



MI-002

## ANALISIS PERUBAHAN NILAI LAJU DOSIS TERHADAP VARIASI DENSITAS PRODUK PADA IRADIATOR KARET ALAM

### *ANALYSIS OF CHANGES IN THE VALUE OF DOSE RATE ON VARIATION OF PRODUCT DENSITY IN IRRADIATOR KARET ALAM*

Marrisa Arlinkha Ega Putri, Rizka Fitriana, Marapendi Hasibuan, dan Maman

#### ABSTRAK

Iradiator Karet Alam merupakan fasilitas iradiasi yang dibangun tahun 1986 dengan memanfaatkan radiasi pengion Co-60. Iradiasi merupakan salah satu teknologi pengurangan jumlah mikroba dalam produk yang dapat memperpanjang masa simpan produk tersebut tanpa menghasilkan residu. Berbagai produk sudah diiradiasi di IRKA, seperti bahan dasar pangan, herbal, hingga alat kesehatan. Variasi jenis produk tersebut menimbulkan variasi densitas yang akan berpengaruh pada ketepatan dosis. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengaruh perubahan nilai laju dosis terhadap densitas, di mana nilai laju dosis ini yang menjadi acuan dalam penentuan waktu iradiasi produk. Metode penelitian yang digunakan berupa *dose mapping* untuk mengetahui persebaran dosis serap pada produk dan mengetahui titik maksimum dan minimum pada produk. Produk yang digunakan adalah *dummy* berupa sekam dan campuran sekam pasir untuk mendapatkan variasi tiga densitas, yakni 0,1 g/cm<sup>3</sup>; 0,3 g/cm<sup>3</sup> dan 0,5 g/cm<sup>3</sup>. Produk diiradiasi dengan waktu yang sama pada posisi *front* di irradiator gamma Karet Alam (IRKA) pada aktivitas 36.249,15 Ci. Dari hasil penelitian didapatkan hubungan antara perubahan nilai laju dosis rata-rata terhadap variasi densitas berupa garis linier dengan fungsi negatif, yakni  $y = -0,325x + 1,3508$  dengan nilai  $R^2 = 0,998$  yang bermakna bahwa makin besar densitas maka nilai laju dosis yang diperoleh akan lebih kecil. Hal tersebut terlihat pada perubahan nilai laju dosis rata-rata pada densitas 0,1 g/cm<sup>3</sup> terhadap 0,3 g/cm<sup>3</sup> dan densitas 0,3 g/cm<sup>3</sup> terhadap 0,5 g/cm<sup>3</sup> mengalami penurunan sekitar 4,8% hingga 5,3%. Sementara itu, penurunan nilai laju dosis yang signifikan, yaitu pada produk dengan densitas 0,1 g/cm<sup>3</sup> terhadap densitas 0,5 g/cm<sup>3</sup> sebesar 9,8%. Oleh karena itu, dalam proses iradiasi, diperlukan perhitungan waktu radiasi berdasarkan laju dosis untuk variasi densitas tertentu agar didapatkan dosis yang tepat.

**Kata Kunci:** Laju Dosis; Densitas; IRKA; *Dose Mapping*.

---

M. A. E. Putri, R. Fitriana, M. Hasibuan, & Maman

\*Pusat Riset dan Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi ORTN BRIN, e-mail: marr001@brin.go.id, m.a.ega-putri@batan.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

M. A. E. Putri, R. Fitriana, M. Hasibuan, dan Maman, "Analisis perubahan nilai laju dosis terhadap variasi densitas produk pada irradiator karet alam," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraesmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 11, pp. 113–122, DOI: 10.55981/brin.690.c652, E-ISBN: 978-623-8372-02-7

