

**PERBANDINGAN DOSIMETER RADIOKROMIK DARI BUNGA SEPATU (HIBISCUS ROSA-SINENSIS L.) DAN BUNGA TELANG (CLITORIA TERNATEA L.) DENGAN DOSIMETER FRICKE**

Giyatmi <sup>1</sup>, Ferdy Muhammad F <sup>2</sup>, Michelle Holly R <sup>3</sup>, Muhammad Rizky Akbar P <sup>4</sup>, Dika Bhakti P <sup>5</sup>

Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia  
muhammad.rizky@polteknuklir.ac.id

**Abstrak (Indonesia)**

Penelitian ini difokuskan pada pengembangan dosimeter radiokromik berbasis bahan alami menggunakan ekstrak dari bunga Hibiscus rosa-sinensis L. (bunga sepatu) dan Clitoria ternatea L. (bunga telang). Studi ini bertujuan untuk membandingkan kinerja dosimeter ini dengan dosimeter Fricke, standar dalam pengukuran dosis radiasi, guna mengeksplorasi potensi aplikasi bahan alami dalam dosimetri radiasi. Dosimeter disiapkan dengan mengekstrak senyawa antosianin dari bunga, dengan Hibiscus rosa-sinensis L. dan Clitoria ternatea L. dipilih karena kandungan pigmen yang dimiliki. Respon dosimeter terhadap dosis radiasi yang bervariasi dianalisis menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Dosimeter radiokromik dari bunga sepatu menunjukkan rentang respon dosis 0-5 kGy, sementara dosimeter dari bunga telang menunjukkan rentang 1-7 kGy, menandakan peningkatan respon yang signifikan dengan konsentrasi antosianin yang lebih tinggi. Studi ini menunjukkan potensi dosimeter berbasis bahan alami sebagai alternatif dalam pengukuran dosis radiasi, dengan dosimeter menunjukkan rentang respon dosis dan stabilitas yang berbeda dibandingkan dosimeter Fricke.

**Sejarah Artikel**

Submitted: 7 Juli 2024

Accepted: 10 Juli 2024

Published: 17 Juli 2024

**Kata Kunci**

dosimeter radiokromik; dosimeter fricke; bunga sepatu; bunga telang

**PENDAHULUAN**

Dosimetri merupakan aktivitas pengukuran dosis radiasi berdasarkan pada ionisasi yang disebabkan oleh radiasi dalam bahan/materi tertentu. Pengukuran energi radiasi yang terserap materi perlu diketahui besaran yang tidak tergantung pada jenis radiasi, energi radiasi, ataupun sifat bahan penyerap, tetapi hanya bergantung pada jumlah energi radiasi persatuan massa bahan. Dosimetri radiasi sebagai metode pengukuran jumlah energi radiasi, berupa gelombang elektromagnetik atau arus partikel bermuatan yang dipancarkan sumber radiasi pada titik tertentu dan diserap oleh materi teriradiasi.

Bahwasanya, bahan yang mengalami perubahan karena iradiasi dapat digunakan sebagai dosimeter dengan syarat perubahannya dapat terukur oleh instrumen, bersifat stabil, kedapat ulangan yang baik, mudah dibuat dan digunakan. Berdasarkan kualitas dan fungsinya, dosimeter dikelompokkan menjadi empat kelas utama, yaitu dosimeter standar primer (*primary standard dosimeter*), dosimeter standar acuan (*reference standard dosimeter*), dosimeter rutin, serta dosimeter standar transfer (Sukaryono, 2015).

**Table 1.** Dosimeter Standar Acuan.

No	Dosimeter	Sistem Pengukuran	Daya terukur terpakai (Gy)
1	Kalorimetri	Termometer	$10^2$ - $10^5$
2	Kamar ionisasi	Ammeter	$<3.10^4$ Gy/h
3	Alanin	ESR Spektrometer	$1-10^5$
4	Larutan Ceri-cero sulfat	UV-Spektrofotometer	$10^3$ - $10^5$
5	Larutan khlorobenzen	etanol, Titrasi warna	$10^2$ - $10^5$

6	Larutan fero-sulfat (Fricke)	UV-Spektrofotometer	$10^{-4}$ - $10^2$
7	Larutan porasium/silver dichromic	UV-Spektrofotometer	$10^3$ - $10^5$
8	Dosimeter arus elektron	Ammeter	$0,01$ - $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ( $10^4$ - $10^8$ Gy/h)

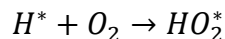
Dalam menggunakan iradiator perlu diketahui jangkauan dosis yang digunakan ketika mengaplikasikan energi radiasi dalam proses iradiasi. Hal tersebut agar dosis yang diberikan tepat sasaran dan diperoleh hasil yang sesuai.

**Table 2.** Jangkauan dosis untuk masing-masing tujuan iradiasi.

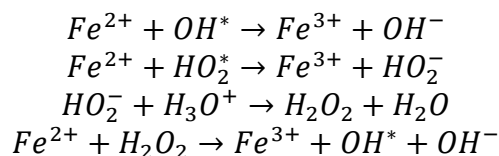
No	Tujuan	Jangkauan Dosis (kGy)
1	Sterilisasi	20-30
2	Pengawetan makanan	1-10
3	Surface coating	20-50
4	Grafting	10-20
5	Polimerisasi	50-100
6	Vulkanisasi lateks	10-30

Dosimeter fricke merupakan dosimeter yang dapat digunakan dalam dosimetri gamma maupun electron. Dosimeter fricke dapat mengukur dosis serap sehingga dapat digunakan sebagai dosimeter acuan karena daya absorpsinya yang tinggi dan memiliki hubungan linear terhadap dosis serap. Dalam pengaplikasiannya, dosimeter fricke memiliki respon yang sangat sensitif terhadap pengotor dalam larutan terutama pengotor organik. Bahkan dalam jumlah kecil, keberadaan pengotor dapat menyebabkan perubahan yang dapat dideteksi pada respon yang diamati. Untuk akurasi tinggi, bahan organik tidak boleh digunakan untuk komponen apapun yang berkontak dengan larutan, kecuali telah ditunjukkan bahwa bahan tersebut tidak mempengaruhi dosimeter (ISO/ASTM 51026).

