom di dalam sampel yang diiradiasi akan bereaksi dengan neutron sehingga terjadi suatu proses aktivasi yang menghasilkan suatu radionuklida tertentu. Radionuklida yang terbentuk akan menghasilkan pancaran sinar  $\gamma$  dan mungkin sekaligus akan menghasilkan sinar  $\beta$ . Sinar  $\gamma$  dan sinar  $\beta$  yang dipancarkan akan mempunyai tenaga yang spesifik dan mencirikan nuklida pemancarnya. Aktivitas sinar  $\gamma$  dan sinar  $\beta$  yang dihasilkan akan sebanding dengan jumlah radio nuklida yang terbentuk. Jumlah nuklida yang terbentuk akan tergantung dengan kelimpahan isotop alamiahnya dan sebanding pula dengan massa unsur yang ada di dalam sampel tersebut. Dengan melakukan pengukuran terhadap energi sinar  $\gamma$  yang terbentuk, maka dapat ditetapkan unsur yang terkandung di dalam sampel. Jika setiap energi  $\gamma$  ini

sebanding dengan massa unsur di dalam sampel, maka apabila dilakukan pengukuran terhadap setiap sinar  $\gamma$ , dapat ditetapkan jumlah unsur tersebut. Pada keadaan sampel mengandung unsur W gram dan telah diiradiasi dengan neutron, maka radioaktivitas yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut <sup>4)</sup>:

$$A = \frac{W \cdot \theta \cdot N}{M} \cdot f \cdot \sigma \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t})$$

Keterangan :

A = aktivitas radionuklida (s<sup>-1</sup>)

W = berat unsur (gram)

N = bilangan Avogadro  
(6,02 x 10<sup>23</sup> mol<sup>-1</sup>)

$\theta$  = koefisien kelimpahan target radionuklida di dalam unsur.

f = densitas fluks neutron thermal  
(n/cm<sup>2</sup>.s)

$\sigma$  = penampang lintang aktivasi  
(barn)

$\lambda$  = kecepatan disintegrasi dari produk radionuklida (= 0,693 / T<sub>1/2</sub>)

t = waktu iradiasi (s)

T<sub>1/2</sub> = umur paroh radionuklida  
(s)

Untuk menjaga keselamatan pekerja terhadap bahaya radiasi pada saat penanganan kapsul PEN setelah iradiasi, maka perlu diketahui besarnya laju dosis radiasi kapsul tersebut. Besarnya laju dosis radiasi kapsul dapat dihitung dengan pendekatan

$$\text{rumus : } D = \frac{M \times E}{6r^2}$$

Keterangan :

D = laju dosis (Hsv/jam)

M = aktivitas sumber (Mbc)

E = energi (Mev)

r = jarak (meter)

Dalam pelaksanaannya laju dosis radiasi kapsul PEN diukur dengan menggunakan alat survey meter.

## TATA KERJA

Kapsul PEN yang berukuran diameter luar 32 mm dan panjang 67 mm sebelum diiradiasi, dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran atau debu yang menempel pada permukaan kapsul. Kemudian kapsul PEN diiradiasi di dalam fasilitas sistem *rabbit* pada daya 15 MW ( $\phi = 1,3 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ ) dengan *fluence* neutron bervariasi yaitu mulai dari  $2,3 \times 10^{16} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$  sampai  $2,8 \times 10^{17} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$  (waktu iradiasi : 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5 dan 6 jam).

Untuk mengetahui laju dosis radiasi kapsul PEN, maka setelah kapsul diiradiasi pada setiap *fluence* neutron tersebut diatas, langsung dilakukan pengukuran laju dosis radiasinya pada jarak 0 m (menempel) dan jarak 1 m. Penentuan unsur-unsur pengotor yang terkandung di dalam kapsul PEN teriradiasi dilakukan dengan metoda spektrometer sinar  $\gamma$  yaitu : metoda spektrometer sinar  $\gamma$  konvensional menggunakan detektor HpGe pada 4096 kanal MCA dengan lama pencacahan 200–1200 detik setelah mengalami peluruhan yang sesuai (4–20 hari). Sedangkan untuk uji kerapuhan kapsul PEN teriradiasi diuji dengan menggunakan mesin uji Charpy.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengamatan secara fisik terlihat adanya perubahan warna kapsul dari warna kuning jernih berubah menjadi agak gelap dan semakin besar *fluence* neutron, warna kapsul berubah menjadi hitam. Pada *fluence* neutron  $2,8 \times 10^{17} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$  bentuk kapsul tidak berubah serta belum mengalami keretakan. Sedangkan hasil pengujian kapsul PEN dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 1 s/d 3.

