

## PENENTUAN DOSIS RADIASI MENGGUNAKAN DOSIMETER FRICKE

Sukaryono<sup>1</sup>, Suhartono<sup>1</sup> dan Athanasia Elra Andjioe<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, BATAN.

Jl. Babarsari Kotak Pos 1601 ykbb, Yogyakarta

email:sukaryono@batan.go.id

<sup>2</sup>Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir (STTN), BATAN

### ABSTRAK

*PENENTUAN DOSIS RADIASI MENGGUNAKAN DOSIMETER FRICKE. Telah dilakukan penentuan dosis radiasi menggunakan dosimeter Fricke. Penentuan dosis radiasi dilakukan di irradiator gamma PAIR-BATAN Jakarta dan mesin berkas elektron PSTA-BATAN Yogyakarta. Tujuan dilakukannya irradiasi dosimeter Fricke adalah untuk mengetahui korelasi perubahan konsentrasi larutan terhadap dosis radiasi. Penelitian dimulai dengan preparasi larutan kemudian dilanjutkan dengan iradiasi larutan dan penentuan dosis serta analisis cuplikan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin pekat konsentrasi larutan semakin tinggi absorbansi. Dosis serapan Fricke yang diiradiasi dengan irradiator Gamma dan MBE sebesar 4,13 kGy dan 40,12 kGy dengan kesalahan pada masing-masing pengukuran sebesar 17,4 % dan 25,57%.*

*Kata kunci: dosimeter Fricke, dosis, iradiasi, MBE, irradiator*

### ABSTRACT

*DETERMINATION OF RADIATION DOSE USING FRICKE DOSIMETER. Determination of radiation dose using Fricke dosimeter has been done. Determination of radiation was been done at gamma irradiator in PAIR-BATAN Jakarta and in the electron beam machine in PSTA-BATAN Yogyakarta. The purpose of radiation dosimeter Fricke is to determine the correlation between amount of concentration changes of the solution and the dose rate. Determination start from sample preparation, sample irradiation and calculation dose and then sample analysis. Result of this research is when the increase in solution so the increase in absorbance. Fricke absorbed dose irradiated with gamma irradiators and EBM are 4.13 kGy and 40.12 kGy respectively with an error on each measurement of 17.4% and 25.57%.*

*Keywords: Fricke dosimeter, the dose, irradiation, EBM, irradiators*

### PENDAHULUAN

Dosimetri merupakan kegiatan pengukuran dosis radiasi dengan teknik pengukuran didasarkan pada pengionan yang disebabkan oleh radiasi dalam suatu bahan/materi. Untuk mengukur besarnya energi radiasi yang diserap oleh materi perlu diperkenalkan suatu besaran yang tidak tergantung pada jenis radiasi, energi radiasi, maupun sifat bahan penyerap, tetapi hanya bergantung pada jumlah energi radiasi yang diserap persatuan massa bahan yang menerima penyinaran radiasi tersebut. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengukur dosis serap dari radiasi. Dosimeter standar dapat digunakan untuk menentukan nilai dosis secara langsung. Ada tiga jenis dosimeter standar yang dimanfaatkan untuk dosimetri radiasi [1]. Ketiga dosimeter itu bekerja berdasarkan pada proses kimia. Dosimeter Fricke merupakan salah satu dari ketiga dosimeter standar tersebut.

Radiasi yang diterima tidak dapat langsung terukur karena manusia ataupun lingkungan tidak

punya variabel yang menunjukkan berapa besarnya dosis yang diterima, melainkan terjadi perubahan yang berupa efek kimia maupun fisika dari materi yang terkena radiasi. Efek kimia inilah yang digunakan sebagai pengukur dosis atau laju dosis radiasi [2]. Proses kimia tersebut dinamakan dosimetri kimia dan untuk pengukurannya menggunakan dosimeter, dalam kimia radiasi terdapat beberapa jenis dosimeter, salah satunya adalah dosimeter Fricke [3]. Dosimeter Fricke merupakan dosimeter yang digunakan dalam dosimetri gamma maupun elektron, namun dalam aplikasinya sistem ini memiliki beberapa kelemahan, seperti harus digunakan bahan-bahan kimia dengan tingkat kemurnian yang sangat tinggi serta semua peralatan yang dipergunakan harus benar-benar bersih untuk mendapatkan sistem pemantau yang baik [4]. Pada penelitian ini dilakukan irradiasi dosimeter Fricke untuk mengetahui korelasi besarnya laju dosis terhadap perubahan konsentrasi larutan pada dosimetri Fricke dengan menggunakan fasilitas irradiator gamma yang ada di PAIR-BATAN Jakarta

dan Mesin Berkas Elektron 350 keV/10 mA PSTA-BATAN Yogyakarta.

