

PENGUJIAN *FOOD COLOURING SOLUTION* SEBAGAI BAHAN POTENSIAL DOSIMETER

Febryanti Sinurat ^{1,*}, Ferdy Muhammad Fadilah ², Katarina Rosalia L ³,
Laura Putri ⁴, Dhita Ariyanti ⁵

Program Studi Teknokimia Nuklir - Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia Badan Riset Inovasi Nasional, Jl. Babarsari Kotak POB 6101/YKKB, Ngentak, Caturtunggal, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281

Abstract

The use of effective, economical, and accessible dosimeters is essential to accurately measure radiation dose in various fields such as medicine, industry, and scientific research. This study evaluates the potential of food colourings as dosimeter materials. Food colourings, which are generally safe, inexpensive, and readily available, exhibit significant colour changes when exposed to gamma radiation, which can be measured quantitatively. Results show a significant decrease in absorbance at a wavelength of 485 nm as the increase in radiation dose, from 0.421 (no irradiation) to 0.010 at the highest dose. The food colourant showed good sensitivity as a dosimeter in the dose range of 0-3 kGy, although at higher doses there was a deviation from linearity. This study concludes that food colouring solutions have great potential to be developed as simple and inexpensive dosimeters, particularly for applications in the low to medium dosimeters, particularly for applications in the low to medium dose range.

Article History

Submitted: 23 Juli 2024
Accepted: 26 Juli 2024
Published: 2 Agustus 2024

Key Words

Dosimeter, Food Dye, Gamma Radiation

Abstrak

Penggunaan dosimeter yang efektif, ekonomis, dan mudah diakses sangat penting untuk mengukur dosis radiasi secara akurat di berbagai bidang seperti kedokteran, industri, dan penelitian ilmiah. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi larutan pewarna makanan sebagai bahan dosimeter. Pewarna makanan, yang umumnya aman, murah, dan mudah diperoleh, menunjukkan perubahan warna yang signifikan saat terpapar radiasi gamma, yang dapat diukur secara kuantitatif. Hasil menunjukkan penurunan absorbansi yang signifikan pada panjang gelombang 485 nm seiring peningkatan dosis radiasi, dari 0,421 (tanpa iradiasi) menjadi 0,010 pada dosis tertinggi. Pewarna makanan menunjukkan sensitivitas yang baik sebagai dosimeter pada rentang dosis 0-3 kGy, meskipun pada dosis tinggi terdapat penyimpangan dari linearitas. Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa larutan pewarna makanan memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai dosimeter sederhana dan murah, khususnya untuk aplikasi dalam rentang dosis rendah hingga menengah.

Sejarah Artikel

Submitted: 23 Juli 2024
Accepted: 26 Juli 2024
Published: 2 Agustus 2024

Kata Kunci

Dosimeter, Pewarna Makanan, Radiasi Gamma

PENDAHULUAN

Radiasi ionisasi memiliki peran penting dalam berbagai bidang seperti kedokteran, industri, dan penelitian ilmiah. Namun, paparan radiasi yang tidak terkendali dapat menyebabkan efek merugikan pada kesehatan manusia dan lingkungan (Wardani & ., 2022). Oleh karena itu, pengukuran dosis radiasi yang akurat dan andal sangat penting untuk memastikan keselamatan dan efisiensi dalam aplikasi-aplikasi tersebut. Dosimeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah radiasi yang terpapar pada suatu objek atau individu (Mukh Syaifudin, 2023). Dalam beberapa dekade terakhir, telah banyak dikembangkan berbagai jenis dosimeter, mulai dari dosimeter film, termoluminesensi, hingga semikonduktor (Sukaryono, 2015). Meskipun demikian, kebutuhan akan dosimeter yang lebih ekonomis, mudah digunakan, dan dapat diakses oleh berbagai kalangan masih menjadi tantangan.