Dari grafik peluruhan kapsul PEN (Gambar 1) yang diiradiasi pada *fluence* neutron  $4,7 \times 10^{16} \text{ n/cm}^2$  terlihat bahwa kapsul PEN mempunyai harga laju dosis

radiasi yang lebih besar dibandingkan dengan kapsul Polyethylene. Hal ini disebabkan karena kapsul PEN mempunyai unsur pengotor yang mempunyai tampang lintang lebih besar dibandingkan unsur pengotor yang terkandung dalam kapsul polyethylene.

Dari hasil analisis kapsul PEN yang dilakukan dengan metoda spektrometer sinar- $\gamma$  dengan menggunakan detektor HpGe terlihat bahwa unsur pengotor yang terkandung dalam kapsul PEN adalah Na, Al, Zn, Sb, Mn, Cr, Cu, Sn dan Ti. Kapsul PEN mengandung unsur Ti, karena pada saat proses polimerisasi Polyethylene Naphthalene, digunakan katalisator Ti untuk mempercepat proses polimerisasi<sup>1)</sup>. Sedangkan unsur-unsur pengotor lainnya kemungkinan datang pada saat proses pembuatan kapsul. Sedangkan dari grafik laju dosis radiasi kapsul PEN vs lama iradiasi (Gambar 2) terlihat bahwa semakin besar lama iradiasi maka semakin besar pula laju dosis radiasinya. Ini menunjukkan bahwa apabila kapsul PEN digunakan sebagai wadah sampel yang diiradiasi dalam waktu yang lama, maka pengeluaran sampel harus dilakukan di dalam Hot Cell untuk keselamatan pekerja.

Dari grafik hasil uji kerapuhan kapsul PEN (Gambar 3) menunjukkan bahwa harga tenaga pukul kapsul PEN yang teriradiasi pada *fluence* neutron  $2,8 \times 10^{17} \text{ n/cm}^2$  adalah  $2 \text{ kJ/m}^2$ . Harga tersebut lebih besar dibandingkan dengan tenaga bantingan kapsul di dalam fasilitas sistem *rabbit* ( $1,5 \text{ kJ/m}^2$ ). Ini menunjukkan bahwa bila kapsul PEN diiradiasi sampai *fluence* neutron  $2,8 \times 10^{17} \text{ n/cm}^2$ , maka kapsul tersebut belum mengalami keretakan.

## KESIMPULAN

Hasil pengujian kapsul PEN menunjukkan bahwa kapsul PEN tahan untuk diiradiasi sampai 6 jam pada daya 15 MW.

Untuk keselamatan pekerja, maka pengeluaran sampel dari dalam kapsul

PEN harus dilakukan di dalam Hot Cell.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. INTERATOM GMBH., System Description *Rabbit* System, Ident. No. 49.00432.1
2. JAMES F.S., Material Science and Engineering Hand Book, CRC Press Inc., 1994
3. KENJI ARIGANE dkk., Development of Plastic Capsule for Research Reactor Irradiation, JAERI-M 92-078, 1992.
4. M. RIDWAN dkk., Pengantar Ilmu dan Teknologi Nuklir, BATAN, Jakarta – 1978.
5. SRI WARDHANI dkk., Penentuan Unsur Kelumit dalam cuplikan batuan dengan metoda APN, Proceeding Hasil Penelitian 1995-1996, PRSG-BATAN. ISSN 0854-5278.