Untuk menentukan dosis serap yang diterima oleh bahan, maka dibutuhkan dosimeter. Dosimetri radiasi adalah suatu metode pengukuran kuantitas energi radiasi, baik yang berupa gelombang elektromagnet maupun berupa arus partikel bermuatan yang dipancarkan oleh sumber radiasi pada titik geometris tertentu atau diserap oleh materi yang terirradiasi. Pada hakekatnya dosimetri industri merupakan unsur pokok dari langkah-langkah menuju penggunaan radiasi secara baik dan cara memproduksi barang dengan baik [5]. Karena dosimetri merupakan upaya pengendalian dosis radiasi terserap pada bahan sehingga menghasilkan produk yang berkualitas maka seluruh parameter yang terlibat dalam proses radiasi harus diperhitungkan dan diperhatikan pengaruhnya. Diantara parameter yang dimaksud adalah [6]:

1. Sumber radiasi (jenis dan energi radiasi, kekuatannya, efisiensi)
2. Bagaimana cara produk diirradiasi (apakah menggunakan konveyor, berapa kecepatannya, berapa kali melintas sumber)
3. Dimensi produk yang diirradiasi
4. Bagaimana profil distribusi dosis dalam produk, posisi dosis maksimum dan dosis minimum
5. Bagaimana lingkungan/kondisi iradiasi (temperatur, inert, atau lingkungan oksigen)
6. Bagaimana pelaksanaan pengukuran dosis radiasi terserap sehingga dapat memenuhi syarat statistik dan keselamatan kerja.

Dosimeter Fricke adalah salah satu dosimeter standar acuan yang paling lazim digunakan untuk mengkalibrasi medan radiasi maupun untuk mengkalibrasi dosimeter rutin. Dosimeter ini digunakan untuk mengkalibrasi medan radiasi dan juga digunakan untuk dosimeter rutin. Berhubung tidak semua laboratorium atau fasilitas iradiasi mempunyai dosimeter standar primer, maka untuk mengkalibrasi medan radiasi dapat digunakan dosimeter standar acuan. Beberapa contoh dosimeter standar acuan dapat dilihat pada Tabel 1.

Dosimeter Fricke merupakan salah satu jenis pengukur dosis serap yang dipakai sebagai dosimeter acuan karena absorpsinya yang tinggi dan mempunyai hubungan yang linier terhadap dosis serap. Proses iradiasi dapat mengoksidasi ion  $Fe^{2+}$  menjadi ion  $Fe^{3+}$ . Oksidasi ini akan menyebabkan terjadinya perubahan rapat optik pada larutan dosimeter sehingga dapat dimanfaatkan untuk pengukuran dosis radiasi. Jumlah ion ferri ( $Fe^{3+}$ ) yang terbentuk sebanding dengan besar perubahan rapat optik dan

dapat diukur secara teliti dengan metode spektrofotometri. Keunggulan dari dosimeter Fricke ini antara lain adalah apabila laju dosis dari sumber yang diukur tidak melebihi 2107 Gy/s dan temperatur tidak menyimpang selama proses iradiasi, maka laju dosis sumber tidak berpengaruh terhadap hasil pengukuran [8]. Tingkat perubahan rapat optik pada pemantau Fricke cukup linier dengan dosis radiasi yang diterima, sehingga perhitungan dosisnya dapat dilakukan menggunakan suatu faktor konversi yang menunjukkan hubungan antara dosis dan tingkat perubahan rapat optik larutan.