## ABSTRACT

*Irradiator Karet Alam is an irradiation facility that was built in 1986 by utilizing Co-60 ionizing radiation. Irradiation is a technology to reduce the number of microbes in a product that can extend the shelf life of the product without producing residue. Various products have been irradiated at IRKA, such as basic food ingredients, herbs, to medical devices. Variations in the type of product cause variations in density which will affect the accuracy of the dose. Therefore, this study focuses on the effect of changes in the value of the dose rate on the density, where the value of this dose rate is the reference in determining the irradiation time of the product. The research method used is dose mapping to determine the distribution of the absorbed dose on the product and to determine the maximum and minimum dose on the product. The product used is a dummy in the form of rice husks and a mixture of sand- rice husks to obtain a variation of three densities, are 0.1 g/cm<sup>3</sup>, 0.3 g/cm<sup>3</sup>, and 0.5 g/cm<sup>3</sup>. The product was irradiated at the same time at the front position in Irradiator Karet Alam (IRKA) at an activity of 36,249.15 Ci. From the results of the study, it was found that there was a relationship between changes in the average dose rate value and density variation in the form of a linear line with a negative function, namely  $y = -0.3125x + 1.3488$  at  $R^2 = 0.9952$ , which means that the greater the density, the higher the dose rate value obtained will be smaller. This can be seen in the changes of the average dose rate at a density of 0.1 g/cm<sup>3</sup> to 0.3 g/cm<sup>3</sup> and a density of 0.3 g/cm<sup>3</sup> to 0.5 g/cm<sup>3</sup> decreased by about 4.8% to 5.3%. While the significant decrease in the value of the dose rate is the product with a density of 0.1 g/cm<sup>3</sup> against a density of 0.5 g/cm<sup>3</sup> by 9.8%. Therefore, in the irradiation process, it is necessary to calculate the radiation time based on the dose rate for a certain density variation in order to get the right dose.*

**Keywords:** Dose Rate; Density; IRKA; Dose Mapping.

## PENDAHULUAN

Irradiator Karet Alam (IRKA) merupakan fasilitas iradiasi yang dibangun tahun 1986 dengan memanfaatkan radiasi pengion Cobalt 60. Irradiator dibagi menjadi 4 kategori berdasarkan penyimpanan sumber radioaktif dan aksesibilitasnya. Irradiator Karet Alam termasuk dalam kategori IV di mana jika sumber radioaktif tidak digunakan, sumber disimpan di dalam kolam yang berisikan air demineral. Irradiator kategori IV memiliki akses manusia yang terkontrol di mana jika irradiator beroperasi maka manusia tidak bisa mengakses ruang iradiasi [1]. Sistem operasi IRKA menggunakan mode semi otomatis. Sumber radioaktif dikontrol secara otomatis melalui ruang kontrol namun pergerakan produk di dalam ruang iradiasi menggunakan tenaga manusia. Hal tersebut disebabkan oleh perubahan fungsi irradiator yang sebelumnya merupakan irradiator yang dikhususkan untuk mengiradiasi karet alam diubah menjadi irradiator serbaguna yang dapat mengiradiasi produk. Tangki karet alam yang sebelumnya digunakan untuk mengiradiasi karet alam dimodifikasi menjadi rak iradiasi produk yang terdiri dari 2 rak di antara sumber.

Iradiasi merupakan salah satu teknologi pengurangan jumlah mikroba dalam produk yang dapat memperpanjang masa simpan produk tersebut tanpa menghasilkan residu [2]. Teknologi iradiasi banyak diminati para pengusaha bahan pangan serta Usaha Mikro Kecil Menengah (UMKM). Antusias masyarakat terhadap teknologi iradiasi ini ditunjukkan dengan meningkatnya permohonan pengguna