**Pertanyaan (Koes Indrakoesoema) :**

Temperatur operasi untuk PEN berapa derajat dan berapa temperatur di *rabbit*, apakah memenuhi syarat ?

**Jawaban (Sarwani) :**

Titik leleh PEN = 273° C, jadi temperatur operasi PEN harus di bawah titik lelehnya. Sampai sekarang kami belum mengetahui heating di fasilitas *rabbit* system, tetapi yang jelas harganya kecil, karena fasilitas *rabbit* system berada di daerah reflector.

**Pertanyaan (Usman Sudjadi) :**

Apakah kapsul-kapsul yang dipakai baru ? sebab jika bekas maka sudah terdapat unsur-unsur kontaminasi.

**Jawaban (Sarwani) :**

Kapsul-kapsul PEN yang dipakai jelas yang baru, kami mendapatkan kapsul PEN dari JAERI.

**Pertanyaan (Pustandyo W) .:**

Mengapa terjadi perubahan warna dari PEN setelah diiradiasi, mohon dijelaskan ?

**Jawaban (Sarwani) :**

Kemungkinan karena ada perubahan struktur polimer dari poly-thylene naphthalene

**Pertanyaan (Rusdiyanto) :**

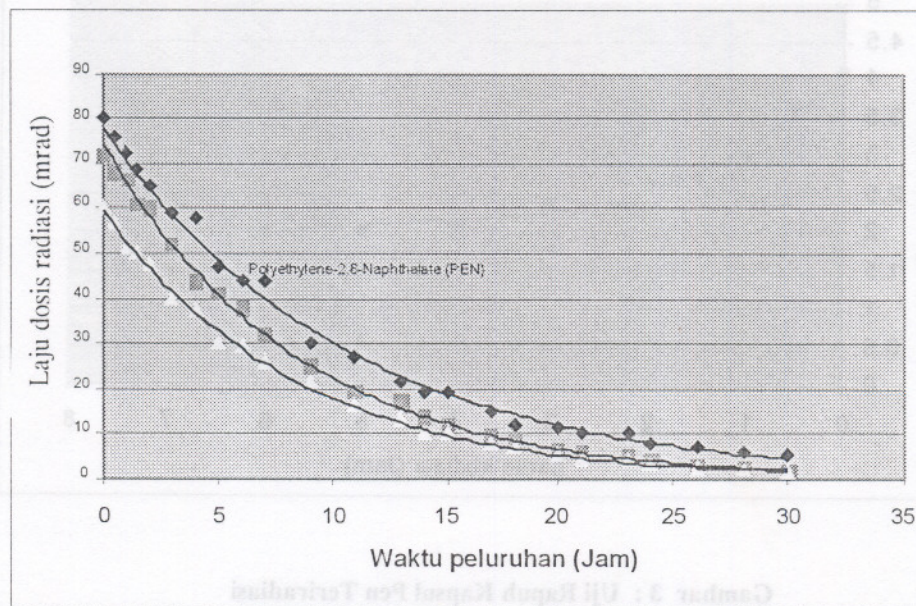
Dimana melakukan iradiasi sample kapsul poly dilakukan ? apakah langsung di *rabbit* system ?