Larutan pewarna makanan, atau *food colouring solution*, telah muncul sebagai salah satu bahan potensial untuk dosimeter. Pewarna makanan adalah bahan kimia yang umumnya aman digunakan, murah, dan mudah didapatkan. Beberapa jenis pewarna makanan menunjukkan

perubahan sifat fisik atau kimia ketika terpapar radiasi, seperti perubahan warna, yang dapat diukur secara kuantitatif dan dapat digunakan sebagai indikator dosis radiasi (Abdullah Hashim et al., 2012). Teknik iradiasi gamma dapat menguraikan larutan zat warna menjadi senyawa organik dengan berat molekul lebih rendah, seperti asam-asam organik sederhana. Selain itu, iradiasi gamma juga dapat menurunkan nilai Keperluan Oksigen Kimia (KOK) dari larutan zat warna.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi penggunaan larutan pewarna makanan sebagai dosimeter. Studi ini akan menguji berbagai jenis pewarna makanan untuk menentukan responnya terhadap radiasi, mengkarakterisasi perubahan warna sebagai fungsi dosis radiasi, dan membandingkan kinerjanya dengan dosimeter konvensional. Dengan demikian, diharapkan dapat ditemukan alternatif dosimeter yang lebih ekonomis dan praktis tanpa mengorbankan akurasi dan keandalannya.

Hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan dosimeter baru yang dapat digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi, termasuk pemantauan radiasi di lingkungan kerja, pengolahan makanan dengan radiasi, serta aplikasi medis. Selain itu, penggunaan pewarna makanan sebagai bahan dosimeter juga membuka peluang untuk inovasi lebih lanjut dalam teknologi pengukuran radiasi yang lebih aman dan ramah lingkungan.

Pewarna Makanan

Pewarna makanan merupakan senyawa organik dengan struktur molekul terkonjugasi yang mungkin menyerap dan meneruskan cahaya pada panjang gelombang tertentu dalam jarak spektrum cahaya tampak. Secara kimia, pewarna makanan terdiri dari berbagai jenis senyawa organik, baik sintesis maupun alami, yang memiliki sistem Pi-terkonjugasi atau ikatan rangkap terkonjugasi dalam strukturnya (Muslichah, 2023).

1. Sistem Pi-Terkonjugasi

Sistem pi-terkonjugasi adalah susunan ikatan rangkap yang saling bersebelahan dalam struktur molekul, di mana elektron pi terdistribusi sepanjang sistem ini. Sistem ini memberikan stabilitas dan memungkinkan delokalisasi elektron, yang bertanggung jawab atas sifat penyerapan cahaya dan warna yang khas.

2. Kromogen dan Auksokrom

Dalam senyawa pewarna, terdapat dua komponen utama yang berkontribusi terhadap warna, yaitu kromogen dan auksokrom. Kromogen adalah bagian dari molekul yang bertanggung jawab atas warna dasar, sedangkan auksokrom adalah gugus fungsi yang dapat meningkatkan intensitas warna dengan mempengaruhi delokalisasi elektron dalam sistem pi-terkonjugasi.

Contoh dari struktur molekul pewarna makanan:

- Senyawa Azo: Memiliki ikatan $N=N$ (azo) yang terkonjugasi dengan sistem aromatik, seperti Tartrazine dan Sunset Yellow.
- Karotenoid: Senyawa terpen alifatik dengan sistem ikatan rangkap terkonjugasi, seperti Beta-karoten dan Kurkumin.
- Antosianin: Senyawa flavonoid yang memberi warna merah, ungu, dan biru pada buah-buahan dan sayuran, seperti Sianidin dan Peonidin.
- Kuinon: Senyawa siklik dengan gugus karbonil terkonjugasi, seperti Kuinon Kuning dan Kuinon Merah.