Pada prinsipnya dosimeter fricke adalah suatu bahan atau zat yang dapat memberi tanggapan yang dapat diukur jika bahan atau zat tersebut dikenai radiasi nuklir. Dasar dari dosimetri fricke (larutan asam yang teroksidasi dari ion  $\text{Fe}^{2+}$ ) adalah transformasi ion fero menjadi ion ferric yang bergantung pada dosis yang diserap (Mergani, 2006). Ketika larutan diradiasi, terjadi dekomposisi air dan atom hidrogen yang diproduksi bereaksi dengan oksigen menghasilkan hydroperoxy radikal:



Beberapa reaksi yang kemudian menyebabkan terjadinya konversi ion fero menjadi ion ferric:



Setiap  $\text{H}^*$  akan menghasilkan 3  $\text{Fe}^{3+}$ , setiap  $\text{H}_2\text{O}_2$  akan menghasilkan 2  $\text{Fe}^{3+}$  dan menghasilkan  $\text{OH}^*$  akan menghasilkan 1  $\text{Fe}^{3+}$ . Jadi ketika ada oksigen, reaksi keseluruhan adalah sebagai berikut.

$$G(Fe^{3+}) = 2G(H_2O_2) + 3G(H^*) + G(OH^*)$$

Jumlah  $Fe^{3+}$  yang diproduksi bergantung pada energy yang teradsorpsi oleh larutan. Secara spesifik, perubahan konsentrasi  $Fe^{3+}$  berhubungan dengan dosis radiasi (energi per unit massa). Dosis yang terserap ditunjukkan oleh konsentrasi ion ferric diukur dengan menggunakan analisis spektrometri yang umumnya lebih mudah digunakan dibandingkan dengan metode titrasi kimia, ditinjau dari waktu analisis, akurasi, dan dapat digunakan untuk analisis ferric pada konsentrasi rendah atau jumlah larutan yang sedikit (Mergani, 2006). Ion besi memiliki dua puncak absorpsi, yaitu pada 304 nm dan 224 nm, dengan puncak pada 224 nm yang lebih kuat. Sensitivitas metode analisis dapat ditingkatkan dua kali lipat dengan mengukur kepadatan optik pada puncak ion ferric, yaitu 224 nm. Salah satu keuntungan lain dari pengukuran pada puncak 224 nm adalah bahwa koefisien serapan linier molar meningkat hanya sebesar 0,13% per derajat Celsius ketika suhu naik. Namun, pada panjang gelombang yang lebih rendah ini, serapan oleh besi (II) tidak dapat diabaikan sepenuhnya. Selain itu, pengotor dari wadah plastik dilaporkan menjadi lebih sulit diatasi pada panjang gelombang 224 nm. Oleh karena itu, pengukuran konsentrasi ion  $Fe^{3+}$  dilakukan pada panjang gelombang 304 nm, pada suhu 25°C (Mergani, A, F, F, 2006). Pengamatan respon kolorimeter atau daerah kerja untuk dosimeter Fricke ini cukup linier sampai pada dosis 400 Gy. Oksidasi akan mencapai maksimum pada dosis 700 Gy. Penentuan dosis serap dapat dilakukan dengan rumus berikut (P.G Benny):

$$D = \frac{(DO_a - DO_s)}{\varepsilon \times \rho \times L \times G(Fe^{3+})} = \frac{\Delta Abs}{\varepsilon \times \rho \times L \times G(Fe^{3+})} \quad (1)$$

Keterangan:

D: Dosis Radiasi (Gray)

$\Delta Abs$ : Selisih absorbansi (densitas optik) antara sampel iradiasi dan tidak iradiasi

$\varepsilon$ : Koefisien ekstinsi molar pada suhu 25°C untuk ion  $Fe(III)=217 \frac{m^2}{mol}$

$\rho$ : Densitas sampel ( $\frac{Kg}{m^3}$ )

L: Panjang jalur optik kuvet=0,01 m

$G(Fe^{3+})$ : Jumlah molekul, radikal atau ion  $Fe^{2+}$  yang berubah menjadi ion  $Fe^{3+}$  untuk setiap absorpsi tenaga radiasi 100 eV. Harga G untuk ion Fe (III) untuk larutan feri jenuh diudara= $1,61 \times 10^{-6} \frac{mol}{J}$

Konsentrasi ion  $Fe^{3+}$  yang terbentuk dapat dihitung melalui rumus berikut:

$$Fe^{3+} = \frac{\Delta Abs}{L \times \varepsilon \times [1 + 0,007(T - 25)]} \quad (2)$$

Keterangan:

$\Delta Abs$ : Selisih absorbansi (densitas optik) antara sampel iradiasi dan tidak iradiasi

$\varepsilon$ : Koefisien ekstinsi molar pada suhu 25°C untuk ion  $Fe(III)=217 \frac{m^2}{mol}$

L: Panjang jalur optik kuvet=0,01 m

T: Suhu sampel larutan=25°C

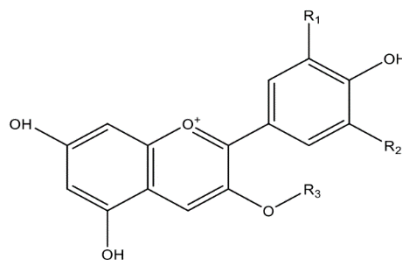
Respon dosimeter Fricke sangat sensitif terhadap keberadaan pengotor dalam larutan, terutama pengotor organik. Walaupun dalam jumlah yang sangat kecil, pengotor dapat menyebabkan perubahan yang terdeteksi dalam respons teramati. Akurasi yang tinggi dapat diperoleh dengan cara tidak menggunakan bahan-bahan organik untuk komponen apa pun yang bersentuhan dengan larutan, kecuali telah terbukti bahwa bahan-bahan tersebut tidak mempengaruhi respon dosimeter. Larutan dosimetri responsif terhadap cahaya ultraviolet dan

sebaiknya disimpan dalam kegelapan untuk jangka panjang. Tidak diperlukan langkah pencegahan khusus selama penanganan rutin di bawah kondisi pencahayaan laboratorium normal, tetapi hindari sumber UV yang kuat seperti sinar matahari. Larutan dosimetri akan mengalami oksidasi secara perlahan pada suhu ruangan, sehingga mengakibatkan peningkatan absorbansi optik dari larutan yang tidak teriradiasi. Jika larutan tidak digunakan dalam waktu yang cukup lama, ukur absorbansi dari larutan yang tidak teriradiasi. Apabila absorbansi dari sampel dengan panjang lintasan 10 mm lebih besar dari 0.1, maka sampel larutan sudah tidak layak untuk digunakan.

Dosimeter radiokromik merupakan dosimeter yang pada pengamatannya dapat secara langsung berdasarkan perubahan warna yang terjadi. Dosimeter ini menjadi salah satu jenis sistem monitoring dosis radiasi rutin yang pembuatan ataupun penggunaannya lebih mudah dan praktis. Pengamatan dosimetri radiasi dilakukan secara langsung dengan mengamati perubahan warna yang terjadi. Reaksi perubahan warna disebabkan oleh adanya interaksi antara radiasi pengion dengan material yang digunakan sebagai radiokromik. Karakter dari perubahan warna radiokromik inilah yang digunakan sebagai dasar pemantau dosis radiasi karena perubahan spektra serapan sebanding dengan bilangan dosis yang diserap (Hendrayani and Imawan, 2018).