**Jawaban (Sarwani) :**

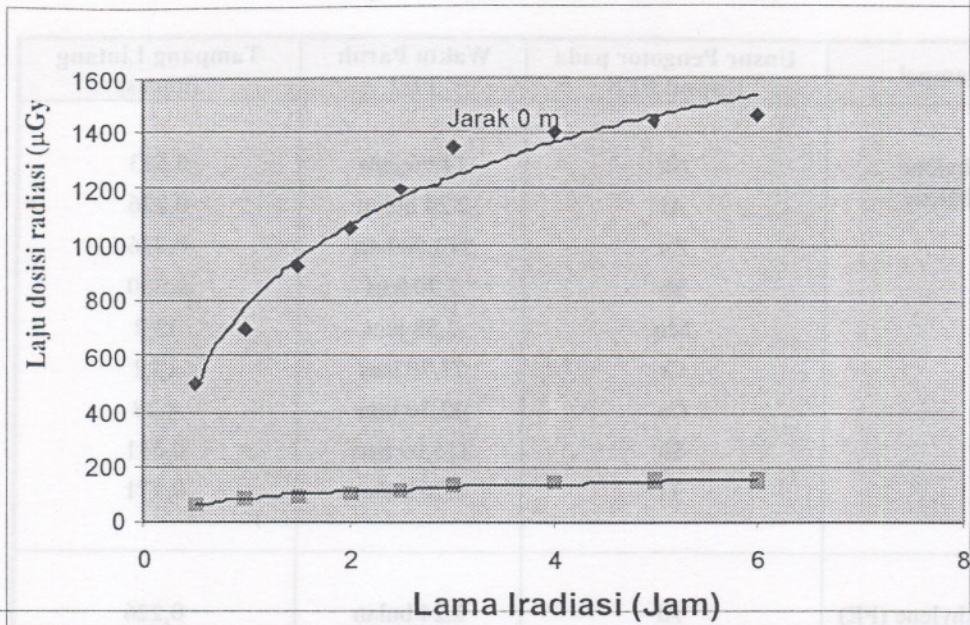
Kami melakukan iradiasi kapsul PEN di fasilitas *rabbit* pada sistem hidrolika

Tabel 1. Hasil Analisis Kualitatif Kapsul PEN

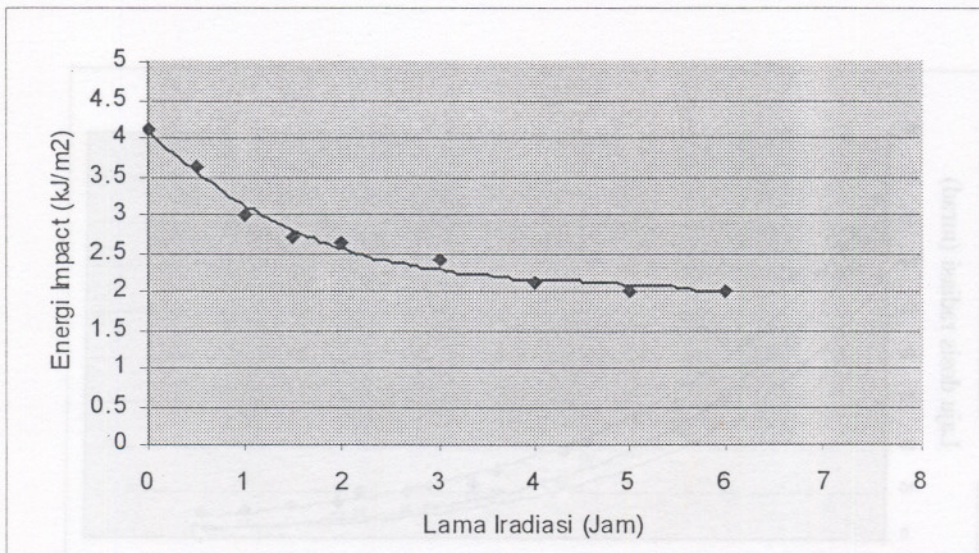
Sampel	Unsur Pengotor pada Kapsul PEN	Waktu Paruh T <sub>1/2</sub>	Tampang Lintang (barns)
Polyethylene Naphthalene (PEN)	Na	14,96 jam	0,513
	Al	2,24 bulan	0,226
	Zn	243,90 hari	0,726
	Sb	2,70 hari	6,330
	Mn	2,58 jam	13,2
	Cr	27,70 hari	15,2
	Cu	12,70 jam	4,28
	Sn	115,09 hari	0,541
	Ti	5,76 bulan	0,171
Polyethylene (PE)	Al	2,24 bulan	0,226
	Mn	2,58 jam	13,2
	Cr	27,7 hari	15,2
	Cu	12,7 jam	4,28
	P	14,28 hari	0,18