Dosimeter

Pengukuran dosis radiasi terserap dilakukan dengan menggunakan dosimeter. Pada hakikatnya semua bahan yang mengalami perubahan akibat iradiasi dapat dijadikan dosimeter

asalkan perubahan tersebut dapat diukur dengan instrumen yang tersedia, stabil, mempunyai kedapat ulangan yang baik, mudah dibuat dan mudah digunakan. Berdasarkan kualitas dan penggunaannya secara relatif, dosimeter dapat dikelompokkan menjadi empat kelas utama (³Sukaryono, 2015) yaitu:

1. Dosimeter Standar Primer (Primary Standard Dosimeter) Dosimeter ini digunakan oleh laboratorium standar nasional untuk mengkalibrasi medan radiasi, yang termasuk kelompok dosimeter ini adalah dosimeter kalorimeter dan dosimeter kamar pengion (ionization chamber).
2. Dosimeter standar acuan (Reference Standard Dosimeter). Dosimeter ini digunakan untuk mengkalibrasi medan radiasi dan juga untuk dosimeter rutin. Berhubung tidak semua laboratorium atau fasilitas iradiasi mempunyai dosimeter standar primer, maka untuk mengkalibrasi medan radiasi dapat digunakan dosimeter standar acuan.
3. Dosimeter rutin (Routine Dosimeter). Dosimeter ini digunakan untuk pengukuran dosis radiasi terserap secara rutin. Contoh yang paling lazim digunakan adalah dosimeter red/clear perspex (PMMA), Dosimeter selulosa triasetat (CTA), dosimeter film radiokromik(FW-Technology) dan dosimeter alanin.
4. Dosimeter standar transfer (Transfer Standard Dosimeter). Dosimeter ini terutama dipilih dari dosimeter standar acuan atau dosimeter rutin yang memungkinkan digunakan untuk dipertukarkan antara satu laboratorium dengan laboratorium lain. Hal ini penting bagi akreditasi suatu fasilitas iradiasi sehingga laboratorium nasional dapat menetapkan keabsahan proses radiasi tertentu yang dijalankan oleh suatu fasilitas iradiasi.

METODE

Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan beberapa alat dan bahan untuk mempersiapkan, mengiradiasi, dan mengukur sampel larutan pewarna makanan. Alat-alat yang digunakan meliputi pipet volume 10 ml untuk pengukuran volume larutan secara tepat, gelas ukur untuk memastikan volume yang digunakan dalam eksperimen sesuai, serta gelas beker untuk mencampur larutan. Pengaduk digunakan untuk homogenisasi larutan pewarna makanan dengan aquadest. Botol vial berfungsi sebagai wadah sampel yang akan diiradiasi, sementara kuvet digunakan dalam spektrofotometer UV-Vis untuk mengukur absorbansi larutan.

Bahan utama yang digunakan adalah aquadest dan pewarna makanan. Aquadest (air suling) berfungsi sebagai pelarut untuk membuat larutan pewarna makanan, memastikan tidak ada kontaminan yang dapat mempengaruhi hasil eksperimen. Pewarna makanan, yang merupakan komponen kunci dalam penelitian ini, dipilih karena kemampuannya untuk berubah warna ketika terpapar radiasi, memungkinkan pengukuran dosis radiasi melalui perubahan absorbansi.

Metode

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen adalah penelitian untuk mengetahui akibat dari perlakuan yang diberikan terhadap suatu hal yang sedang diteliti (ASRIN, 2022). Metode penelitian eksperimen termasuk dalam metode penelitian kuantitatif (Alamsyah et al., 2022).

Penelitian dimulai dengan pembuatan larutan sampel menggunakan 1 tetes pewarna makanan yang dicampur dengan 150 ml aquadest. Larutan ini kemudian dibagi ke dalam enam botol vial yang berbeda, dengan memastikan bahwa volume larutan dalam setiap botol cukup untuk dianalisis absorbansinya menggunakan kuvet spektrofotometri UV-Vis. Setiap vial diberi label dan diiradiasi dengan waktu yang berbeda untuk mendapatkan variasi dosis radiasi. Laju

dosis radiasi gamma dicatat pada saat praktikum, dan perkiraan dosis radiasi gamma yang diserap oleh larutan dihitung menggunakan rumus dosis radiasi = laju dosis x waktu iradiasi.