Dosimeter radiokromik dapat ditemukan dalam beberapa bentuk seperti cairan, gel, dan label tipis (IAEA, 2002). Dalam proses pembuatan cairan dosimeter radiokromik dibutuhkan pelarut, pewarna, dan aditif dengan formula yang tepat. Jenis pelarut tergantung pada karakteristik pewarna yang akan digunakan dapat diperoleh melalui sintesis atau sumber alami. Keuntungan menggunakan pewarna alami adalah lebih ramah lingkungan, tidak beracun dan dapat diperbarui. Rentang dosis yang diserap adalah dari 0,5 hingga 40.000 Gy untuk foton dan elektron (ISO/ASTM 51540). Penelitian dari Hendrayani dan Imawan menunjukkan bahwa penggunaan pewarna alami dari hasil ekstraksi bunga rosela dapat digunakan sebagai detektor radiasi gamma hingga dosis 7 kGy. Di alam, pewarna alami yang sering ditemui pada daun, bunga, dan buah umumnya berasal dari kandungan senyawa antosianin. Antosianin merupakan pigmen warna yang dapat menghasilkan warna merah, oranye, ungu, dan biru sehingga dapat digunakan sebagai pewarna alami (Suseno et al., 2021). Sifat fisika dan kimia dari antosianin dilihat dari kelarutan antosianin larut dalam pelarut polar dengan kualitas reagen atau lebih baik, diantaranya yaitu etanol, isopropanol, n-propanol, 2-metoksietanol, 2-etoksi-etanol, N,N-dimetilformamida, dimetilsulfoksida, trietilfosfat. Rentang panjang gelombang absorbansi antosianin pada 475-550 nm (G. Cooper-Driver and J. B. Harborne, 2007). Suhu, pH, konsentrasi, serta paparan cahaya adalah kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi stabilitas antosianin (R.N. Cavalcanti, 2011).

Antosianin adalah subkelas dari flavonoid yang larut dalam air yang bertanggung jawab atas warna merah, ungu dan biru pada buah, sayuran, sereal, bunga. Oleh karena itu, antosianin dapat menjadi pewarna makanan alami dan juga dipercaya sebagai antioksidan. Zat ini dapat memberikan warna merah, biru, ungu, dan kuning pada bunga atau bagian tanaman lainnya (Samsudin dan Khoiruddin, 2008). Antosianin sebagai senyawa yang bersifat amfoter memiliki kemampuan untuk bereaksi baik dengan larutan asam dan basa. Pada keadaan asam, antosianin berwarna merah, sementara dalam larutan basa akan berubah menjadi ungu dan biru (Man, 1997).



**Figure 1.** Struktur Kimia Antosianin.

Warna dan stabilitas pigmen antosianin sangat dipengaruhi oleh struktur molekulnya. Substitusi dengan lebih banyak gugus hidroksil (OH) cenderung membuat warna semakin biru, sementara metoksilasi membuat warnanya semakin merah (Sudjana, 1996). Stabilitas antosianin dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk pH, suhu, cahaya, dan oksigen (Basuki, dkk, 2005).

Antosianin secara spesifik dapat menyerap cahaya pada daerah serapan ultraviolet (UV) sampai violet, tetapi lebih kuat pada daerah tampak dari spektrum. Antosianin terserap pada panjang gelombang 250 – 700 nm, dengan 2 puncak sebagai gugus gula (glikon) di panjang gelombang sekitar 278 nm, dan puncak utama sebagai antosianin (aglikon) di sekitar panjang gelombang 490-535 nm (Mahmudatussa'adah, A, dkk. 2014).

Bunga sepatu (*Hibiscus rosa-sinensis* L) adalah salah satu tanaman yang banyak ditemui sebagai tanaman hias. Bunga sepatu merupakan tanaman semak suku Malvaceae yang berasal dari Asia Timur dan banyak hidup pada daerah tropis dan subtropis (Agustin dan Ismiyati, 2015). Bunga sepatu memiliki banyak varian warna, salah satunya adalah bunga sepatu berwarna merah. Salah satu penelitian menyebutkan bahwa kandungan antosianin pada bunga sepatu menyebabkan warna merah pada bunganya (Andriyani et al., 2023). Menurut (Agustin & Ismiyati, 2015) antosianin pada bunga kembang sepatu dapat diperoleh dengan cara mengekstraksi kelopak bunga kembang sepatu menggunakan pelarut etanol konsentrat yang menghasilkan ekstrak pekat yang berwarna merah keunguan. Pada konsentrasi optimum didapat kandungan antosianin sebesar 48,260 mg/ 25gr kelopak bunga kembang sepatu.

Bunga Telang (*Clitoria Ternatea* L.) merupakan salah satu tanaman hias yang biasa digunakan sebagai obat untuk kesehatan mata serta sebagai pewarna alami yang aman dikonsumsi (Anggriani, 2019). Bunga ini memiliki warna identik ungu pada kelopaknya. Komponen utama yang bertanggung jawab sebagai pewarna pada kelopaknya disebabkan oleh adanya pigmen antosianin yang memberikan warna merah hingga ungu gelap. Bunga telang telah diteliti memiliki kandungan kimia fenolik, flavonoid, antosianin, flavonol glikosida, kaempferol glikosida, quersetin glikosida, mirisetin glikosida (Kazuma, dkk., 2013). Kandungan antosianin pada bunga telang adalah sebesar 227,42 mg/kg (Vankar & Srivastava, 2010). Senyawa antosianin yang terpolarisasi pada bunga telang menyebabkan ekstrak bunga memiliki stabilitas yang baik di keadaan asam sehingga cocok digunakan sebagai zat pewarna alami (Dody, dkk., 2022).

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam praktikum ini diantaranya adalah ferrous amonium sulfat ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O), asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), natrium klorida (NaCl), aquadest, ethanol 70%, bunga sepatu, serta bunga telang.

### 2.2. Alat

Iradiator gamma “Servo Ignis” dengan sumber radioaktif Co-60 digunakan untuk mengiradiasi sampel dosimeter fricke dan radiokromik. Spektrofotometri UV-Vis untuk mengetahui nilai absorbansi dari masing-masing sampel dosimeter dengan dosis tertentu. Selain

itu, digunakan peralatan lain seperti gelas beker 100 mL, gelas ukur 100 mL, labu ukur 250 mL, pipet volume 20 mL, pipet ukur 10 mL, ball pipet, pipet tetes, kuvet, kaca arloji, neraca analitik, serta gelas kaca 20 mL.

### 2.3. *Preparasi Dosimeter Fricke*

Ditimbang massa Ferrous Ammonium Sulfat sebanyak 0,098 g dan Natrium Klorida sebanyak 0,0145 g. Ammonium Besi (II) Sulfat dan Natrium Klorida kemudian dilarutkan pada Asam Sulfat 0,4 M sebanyak 3,125 mL. Larutan campuran tersebut diencerkan kembali dengan Asam Sulfat 0,4 M hingga volumenya mencapai 250 mL. Setelah itu, larutan campuran dihomogenkan.