**Tabel 1.** Contoh dosimeter standar acuan [7]

No	Dosimeter	Sistem pengukuran	Daya terukur terpakai (Gy)
1	Kalorimeter	Thermometer	$10^2 - 10^5$
2	Kamar Ionisasi	Ammeter	$< 3 \cdot 10^4$ Gy/h
3	Alanin	ESR Spektrometer	$1 - 10^5$
4	Larutan Ceri-cero sulfat	UV Spektrophotometer Potensial elektrometer	$10^3 - 10^5$
5	Larutan etanol khlorobenzen	Titirasi warna	$10^2 - 10^5$
6	Larutan ferosulfat (Fricke)	UV Spektropotometer	$10 - 4 \cdot 10^2$
7	Larutan potassium /silver dichromic	UV Spectrophotometer	$10^3 - 10^5$
8	Dosimeter arus elektron	Ammeter	$0,01 - 10 \mu A/cm^2$ ( $10^4 - 10^8$ Gy/h)

Penentuan laju dosis pada titik percobaan diukur dengan dosimeter Fricke sebagai dosimeter pembanding. Konsentrasi ion feri ditentukan dengan mengukur absorbansi dari larutan dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 305 nm yang merupakan puncak dari spektrum absorbansi. Konsentrasi ion feri dapat dihitung dengan persamaan berikut [9].

$$F_{Fe^{3+}} = \frac{\Delta OD}{d \cdot \epsilon \cdot (1 + 0,007(T - 25))} \quad (1)$$

sedangkan untuk menghitung dosis serap dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut [10].

$$D = \frac{[K_b - K_a] \times 100}{\rho \cdot d \cdot G (Fe^{3+}) 10^3} \times NA \times 1,602 \times \frac{10^{-12} rad}{jam} \quad (2)$$

dengan :

$K_b$  : konsentrasi sebelum iradiasi

$K_a$  : konsentrasi sesudah iradiasi

$D$  : dosis serap

$\rho$  : densitas

$d$  : tebal

$G$  : G Value untuk sumber CO-60 adalah 15,6

NA: Bilangan Avogadro

## TATA KERJA

### Bahan:

(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Aquades, Fenantrolin, NaOH

### Alat:

Peralatan yang digunakan terdiri dari irradiator gamma PAIR-BATAN, Mesin Berkas Elektron 350 keV/10 mA PSTA-BATAN, spektrofotometer UV-Vis, piknometer, gelas beker, PH meter, labu ukur, gelas arloji, neraca analitik, vial-vial plastik, lakban, botol kecil.

### Preparasi Sampel Larutan

- Pembuatan larutan standar Fe(II) dengan deret standar konsentrasi 0%, 5%, 10%, 20%, 30% dan 40% untuk standar irradiator gamma PAIR-BATAN dan konsentrasi 0%, 4%, 8%, 12%, 16%, dan 20% untuk standar MBE 350 keV/10 mA PSTA-BATAN.
- Tambahkan larutan standar ke dalam Na-Asetat sampai pH berada pada kisaran 3 – 6, lalu tambahkan 1,10 fenantrolin dan ditanda bataskan.
- Larutan standar dicuplik sebagian, kemudian dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS dan dicatat absorbansinya, lakukan pengulangan sebanyak 3 kali untuk masing-masing sampel.
- Lakukan iradiasi dengan MBE dan irradiator gamma terhadap sampel dan larutan standar.
- Lakukan pengukuran absorbansi setelah diiradiasi dengan menggunakan UV-VIS.
- Lakukan penentuan dosis serapnya

### Iradiasi Sampel dan Penentuan Dosis Radiasi

Larutan sampel disiapkan ke dalam wadah kaca dan diberi label. Sampel diiradiasi menggunakan irradiator gamma PAIR-BATAN dan MBE 350 keV/10 mA PSTA-BATAN. Perlakuan iradiasi dengan MBE 350 keV/10 mA dikondisikan pada tegangan pemercepat 302 kV, arus berkas elektron 2,5 mA dan waktu iradiasi 1 menit. Dosimeter yang

digunakan adalah dosimeter CTA dan dosimeter penanda go-nogo yang ditempel pada sampel.