Setelah iradiasi, absorbansi masing-masing vial diukur menggunakan spektrofotometri UV-Vis dalam rentang panjang gelombang 300-650 nm, dengan aquadest sebagai blanko. Absorbansi maksimum yang terhitung untuk setiap sampel dicatat. Data ini digunakan untuk membuat kurva antara panjang gelombang (nm) dan absorbansi dalam berbagai dosis radiasi. Selain itu, kurva antara dosis radiasi gamma dan selisih absorbansi maksimum ($\Delta A = A_i - A_0$) juga dibuat, di mana A_i adalah absorbansi maksimum pada dosis radiasi tertentu dan A_0 adalah absorbansi maksimum larutan yang tidak diiradiasi. Kurva-kurva ini membantu dalam menganalisis hubungan antara dosis radiasi dan perubahan absorbansi, serta mengevaluasi potensi pewarna makanan sebagai bahan dosimeter

HASIL DAN PEMBAHASAN

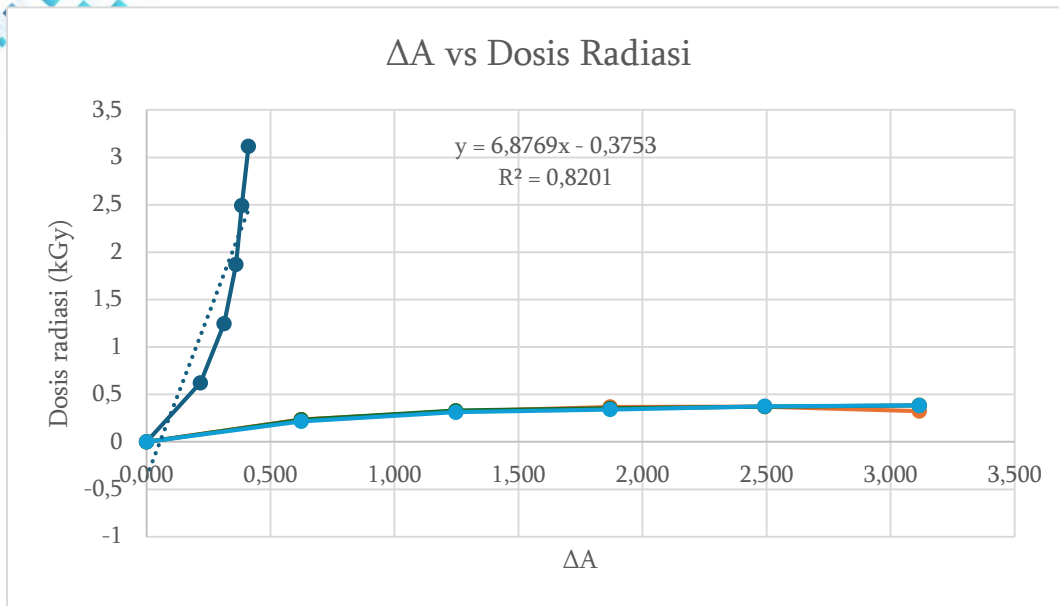
Praktikum ini bertujuan untuk mengetahui efek radiasi gamma terhadap perubahan warna pada pewarna makanan dan menilai potensi sebagai bahan dosimeter. Pewarna makanan dipilih karena strukturnya yang mengandung sistem pi-terkonjugasi, yang berperan dalam penyerapan cahaya dan menghasilkan warna (Downham & Collins, 2000). Metode yang digunakan melibatkan iradiasi sampel pewarna makanan dengan dosis radiasi gamma yang bervariasi (0-3,1175 kGy) menggunakan sumber Co-60, diikuti dengan pengukuran serapan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Data pengamatan menunjukkan penurunan serapan yang signifikan seiring dengan peningkatan dosis radiasi.