### 2.4. *Preparasi Dosimeter Radiokromik*

Larutan dosimeter dibuat dengan merendam masing-masing 15 gram bunga sepatu dan bunga telang dalam 300 mL ethanol 70% sebagai pelarut. Larutan tersebut disimpan dalam kulkas bersuhu 8-10°C dan ditutup rapat dengan aluminium foil. Larutan disimpan di dalam kulkas selama 24 jam. Setelah itu, larutan ekstrak kemudian disaring untuk memisahkan filtrat dengan residunya. Masing-masing larutan ekstrak dimasukkan ke dalam botol kaca 20 mL yang telah dibungkus aluminium foil. Sebelum diiradiasi, sampel disimpan kembali dalam kulkas dengan keadaan sedikit cahaya.

### 2.5. *Proses Iradiasi*

Larutan dosimeter fricke dan radiokromik yang telah dimasukkan ke dalam botol kaca masing-masing dilakukan iradiasi pada iradiator "Servo Ignis" KSE Ahmad Baequni dengan sumber radioaktif Co-60. Sampel dosimeter fricke diradiasi dengan dosis yang berbeda-beda yaitu 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 3; 5; 7; 9 kGy, sedangkan untuk larutan dosimeter radiokromik masing-masing dengan variasi dosis 0; 1; 3; 5; 7; 9; 11; 13; 15 kGy.

### 2.6. *Uji Absorbansi Dosimeter*

Panjang gelombang maksimum yang dimiliki sampel dicari dengan menggunakan sampel standar yaitu 0 kGy. Setelah panjang gelombang maksimum diketahui, nilai absorbansi untuk masing-masing sampel yang sudah diiradiasi dihitung pada panjang gelombang tersebut. Kemudian, nilai absorbansi dari sampel yang telah teriradiasi dihitung untuk mendapatkan data yang dibutuhkan.

### 2.7. *Uji Kestabilan Larutan ekstrak dan Umur Simpan*

Sampel disimpan dalam kulkas dengan suhu 8-10°C. Pada saat penyimpanan, sampel ditutup rapat dengan aluminium foil. Selama periode penyimpanan, nilai absorbansi sampel dihitung dengan menggunakan panjang gelombang yang telah ditentukan sebelumnya pada interval waktu yang berbeda. Hasil absorbansi yang dihasilkan kemudian dianalisis untuk mengetahui kestabilan sampel dosimeter.

### 2.8. *Uji Kandungan Antosianin*

Uji kualitatif Antosianin dilakukan dengan menggunakan asam klorida (HCl) 2 M dan natrium hidroksida (NaOH) 2 M. Ekstrak antosianin sebanyak 2 ml ditambahkan dengan NaOH 2 M tetes demi tetes. Apabila warna berubah menjadi hijau atau biru dan memudar perlahan maka menunjukkan adanya antosianin. Kemudian ditambah HCl 2 M tetes demi tetes, apabila warna berubah menjadi kuning atau merah maka menunjukkan adanya antosianin.

## 3. Results and Discussions

Telah dilakukan percobaan pembuatan dosimeter radiokromik dari bunga sepatu (*Hibiscus rosa-sinensis L.*) dan bunga telang (*Clitoria ternatea L.*) dengan dosimeter fricke sebagai dosimeter standar acuan. Dosimeter radiokromik dari bunga sepatu dan bunga telang diperoleh dari proses ekstraksi senyawa antosianin yang terkandung dalam bunga menggunakan pelarut ethanol 70%. Dosimeter fricke yang dibuat didasarkan pada standar ISO/ASTM 51026:2015 dengan melarutkan ammonium besi (II) sulfat dan NaCl dalam asam sulfat 0,4 M.

Dosimetri sebagai suatu metode pengukuran jumlah energi radiasi, baik dalam bentuk gelombang elektromagnetik maupun partikel bermuatan oleh pancaran sumber radiasi pada titik tertentu atau diserap oleh materi yang terkena radiasi. Pengukuran dosis serap merupakan parameter penting dalam pemantauan dan pengendalian kualitas produk dengan teknik radiasi. Pada dasarnya, setiap bahan yang mengalami perubahan yang disebabkan oleh radiasi dapat digunakan sebagai dosimeter selama perubahan tersebut dapat diukur dengan alat yang tersedia, stabil, mudah digunakan, dan memiliki akurasi tinggi.

### 3.1. Dosis Serap Dosimeter Fricke

Pada percobaan ini dilakukan iradiasi terhadap larutan Fricke dengan dosis terbaca pada irradiator gamma sebesar 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 3; 5; 7; dan 9 kGy. Pengukuran ini didasari oleh proses oksidasi ion  $\text{Fe}^{2+}$  menjadi ion  $\text{Fe}^{3+}$  karena adanya ion radikal yang terbentuk melalui reaksi ionisasi oleh radiasi. Proses oksidasi tersebut akan mengubah rapat optik larutan dosimeter, sehingga dapat dimanfaatkan untuk pengukuran dosis radiasi. Bahwasanya, semakin tinggi dosis radiasi yang diserap, maka jumlah ion  $\text{Fe}^{3+}$  yang terbentuk akan semakin banyak dan sebanding dengan besar perubahan nilai absorbansi.

Larutan dosimeter fricke sebelum diiradiasi menunjukkan nilai absorbansinya -0,001. Hal tersebut menunjukkan bahwa ion  $\text{Fe}^{3+}$  pada larutan fricke belum terbentuk, sedangkan nilai minus disebabkan karena konsentrasinya berada di bawah limit deteksi. Setelah dilakukan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang 304 nm, sampel dengan dosis 3 kGy masih diperoleh nilai absorbansi secara linear, sedangkan pada dosis 5 kGy ditemukan bahwa konsentrasi  $\text{Fe}^{3+}$  mulai mengalami ketidakstabilan. Dosis yang diserap oleh dosimeter Fricke sebanding dengan konsentrasi  $\text{Fe}^{3+}$  dalam larutan.

Hasil perhitungan menunjukkan perbedaan yang signifikan antara dosis serap terukur dengan dosis serap terbaca. Dosis yang diserap oleh dosimeter Fricke dengan dosis terbaca 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 3; 5; 7; dan 9 kGy berturut-turut adalah sebesar 0; 28,4132; 39,6091; 35,4966; 36,5045; 38,9748; 39,3662; 38,1787; 38,1224; dan 38,9908 Gy.

#### 3.1.1. Subsubsection

Bulleted lists look like this:

- First bullet;
- Second bullet;
- Third bullet.