### Analisis Cuplikan Hasil Degradasi

Analisis kuantitatif dilakukan untuk mengetahui perubahan akibat iradiasi berdasarkan perubahan intensitas atau pengurangan intensitas warna menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Pengukuran intensitas warna dilakukan pada panjang gelombang tertentu pada kondisi terjadi penyerapan maksimum. Juga dilakukan pengamatan dosis CTA menggunakan *CTA reader*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

**Tabel 1.** Data masa larutan

Komponen massa	Untuk iradiasi gamma	Untuk iradiasi MBE
Massa garam mohr (gram)	0,0988	0,0988
Massa piknometer kosong (gram)	9.8432	9.8432
Massa piknometer + H <sub>2</sub> O (gram)	16.2034	16.2034
Massa piknometer + Fricke sebelum iradiasi (gram)	16.2906	16.3867
Massa Piknometer + Fricke setelah iradiasi (gram)	16.9843	16.4221

### Penentuan Densitas

Penentuan densitas sebelum iradiasi gamma

Volume aquades = volume piknometer = volume larutan Fricke

$$\rho (T=29^\circ C) = 0,995945 \text{ g/mL}$$

$$Volume = \frac{\text{massa aquades}}{\text{densitas aquades}} = \frac{(16.2034 - 9.8432)g}{0.995945 \text{ g/mL}} = 6,3861 \text{ mL}$$

$$\rho \text{ larutan fricke} = \frac{\text{massa larutan fricke}}{\text{volume}}$$

$$= \frac{(16.2906 - 9.8432)gram}{6,3861 \text{ mL}} = 1,0096 \text{ g/mL}$$

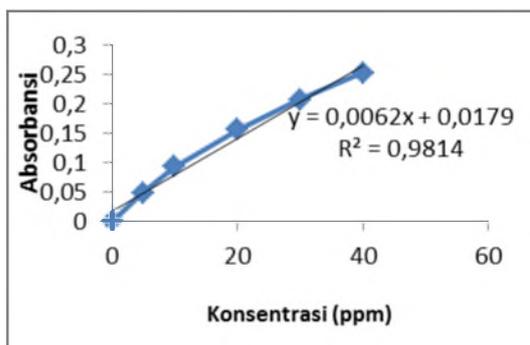
Dengan cara yang sama hasil perhitungan disajikan dalam Tabel 2:

**Tabel 2.** Hasil perhitungan densitas larutan Fricke

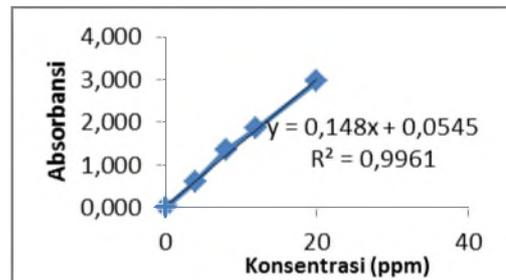
Larutan	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
Aquadest (29 °C)	0,995945
Larutan Fricke sebelum iradiasi gamma	1,0096
Larutan Fricke setelah iradiasi gamma	1,1746
Larutan Fricke sebelum iradiasi MBE	1,0278
Larutan Fricke setelah iradiasi MBE	1,0302

**Tabel 3.** Hasil analisis Fricke yang diiradiasi dengan irradiator gamma

No	Konsentrasi Standar Fe (II)	Absorban
1	0	0
2	5	0,049
3	10	0,093
4	20	0,156
5	30	0,207
6	40	0,253
7	Sebelum iradiasi	0,189
8	Setelah iradiasi	0,016



**Grafik 1.** Hubungan konsentrasi versus absorpsi larutan standar pada irradiator gamma



**Grafik 2.** Hubungan konsentrasi versus absorpsi larutan standar pada MBE

**Tabel 4.** Hasil analisis Fricke yang diiradiasi dengan MBE

No	Konsentrasi Larutan Standar Fe (II)	Absorban
1	0	0
2	4	0,617
3	8	1,351
4	12	1,856
5	16	2,834
6	20	2,959
7	Sebelum iradiasi	1,561
8	Setelah iradiasi	0,087

**Penentuan dosis radiasi**

$$D = \frac{(DO_a - DO_s)100}{\sum \rho d 10^3 G(Ce^{3+})} \times N_A \times 1,602 \cdot 10^{-12} \text{ rad/jam}$$

$$D = \frac{9,647 \times 10^{10} \times \Delta A}{\epsilon \cdot l \cdot \rho \cdot G}$$

dengan

$\Delta A$  = selisih rapat optik larutan sebelum dan sesudah proses iradiasi

$\epsilon$  = koefisien ekstensi molar pada suhu 25°C untuk ion  $Ce^{3+}$

$l$  = panjang optik (1 cm)