Tabel 1 menyajikan pengaruh dosis radiasi dengan absorbansi pada panjang gelombang 485 nm. Data Absorbansi pada panjang gelombang 400-600

No	Dosis radiasi (kGy)	λ (nm)	Absorbansi			
			0	1	2	3
1	Blanko	485,0	-0,001	-0,004	-0,001	0,000
2	0	485,0	0,421	0,415	0,410	0,406
3	0,6235	485,0	0,203	0,180	0,176	0,189
4	1,2470	485,0	0,108	0,095	0,081	0,094
5	1,8698	485,0	0,060	0,047	0,057	0,065
6	2,4930	485,0	0,037	0,044	0,039	0,031
7	3,1163	485,0	0,010	0,090	0,024	0,023

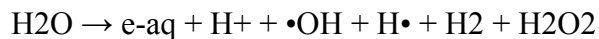
Data dosis radiasi dan selisih absorbansi maksimum

No	Dosis radiasi (kGy)	λ (nm)	$\Delta A = A_i - A_0$			
			0	1	2	3
1	0	485,0	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,6235	485,0	0,218	0,235	0,234	0,217
3	1,2470	485,0	0,313	0,320	0,329	0,312
4	1,8698	485,0	0,361	0,368	0,353	0,341
5	2,4930	485,0	0,384	0,371	0,371	0,375
6	3,1163	485,0	0,411	0,325	0,386	0,383



Gambar. 1 Grafik antara selisih antara dosis radiasi vs absorpsi

Pada panjang gelombang 485 nm, penyerapan menurun dari 0,421 (tanpa iradiasi) menjadi 0,010 pada dosis tertinggi 3,1163 kGy. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui mekanisme radiolisis udara dan interaksi radikal bebas dengan molekul pewarna. Radiasi gamma menyebabkan ionisasi molekul udara, menghasilkan spesies reaktif seperti elektron terhidrasi (e^{-aq}), radikal hidroksil ($\bullet OH$), dan atom hidrogen ($H\bullet$) (Jonah et al., 1990). Reaksi ini sebagai berikut:



Radikal-radikal ini kemudian berinteraksi dengan molekul pewarna, terutama pada ikatan rangkap terkonjugasi dan gugus kromofor, menyebabkan pemecahan struktur dan perubahan warna. Menurut Wojnárovits & Takács (2008), dalam kasus pewarna azo, radikal hidroksil dapat menyerang ikatan $-N=N-$, menyebabkan pemutusan ikatan dan pembentukan produk degradasi yang lebih sederhana:



Analisis hubungan antara dosis radiasi dan perubahan absorpsi (ΔA) menunjukkan tren yang cenderung linier, terutama pada rentang dosis rendah hingga menengah (0-2,4930 kGy). Hal ini mengindikasikan potensi penggunaan pewarna makanan sebagai dosimeter. Namun, pada dosis tinggi (3,1163 kGy), terlihat adanya penyimpangan dari linearitas, yang mungkin disebabkan oleh saturasi efek radiasi atau terbentuknya produk degradasi sekunder. Linearitas respon merupakan salah satu kriteria penting untuk dosimeter yang baik (Barth, 1990). Koefisien determinasi (R^2) dari kurva kalibrasi dapat digunakan untuk memancarkan linearitas. Dalam kasus ini, nilai R^2 yang mendekati 1 (misalnya, $R^2 > 0,95$) akan menunjukkan respon yang sangat linier.

Sensitivitas dosimeter dapat dievaluasi dari gradien kurva kalibrasi ($\Delta A/kGy$). Berdasarkan data, pewarna makanan menunjukkan sensitivitas yang baik pada rentang dosis 0-2,4930 kGy, dengan perubahan serapan yang signifikan dan terukur. Namun pada dosis yang lebih tinggi, sensitivitasnya menurun, yang disebabkan oleh perubahan serapan yang lebih kecil antara 2,4930 kGy dan 3,1163 kGy. Rentang dosis efektif untuk dosimeter pewarna makanan

ini tampaknya berada antara 0-3 kGy. Hal ini sesuai dengan beberapa aplikasi dosimetri radiasi, seperti sterilisasi makanan dan peralatan medis (Farkas, 2006).