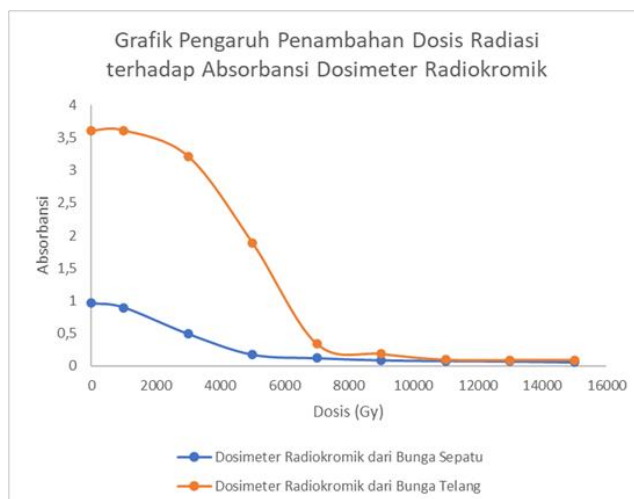
Numbered lists can be added as follows:

1. First item;
2. Second item;
3. Third item.

The text continues here.

### 3.2. Rentang Dosis Serap Dosimeter Radiokromik

Telah dilakukan iradiasi terhadap dosimeter radiokromik dari bunga sepatu dan bunga telang dengan dosis terbaca pada irradiator gamma sebesar 0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, dan 15 kGy. Kedua bunga tersebut memiliki potensi untuk dijadikan dosimeter radiokromik karena bunga sepatu dan bunga telang keduanya mengandung zat warna antosianin yang ketika diiradiasi, jumlah dosis yang diserap oleh larutan dosimeter akan berbanding terbalik dengan nilai absorbansi. Semakin tinggi dosis yang diserap oleh larutan dosimeter radiokromik, maka akan semakin kecil nilai absorbansinya.

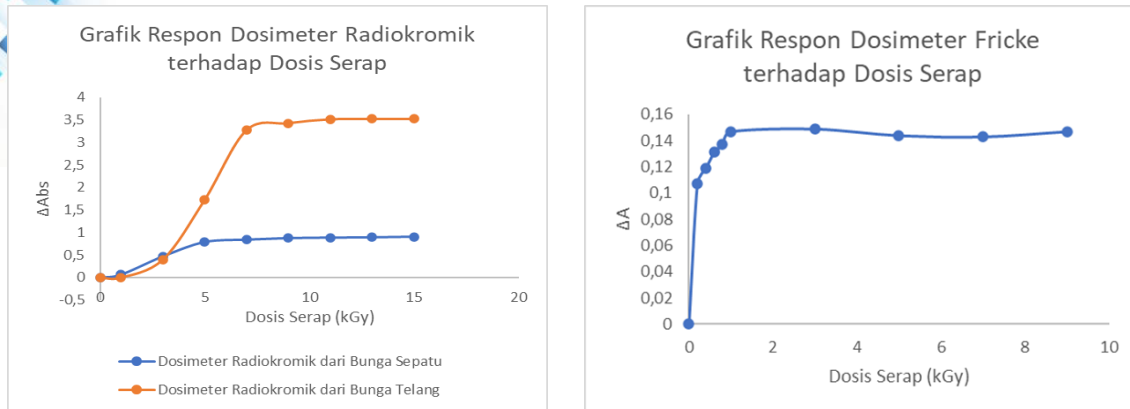


**Figure 2.** Grafik Pengaruh Penambahan Dosis Radiasi terhadap Absorbansi Dosimeter Radiokromik.

Pada percobaan ini, jumlah dosis yang terserap oleh dosimeter radiokromik belum dapat ditentukan. Namun demikian, pengaruh penambahan dosis terhadap dosimeter radiokromik dapat teramati menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Pada Figure 2. ditunjukkan grafik pengaruh penambahan dosis radiasi terhadap absorbansi dosimeter radiokromik pada hari pertama pengukuran. Dari grafik tersebut diketahui bahwa semakin tinggi penambahan dosis radiasi, maka semakin rendah nilai absorbansi dosimeter radiokromik. Hal ini dikarenakan semakin banyak iradiasi yang diterima oleh dosimeter, maka akan semakin banyak ion hidrogen yang terlepas dalam struktur antosianin menyebabkan degradasi monomer antosianin dari monomer flavylum cation (merah) berubah menjadi kalkon (kuning pucat) dan karbinol (tidak berwarna).

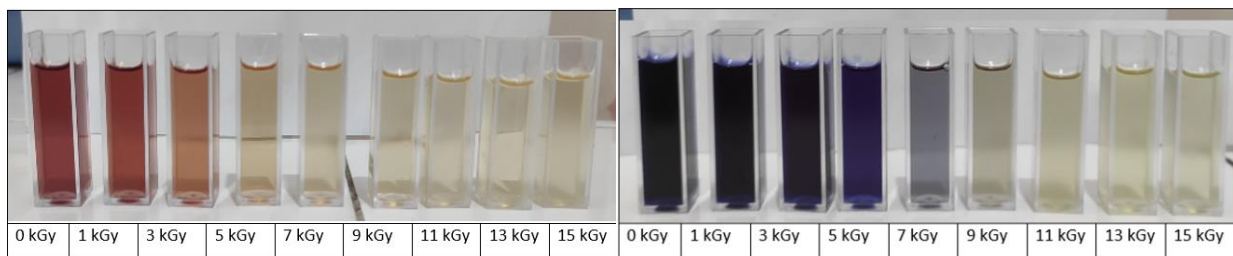
### 3.3. Analisis Respon Dosis Serap Dosimeter Radiokromik

Respon dosimeter dianalisis melalui selisih absorbansi antara sampel iradiasi dan tidak iradiasi ( $\Delta$ Abs). Grafik respon dosis dosimeter radiokromik dari bunga sepatu dan bunga telang terhadap dosis serap 0-15 kGy ditunjukkan pada Figure 3a. Berdasarkan grafik tersebut diketahui bahwa respon dosis dosimeter radiokromik dari bunga sepatu berada pada rentang dosis 0 hingga 5 kGy, sedangkan respon dosis dosimeter radiokromik dari bunga telang berada pada rentang dosis 1 hingga 7 kGy. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan respon ( $\Delta$ Abs) yang meningkat secara signifikan. Faktor yang mempengaruhi respon dosimeter radiokromik ini adalah konsentrasi zat warna (antosianin), semakin tinggi konsentrasi antosianin dalam larutan, maka semakin banyak energi radiasi yang dibutuhkan untuk mendegradasi molekul antosianin sehingga kemampuan respon dosimeter terhadap radiasi dapat meningkat.



(a) (b)  
**Figure 3.** Grafik respon dosimeter terhadap dosis serap: (a) Dosimeter radiokromik; (b) Dosimeter fricke.