$\rho$  = berat jenis larutan, g/cm<sup>3</sup>

$G = G \text{ value } Fe^{3+} = 15,6$

**Dosimeter Fricke irradiator gamma**

$$D = \frac{9,647 \times 10^{13} \times \Delta A}{\epsilon \cdot l \cdot \rho \cdot G} = \frac{9,647 \times 10^{10} \times (0,086 - 0,063)}{(2205) \cdot (1) \cdot (1,1746) \cdot (15,6)}$$

$$D = 413061,9519 \text{ rad} = 4,13 \text{ kGy}$$

**Persentase Kesalahan Fricke irradiasi gamma**

Dosis teoritis = 5 kGy

$$\% \text{ Kesalahan} = \frac{D \text{ teoritis} - D \text{ fricke}}{D \text{ teoritis}} \times 100\% = \left| \frac{5 - 4,13}{5} \right| \times 100\%$$

$$\% \text{ Kesalahan} = 17,4 \%$$

### Dosimeter Fricke MBE

$$D = \frac{9,647 \times 10^{10} \times \Delta A}{\epsilon \cdot l \cdot \rho \cdot G} = \frac{9,647 \times 10^{10} \times (1,561 - 0,087)}{(2205) \cdot (1) \cdot (1,0302) \cdot (15,6)}$$

$$D = 4012684,592 \text{ rad} = 40,12 \text{ kGy}$$

### Persentase Kesalahan Fricke MBE

Dosis terbaca dengan CTA = 53,9 kGy

$$\% \text{ Kesalahan} = \frac{D_{\text{CTA}} - D_{\text{Fricke}}}{D_{\text{CTA}}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Kesalahan} = \frac{53,9 - 40,12}{53,9} \times 100\%$$

$$\% \text{ Kesalahan} = 25,57 \%$$

Pada percobaan ini dilakukan irradiasi terhadap sampel larutan dengan ditambahkan larutan Fricke untuk mengetahui besaran dosis nya. Larutan Fricke merupakan dosimeter kimia sebagai salah satu dosimetri primer. Prinsip dari dosimeter Fricke adalah mengoksidasi ion  $\text{Fe}^{2+}$  menjadi ion  $\text{Fe}^{3+}$ . Oksidasi ini akan menyebabkan terjadinya perubahan rapat optik pada larutan dosimeter sehingga dapat dimanfaatkan untuk pengukuran dosis radiasi. Jumlah ion ferri ( $\text{Fe}^{3+}$ ) yang terbentuk sebanding dengan besar perubahan rapat optik dan dapat diukur secara teliti dengan metode spektrofotometri. Dari hasil pengamatan dan pengukuran dari data standar pada Grafik 1 dan Grafik 2 yaitu hubungan antara absorbansi dan konsentrasi didapatkan konsentrasi sebelum dan setelah irradiasi Irradiator Gamma dan MBE terdapat penurunan konsentrasi yaitu 25,7% menjadi 0,3% (Irradiator gamma) dan 10,18% menjadi 0,22% (MBE) ini menunjukkan pada proses iradiasi dapat mengoksidasi ion  $\text{Fe}^{2+}$  menjadi ion  $\text{Fe}^{3+}$ . Oksidasi ini akan menyebabkan terjadinya perubahan rapat optik pada larutan dosimeter sehingga dapat dimanfaatkan untuk pengukuran dosis radiasi. Jumlah ion ferri ( $\text{Fe}^{3+}$ ) yang terbentuk sebanding dengan besar perubahan rapat optik dan dapat diukur secara teliti dengan metode spektrofotometri. Dosis serapan Fricke yang berasal dari Irradiator Gamma dan MBE sebesar 4,13 kGy dan 40,12 kGy dengan kesalahan pada masing-masing pengukuran 17,4 % dan 25,57%.

### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, akhirnya dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

- Dosimetri kimia dapat digunakan untuk menentukan laju dosis irradiator gamma maupun mesin berkas elektron.
- Proses irradiasi dapat mengoksidasi ion  $\text{Fe}^{2+}$  menjadi ion  $\text{Fe}^{3+}$ . Oksidasi ini akan menyebabkan terjadinya perubahan rapat optik pada larutan

dosimeter sehingga dapat dimanfaatkan untuk pengukuran dosis radiasi.