KESIMPULAN

Efek radiasi yang terjadi pada proses radiasi gamma ialah degradasi warna pada sampel pewarna makanan. Adapun reaksi yang terjadi pada pewarna makanan setelah atau selama proses iradiasi $H_2O \rightarrow e^{-aq} + H^+ + \bullet OH + H\bullet + H_2 + H_2O_2$. Radikal-radikal ini kemudian berinteraksi dengan molekul pewarna, terutama pada ikatan rangkap terkonjugasi dan gugus kromofor, menyebabkan pemecahan struktur dan perubahan warna $RN=NR' + \bullet OH \rightarrow RN=N(OH)-R' \rightarrow$ degradasi produk. Penelitian ini menunjukkan bahwa radiasi gamma menyebabkan degradasi warna pada larutan pewarna makanan, dengan tingkat degradasi yang sebanding dengan dosis radiasi yang diterima. Pewarna makanan menunjukkan potensi untuk dikembangkan sebagai dosimeter sederhana dan murah, terutama untuk aplikasi dalam rentang dosis rendah hingga menengah (0-3 kGy).

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada ibu Dita Aryani selaku dosen pembimbing penelitian ini selama menjani penelitian ini, kepada rekan-rekan penelitian saya juga mengucapkan terimakasih karena telah membantu saya melaksanakan penelitian ini hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah Hashim, H. A., Mohamed, A. R., & Lee, K. T. (2012). Solar Photocatalytic Degradation of Tartrazine Using Titanium Dioxide. *Jurnal Teknologi*. <https://doi.org/10.11113/jt.v35.618>
- Alamsyah, I. R., Mahfud, I., & Aguss, R. M. (2022). PENGARUH LATIHAN SHOOTING DENGAN METODE BEEF TERHADAP AKURASI FREE THROW SISWI EKSTRAKURIKULER BASKET SMK NEGERI 4 BANDAR LAMPUNG. *SPORT SCIENCE AND EDUCATION JOURNAL*, 3(2). <https://doi.org/10.33365/ssej.v3i2.2218>
- ASRIN, A. (2022). METODE PENELITIAN EKSPERIMEN. *Maqasiduna: Journal of Education, Humanities, and Social Sciences*, 2(01). <https://doi.org/10.59174/mqs.v2i01.24>
- Farkas, J. (2006). Irradiation for better foods. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 17, Issue 4). <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.003>
- Jonah, C. D., Spinks, J. W. T., & Woods, R. J. (1990). Introduction to Radiation Chemistry. *Radiation Research*, 124(3). <https://doi.org/10.2307/3577852>
- Mukh Syaifudin. (2023). Biologi Radiasi: Dasar-dasar dan Aplikasi. In *Biologi Radiasi: Dasar-dasar dan Aplikasi*. <https://doi.org/10.55981/brin.563>
- Muslichah, S. (2023). Kajian Kandungan kimia dan Aktivitas Farmakologi Pewarna Alami. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(8).
- Sukaryono. (2015). Kajian jenis jenis dosimeter pada fasilitas iradiator. *Prosiding Pertemuan Dan Presentasi*, 17.
- Wardani, T. S., & . S. (2022). ANALISIS PEMAHAMAN MAHASISWA PENDIDIKAN FISIKA UNIVERSITAS JEMBER TERHADAP MANFAAT SERTA DAMPAK SINAR-X BAGI KESEHATAN. *Karst : JURNAL PENDIDIKAN FISIKA DAN TERAPANNYA*, 5(1) <https://doi.org/10.46918/karst.v5i1.1302>