Ditinjau dari visualnya, efek dari iradiasi gamma membuat dosimeter radiokromik dari bungan sepatu dan bunga telang mengalami perubahan warna. Sebelum diiradiasi larutan dosimeter radiokromik dari bunga sepatu berwarna merah dan memudar seiring dengan peningkatan jumlah dosis yang diserap hingga warna berubah menjadi kuning pucat. Figure 4a. menunjukkan bahwa pada dosis 7 kGy larutan dosimeter sudah mulai mengalami kejenuhan yang ditandai oleh tidak adanya perubahan warna. Pada dosimeter radiokromik dari bunga telang teramati bahwa sebelum diiradiasi larutan dosimeter berwarna biru tua dan seiring dengan peningkatan jumlah dosis yang diserap warna larutan tersebut berubah menjadi kuning pucat. Figure 4b. menunjukkan bahwa pada dosis 9 kGy warna dari larutan dosimeter mulai mengalami kejenuhan pada warna kuning pucat.



(a) (b)  
**Figure 4.** Warna larutan dosimeter radiokromik: (a) Bunga sepatu; (b) Bunga Telang.

Fenomena perubahan warna pada dosimeter radiokromik ini disebabkan oleh radiasi gamma yang menginduksi pergerakan elektron dan pelepasan ion hidrogen dalam struktur antosianin sehingga menyebabkan degradasi monomer antosianin. Pada dosimeter radiokromik dari bunga sepatu, monomer flavylum cation (merah) berubah menjadi kalkon (kuning pucat) dan karbinol (tidak berwarna). Fenomena yang terjadi dalam larutan dosimeter radiokromik dari bunga telang hampir sama dengan fenomena yang terjadi pada dosimeter radiokromik dari bunga sepatu, perbedaannya terletak pada struktur awal monomer antosianin dimana monomer antosianin yang terdegradasi menjadi kalkon (kuning pucat) dan karbinol (tidak berwarna) adalah anionic quinoidal base (biru). Semakin besar dosis radiasi yang diserap oleh larutan dosimeter, maka pelepasan ion hidrogen dalam struktur antosianin akan semakin tinggi dan menyebabkan peningkatan jumlah monomer antosianin (flavylum cation maupun anionic quinoidal base) yang terdegradasi menjadi kalkon dan karbinol. Ketika seluruh atau sebagian besar monomer

antosianin telah terdegradasi, maka akan terjadi kejenuhan yang ditandai oleh tidak adanya perubahan warna larutan secara signifikan.

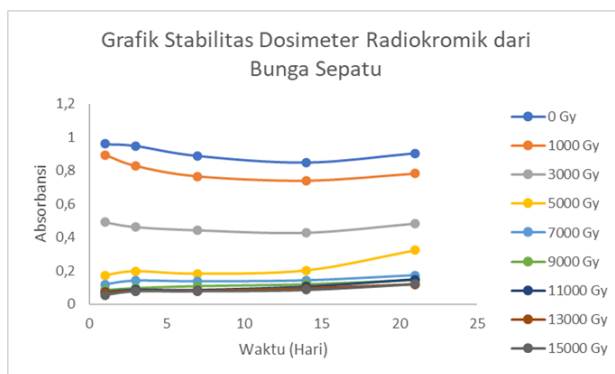
### 3.4. Respon Dosis Serap Dosimeter Fricke

Dosimeter fricke diiradiasi dengan dosis sebesar 0-9 kGy. Hasil analisis respon dosimeter fricke terhadap dosis menunjukkan bahwa respon dosis dosimeter berada pada rentang dosis 0 hingga 1 kGy. Pada gambar 6. ditunjukkan bahwa peningkatan respon ( $\Delta A$ ) meningkat secara signifikan pada rentang 0-1 kGy dan kemudian respon dosimeter menjadi tidak stabil, hal ini disebabkan oleh sensitivitas dari larutan dosimeter, dimana sensitivitas dosimeter menurun apabila diiradiasi pada dosis radiasi diatas 1 kGy. Berdasarkan ISO/ASTM 51026:2015(E) mengenai *Standard Practice for Using the Fricke Dosimetry System*, dosis yang diserap oleh dosimeter Fricke berada pada rentang 20-400 Gy. Berdasarkan pernyataan tersebut, maka perlu dilakukan verifikasi ulang terkait respon dosimeter Fricke terhadap dosis serap untuk memperoleh hasil yang dapat dipercaya. Hasil analisis respon dosis menunjukkan bahwa dosimeter radiokromik dari bunga sepatu memiliki rentang dosis 0-5 kGy dan bahwa dosimeter radiokromik dari bunga telang memiliki rentang dosis 1-7 kGy.

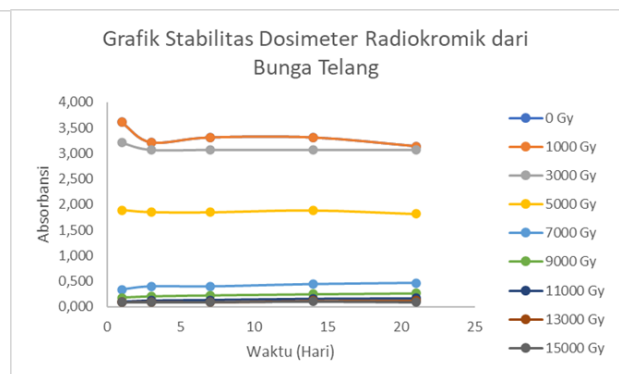
Surindro (2015) menyatakan bahwa jangkauan dosis untuk tujuan pengawetan makanan dilakukan pada 1-10 kGy. Pada iradiasi pangan penggunaan dosimeter diperlukan untuk menentukan dosis serap yang diterima oleh produk makanan, menentukan pola distribusi dosis dalam kemasan produk, dan untuk mengontrol proses radiasi rutin (IAEA, 2002). Dosimeter radiokromik dari bunga sepatu dan bunga telang dapat diaplikasikan untuk iradiasi pangan pada dosis 1-7 kGy, sedangkan dosimeter Fricke cocok untuk makanan yang memerlukan dosis di bawah 1 kGy.

### 3.5. Stabilitas dan Umur Simpan Dosimeter Radiokromik

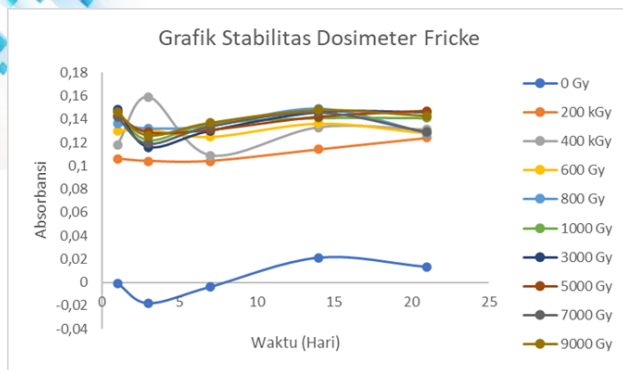
Telah dilakukan pengamatan terkait stabilitas dan umur simpan dosimeter radiokromik dari bunga sepatu, dosimeter radiokromik dari bunga telang, dan dosimeter Fricke dengan waktu pengamatan selama 21 hari. Selama penyimpanan seluruh dosimeter ditutup rapat menggunakan aluminium foil untuk menghindari paparan sinar matahari. Dosimeter radiokromik disimpan dalam kulkas pada suhu 8-10°C, sedangkan dosimeter Fricke disimpan di tempat yang gelap dan sejuk.