- Dosis serapan Fricke yang diirradiasi dengan Irradiator Gamma dan MBE sebesar 4,13 kGy dan 40,12 kGy dengan kesalahan pada masing-masing pengukuran 17,4 % dan 25,57%.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis haturkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada Bapak Kepala Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Bapak Kepala Pusat Sains dan Teknologi Akselerator. Tidak lupa penulis haturkan terimakasih kepada Bapak Kabid Fisika Partikel, Kapok Teknologi Akselerator sehingga penulis bisa menggunakan fasilitas untuk melakukan penelitian. Semoga Allah SWT selalu memberikan imbalan yang setimpal atas jasa baik tersebut dan selalu memberi kekuatan kepada kita semua untuk berkarya dan beramal lebih baik lagi dalam setiap kesempatan. Amin.

### DAFTAR PUSTAKA

- Tjahjono Surindro, *Dosimetri Irradiator*, Pelatihan Petugas Irradiator. Gamma, Pusdiklat-BATAN, Jakarta, 2015.
- Rany Saptaja, *Teori Dosimetri Akselerator*, Pelatihan Pekerja Akselerator, Pusat Pendidikan dan Pelatihan-Badan Tenaga Nuklir Nasional, Yogyakarta, 2009.
- Sukaryono, *Dosimetri Industri Irradiator*, Petunjuk Praktikum Dosimetri Mesin Berkas Elektron, Sekolah Tinggi Teknik Nuklir (STTN-BATAN), Yogyakarta, 2014.
- Thamrin, M., Thoyib, dkk, *Pengukuran Dosis Serap dengan Dosimeter Kimia*. PKRBN-BATAN, Jakarta, 2009.
- Bumsoo Han, *Electron Beam and Human Life*, Seminar Nasional Iptek Nuklir Dasar dan Terapan, PSTA-BATAN. Yogyakarta, (2015).
- Makuuchi, K., *Electron Beam Processing of Rubber Proceeding of the Workshops on the Utilization of Electron Beams*, JAERI-M, 90-194.
- Sukaryono, *Kajian Jenis-Jenis Dosimeter pada Fasilitas Irradiator*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, PSTA-BATAN, Yogyakarta, 2015.
- Utama, M., et.al., *Trial Production of Irradiated Natural Rubber Latex and its Dipping Products on Factory Scale, Quality And Techno-Economical Aspec International Rubber Conference and Products Exhibition*, Jakarta, 2004.



**PROSIDING SEMINAR  
PENELITIAN DAN PENGELOLAAN PERANGKAT NUKLIR  
Pusat Sains dan Teknologi Akselerator  
Surakarta, Selasa 9 Agustus 2016**

---

9. Christina Maria, dkk, *Dasar-Dasar Kimia Radiasi, Percobaan-Percobaan, dan Contoh Aplikasinya*. STTN-BATAN, Yogyakarta, 2008.
10. Anwar, J., *Pengukuran Dosis Radiasi Iradiator Gamma dan Mesin Berka Elektron Dengan Dosimeter Ceri-Cero*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, PSTA-BATAN Yogyakarta, 2015.

*menggunakan faktor konversi yang menunjukkan hubungan antara dosis dan tingkat perubahan rapat optik larutan. Kekurangan dosimeter Fricke harus digunakannya bahan-bahan kimia dengan tingkat kemurnian yang tinggi serta peralatan yang digunakan harus benar-benar bersih.*

*- Dosimeter ini dapat digunakan untuk sekali deteksi*

---

## **TANYA JAWAB**

### **Mukh Syaifudin**

- Apa kelebihan dan kekurangan dosimeter Fricke yang diuji?
- Berapa kali dosimeter ini dapat digunakan deteksi?

### **Sukaryono**

- *Kelebihan dosimeter Fricke adalah tingkat perubahan rapat optik padapemantau Fricke cukup linier dengan dosis radiasi yang diterima, sehingga perhitungan dosisnya dapat dilakukan*

### **Fauzan Ibnu Prihadiyono**

- Bagaimana prinsip dan mekanismenya sistem serapan Fricke?

### **Sukaryono**

- *Proses iradiasi dapat mengoksidasi ion  $Fe^{2+}$  menjadi ion  $Fe^{3+}$ . Oksidasi ini akan menyebabkan terjadinya perubahan rapat optik pada larutan, sehingga dapat dimanfaatkan untuk dosis radiasi, jumlah ion Ferrit ( $Fe^{3+}$ ) yang terbentuk sebanding dengan besar perubahan rapat optik dan dapat diukur secara teliti dengan spektrofotometri.*