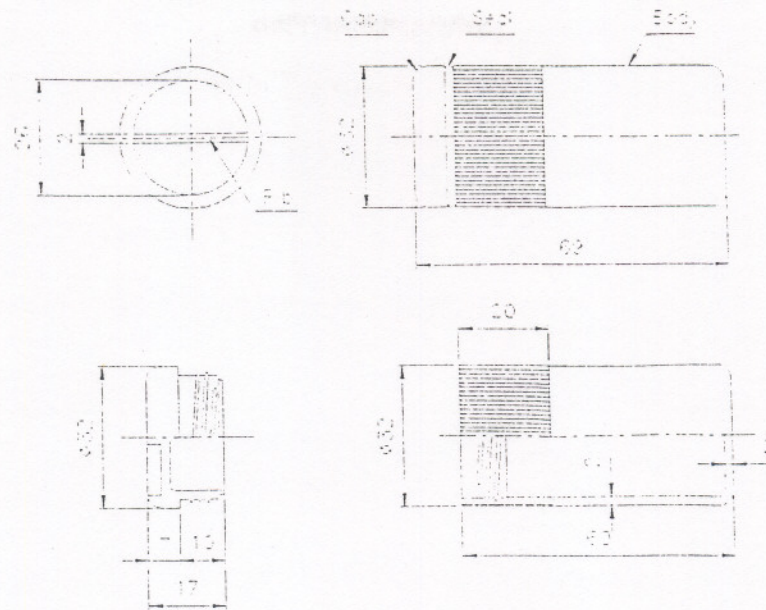
Gambar 1 : Peluruhan Kapsul Plastik  
(Teriradiasi pada  $Fluence\ 4,7\text{-}E16\ n.cm^2$ )



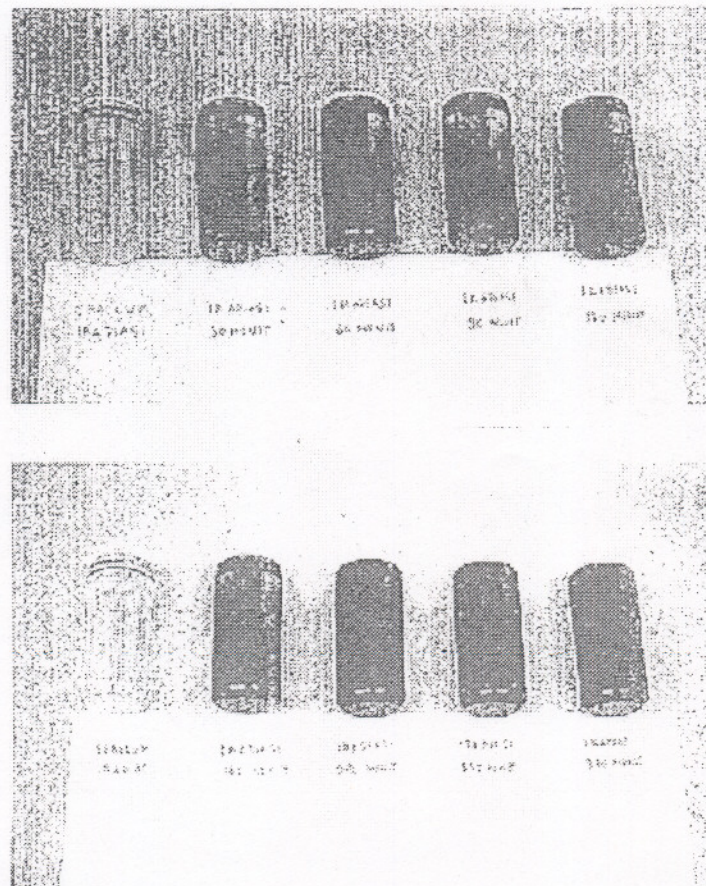
Gambar 2 : Laju Dosis Radiasi Kapsul Pen  
(Fluks neutron 1,3-E13 n/cm<sup>2</sup>.det)



Gambar 3 : Uji Rapuh Kapsul Pen Teriradiasi  
(Fluks neutron 1,3-E13 n/cm<sup>2</sup>.det)



Gambar 4. Kapsul Polyethylene Naphthalene



Gambar 5. Kapsul PEN Teriradiasi