(a)



(b)



(c)

**Figure 5.** Grafik stabilitas dosimeter: (a) Dosimeter radiokromik dari bunga sepatu; (b) Dosimeter radiokromik dari bunga telang; (c) Dosimeter fricke.

Stabilitas dosimeter radiokromik dari bunga sepatu ditunjukkan pada Figure 5a. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai absorbansi cenderung stabil pada dosimeter yang diiradiasi pada dosis diatas 1000 Gy. Absorbansi dosimeter yang tidak diiradiasi telah mengalami perubahan yang signifikan pada 7 hari penyimpanan. Sedangkan, dosimeter yang tidak diiradiasi telah mengalami perubahan absorbansi yang signifikan pada 3 hari penyimpanan. Oleh karena itu, iradiasi terhadap dosimeter radiokromik dari bunga sepatu harus segera dilakukan dengan batas maksimum 7 hari setelah larutan dibuat dan pengukuran harus dilakukan secepatnya sebelum 3 hari setelah diiradiasi.

Figure 5b. Menunjukkan bahwa stabilitas dosimeter radiokromik dari bunga telang yang tidak teriradiasi dan yang teriradiasi dengan dosis 1 kGy memiliki sifat yang sama, kedua dosimeter tersebut memiliki stabilitas yang kurang baik pada dosis 0 dan 1 kGy karena perubahan absorbansinya yang signifikan pada pengamatan hari ke-3. Sedangkan, untuk dosimeter yang telah diiradiasi pada dosis diatas 1 kGy cenderung memiliki stabilitas yang baik selama pengamatan 21 hari. Berdasarkan grafik pada Figure 5b. menunjukkan bahwa absorbansi dosimeter yang tidak diiradiasi dan yang telah diiradiasi mengalami perubahan yang signifikan setelah 3 hari waktu penyimpanan. Dalam grafik tersebut diketahui bahwa larutan dosimeter yang telah diiradiasi lebih stabil dibandingkan dengan larutan dosimeter yang tidak diiradiasi. Dari hasil pengukuran dapat diketahui bahwa irradiasi terhadap dosimeter radiokromik dari bunga telang harus segera dilakukan dalam kurun waktu kurang dari 3 hari setelah larutan tersebut dibuat dan pengukuran terhadap dosis serap juga harus segera dilakukan dengan batas maksimum pengukuran 3 hari setelah larutan diiradiasi.

Selain pengukuran nilai absorbansi untuk mengetahui kestabilan masing-masing larutan dosimeter radiokromik, pengujian terhadap kandungan antosianin dalam bunga telang dan bunga sepatu juga dilakukan. Keberadaan antosianin berpengaruh terhadap warna dari masing-masing larutan. Apabila terjadi perubahan struktur dan warna akan menyebabkan perubahan absorbansi pada spektra ketika diukur menggunakan spektrometer UV-Vis. Hal tersebut tentu dapat berpengaruh terhadap kestabilan larutan dosimeter radiokromik. Pengujian kandungan antosianin secara kualitatif dilakukan pada larutan asam (HCL) dan basa (NaOH) karena seiring dengan berubahnya pH dapat menyebabkan antosianin mengalami perubahan warna secara *reversible*. Secara umum, dalam keadaan asam, bentuk dominan adalah ion flavilium yang memberikan warna merah. Pada pH yang sedikit lebih tinggi (2-4), akan membentuk anion anhidrobas yang memberikan warna biru-hijau. Sementara pada pH basa (7-8), antosianin mengalami deprotonasi dan berubah menjadi bentuk kuinoidal yang berwarna hijau-biru. Pada pH yang sangat basa, antosianin mengalami pembukaan cincin dan membentuk *chalcone* yang berwarna kuning muda. Berdasarkan hasil pengujian dari ekstrak bunga telang dan bunga sepatu,

masing-masing menunjukkan perubahan warna menjadi merah setelah ditetesi HCl dan hijau ketika diberi NaOH. Bahwasanya, masing-masing larutan dosimeter radiokromik tersebut masih mengandung senyawa antosianin hingga akhir pengukuran stabilitas.

### 3.6. Stabilitas dan Umur Simpan Dosimeter Fricke

Pada pengujian ini diketahui bahwa dosimeter Fricke yang tidak diiradiasi maupun yang teriradiasi memiliki stabilitas yang kurang baik apabila disimpan dalam jangka waktu lebih dari 3 hari. Pada Figure 5c. terlihat bahwa pada penyimpanan hari ke-3 nilai absorbansi dari dosimeter yang tidak diiradiasi telah mengalami perubahan yang signifikan. Hal ini berarti waktu simpan dosimeter Fricke yang dibuat memiliki jangka waktu simpan kurang dari 3 hari sejak larutan dibuat. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi waktu simpan dosimeter adalah oksidasi termal. Pada percobaan ini, dosimeter hanya disimpan di tempat gelap pada suhu ruang, tetapi menurut ISO/ASTM 51026:2015(E), oksidasi termal, yang ditandai dengan peningkatan absorbansi optikal tanpa radiasi dapat terjadi akibat suhu lingkungan. Pada temperatur normal laboratorium (20-25°C), efek oksidasi termal dapat terlihat signifikan apabila terdapat periode waktu yang lama antara preparasi larutan dan pengukuran fotometrik. Hal inilah yang menyebabkan waktu simpan dari dosimeter Fricke menjadi sangat singkat.

Pada Figure 5c. menunjukkan bahwa dosimeter fricke memiliki stabilitas yang rendah dibuktikan dengan grafiknya yang sangat fluktuatif. Stabilitas dosimeter dapat disebabkan oleh oksidasi termal seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Faktor lain yang dapat mempengaruhi stabilitas dosimeter fricke, yakni paparan sinar matahari, adanya pengotor dan suhu pengukuran. Akibat mobilitas, dosimeter fricke harus terpapar oleh sinar matahari selama beberapa waktu sehingga dapat menyebabkan stabilitas dosimeter fricke terganggu. ISO/ASTM 51026:2015(E) menyebutkan bahwa sinar UV yang kuat seperti matahari harus dihindari karena larutan dosimeter sensitif terhadap sinar UV. Keberadaan pengotor juga dapat mempengaruhi stabilitas dosimeter fricke karena dosimeter fricke sangat sensitif terhadap pengotor dalam larutan terutama pengotor organik. Keberadaan pengotor dalam larutan dapat disebabkan oleh adanya pengotor dalam kuvet maupun alat lain yang digunakan selama proses pembuatan maupun pengukuran dosimeter. Faktor terakhir yang mungkin dapat berpengaruh terhadap stabilitas dosimeter Fricke adalah suhu pengukuran. Pada percobaan ini, belum dilakukan pengamatan dan pengendalian suhu saat pengukuran dosimeter Fricke. Suhu pengukuran dosimeter Fricke perlu dikendalikan pada suhu 25°C, apabila suhu pengukuran tidak dikendalikan maka hal ini akan berpengaruh terhadap nilai G-Value dan koefisien ekstinsi molar.

## 4. Conclusions

Dosimeter fricke dibuat berdasarkan standar ISO/ASTM 51026:2015 yaitu dengan melarutkan ammonium besi (II) sulfat dengan natrium klorida dalam larutan asam sulfat 0,4 M kemudian diencerkan hingga 250 mL dan dihomogenkan. Dosimeter radiokromik dibuat dengan ekstraksi senyawa antosianin yang terkandung dalam bunga sepatu dan bunga telang menggunakan pelarut ethanol 70%. Larutan ekstraksi di simpan dalam kulkas selama 24 jam.

Dosimeter radiokromik menunjukkan peningkatan dosis radiasi yang menyebabkan penurunan nilai absorbansi terukur larutan antosianin. Hal tersebut dikarenakan adanya degradasi antosianin menjadi senyawa kalkon dan karbinol. Dosimeter radiokromik berbahan bunga sepatu memiliki respon di rentang radiasi 0-5 kGy sedangkan untuk dosimeter radiokromik berbahan bunga telang berada di rentang 1-7 kGy. Respon dosimeter fricke terhadap dosis diamati atas perubahan absorbansi larutan akibat konversi ion  $Fe^{2+}$  menjadi  $Fe^{3+}$ . Grafik respon menunjukkan dosimeter fricke memiliki respons yang stabil di rentang dosis 0-1 kGy.

Rentang dosis serap untuk dosimeter fricke yaitu di antara 20-400 Gy dan sesuai dengan standar ISO/ASTM 51026:2015. Dalam percobaan, dosimeter fricke menunjukkan respons yang

baik hingga dosis 1 kGy. Diatas nilai dosis tersebut, respons dosimeter mulai tidak stabil yang menunjukkan bahwa dosimeter fricke lebih cocok untuk pengukuran dosis rendah.

Dosimeter radiokromik dari bunga sepatu memiliki rentang dosis serap di 0-5 kGy, sementara dari bunga telang di 1-7 kGy. Dosimeter fricke memiliki rentang dosis serap 20-400 Gy dengan stabilitas yang baik hingga 1 kGy. Stabilitas dari dosimeter radiokromik bergantung pada kondisi penyimpanan, dengan umur simpan maksimal 3 hari setelah diiradiasi, sedangkan dosimeter memiliki stabilitas yang rendah dengan kurang dari 3 hari setelah larutan dibuat. Kestabilan dosimeter fricke dapat dipengaruhi oleh oksidasi termal dan sensitivitas larutan terhadap sinar UV serta adanya pengotor.

## References

1. Adil, W.H.; Karakteristik Plasma Nuftah Ubi Jalar Bedaging Umbi Perdominan Ungu. *Buletin Plasma Nuftah*. 2010, 16, 85-89.
2. Agustin, D.; Ismayati, I.; Pengaruh Konsentrasi Pelarut pada Proses Ekstraksi Antosianin dari Bunga Kembang Sepatu. *Jurnal Konversi*. 2015, 4, 9-16.
3. Anggriani, D.; Potensi Ekstrak Bunga Telang (*Clitoria Ternatea*) Sebagai Pewarna Alami Lokal pada Berbagai Industri Pangan. *Canrea Journal*. 2019, 2, 32-37.
4. Basuki, N.; et al. Studi Pewarisan Antosianin pada Ubi Jalar. *Agravita*. 2005, 27, 63-68.
5. Dody, H.; Eko, B.; et al. Analisis Komposisi Bunga Telang (*Clitoria Ternatea*) Sebagai Antioksidan Alami pada Produk Pangan. *Prosiding SAINTEK LPPM Universitas Mataram, Nusa Tenggara Timur*. 2022, 4, 64-70.
6. Cooper, G.; Harbone, J.; Metode Fitokimia Penuntun Cara Modern Menganalisis Tumbuhan. *Institut Teknologi Bandung, Jawa Barat*. 1987.
7. Harbone, J.; *Encyclopedia of Food and Color Additives*. CRC Press Inc: New York, USA, 2005.
8. IAEA.; *Dosimetry for Food Irradiation*. Tech. Rep Sero, Austria, 2002; 4-20.
9. Mahmudatussa'adah, A.; et al. Karakteristik Warna dan Aktivitas Natosianin Ubi Jalar Ungu. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 1997, 25, 176-184.
10. Calcanti, R.N.; Santos, D.T.; Miereles, M.A.; Non-Thermal Stabilization Mechanisms of Anthocyanins in Model and Food Systems. *An Overvies. Food Res. Int*. 2011, 44, 499-509.
11. Samsudin, A.M.; Khoiruddin.; Ekstraksi Filtrasi Membran dan Uji Stabilitas Zat Warna dari Kulit Manggis (*Garcinia mangstana*). *Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro, Indonesia*. 2008.
12. Setyaningrum, N.L.; Mimiek, S.U.; Pengaruh Variasi Kadar Basis HPMC dalam Sediaan Gel Ekstrak Etanolik Bunga Kembang Sepatu (*Hibiscus rosa sintesis L.*) Terhadap Sifat Fisik dan Daya Antibakteri pada *Staphylococcus aureus*. Doctoral Disertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2013.
13. Sudjana, M.A.; *Metode Statistika*. Tarsito: Bandung, Indonesia. 1996.
14. Sukaryono.; et al. Penentuan Dosis Radiasi Menggunakan Dosimeter Fricke. Prosiding Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, Yogyakarta, Indonesia, 9 Agustus 2016.
15. Sukaryono.; et al. Kajian Jenis-Jenis Dosimeter pada Fasilitas Irradiator. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akslerator dan Aplikasinya, Yogyakarta, Indonesia, 12 Februari 2016.
16. Suseno, R.; Surhaini, S.; Pengaruh Konsentrasi Asam Sitrat terhadap Pewarna Alami Bunga Kembang Sepatu. *Jurnal Sains dan Teknologi Pangan*. 2021, 6, 3807-3816