jasa setiap tahunnya. Pada tahun 2018 permohonan iradiasi produk sebanyak 1175 permohonan [3]. Pada tahun 2019 permohonan iradiasi meningkat sekitar 50% menjadi 1762 permohonan [4]. Peningkatan permohonan iradiasi menambah variasi produk yang diiradiasi pada iradiator, khususnya Iradiator Karet Alam. Berbagai macam produk telah diiradiasi di IRKA, seperti bahan dasar pangan, kosmetik, herbal, hingga alat kesehatan. Setiap pengguna jasa mengemas produknya dengan kemasan yang bervariasi. Boks berdimensi 40 cm × 40 cm × 40 cm dengan massa produk 20 kg sudah ditetapkan sebagai kemasan standar untuk proses iradiasi. Namun, pada pelaksanaan iradiasinya, pengguna jasa mengemas produk mereka dengan dimensi boks dan massa yang beragam. Variasi dimensi ukuran boks dan massa akan menimbulkan variasi densitas. Densitas memengaruhi nilai dosis serap produk [5]. Jika densitas berpengaruh pada dosis yang diserap produk, tentunya ini akan menjadi permasalahan terkait ketepatan dosis permintaan. Perlakuan iradiasi menjadi berbeda jika densitas berbeda. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengaruh perubahan nilai laju dosis terhadap densitas, di mana nilai laju dosis ini berfungsi sebagai acuan dalam penentuan waktu iradiasi produk.

## METODE PERCOBAAN

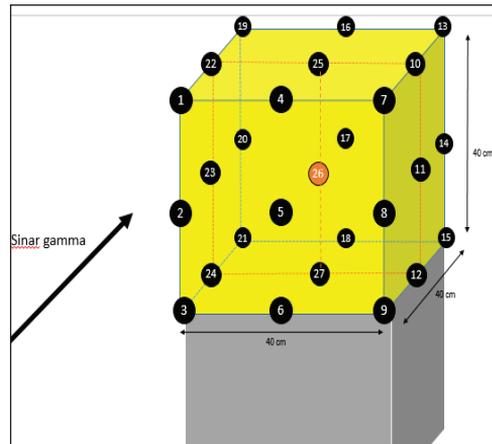
### Bahan dan Alat

Material utama dari penelitian ini, yaitu *dummy* produk berupa sekam dan campuran sekam pasir untuk mendapatkan variasi densitas. *Dummy* dikemas menggunakan boks dengan ukuran 40 cm x 40 cm x 40 cm. Densitas 0,1 g/cm<sup>3</sup> terdiri dari sekam sebanyak 7 kg, sedangkan densitas 0,3 g/cm<sup>3</sup> dan 0,5 g/cm<sup>3</sup> terdiri dari campuran sekam pasir di mana masing-masing bermassa 20 kg dan 25 kg. Selain *dummy*, dosimeter diperlukan untuk mendapatkan nilai dosis serap produk. Dosimeter yang digunakan adalah dosimeter jenis Poly Methyl Methacrylate (PMMA) tipe Amber 3042 AA fabrikasi Harwell, Inggris. Dosimeter jenis ini dapat mengukur dosis serap produk dengan rentang dosis 1–30 kGy pada panjang gelombang 603 nm. Tipe Amber 3042 AA berdimensi 30 mm x 11 mm dengan ketebalan 3 ± 0.55 mm [6].

### Tata Kerja

#### 1. Penempatan Dosimeter pada *Dummy*

Dosimeter Amber 3042 AA yang sudah diberi label di setiap dosimeternya dipasang pada boks *dummy* sebanyak 27 buah. 26 dosimeter dipasang pada bagian luar boks *dummy* dan 1 dosimeter dipasang di bagian dalam tengah boks *dummy*.



Gambar 1. Penempatan Dosimeter pada Dummy

Angka pada Gambar 1 merepresentasikan posisi dosimeter pada boks. Warna merah menandakan dosimeter berada di dalam boks.

## 2. Proses Iradiasi

Dummy dengan densitas tertentu yang sudah dilengkapi dosimeter diiradiasi di Iradiator Karet Alam (IRKA) fasilitas Pusat Riset dan Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi. Selama proses iradiasi dummy diletakkan pada posisi *front* rak barat dan timur. Posisi *front* merupakan posisi di mana boks *dummy* diletakkan ditengah-tengah rak pada ketinggian 40 cm dari lantai rak. Total waktu iradiasi *dummy* dengan densitas  $0,1 \text{ g/cm}^3$ ,  $0,3 \text{ g/cm}^3$ , dan  $0,5 \text{ g/cm}^3$  masing-masing, yaitu 4 jam pada aktivitas 36.249,15 Ci.

## 3. Pengukuran Dosis Serap Dosimeter PMMA

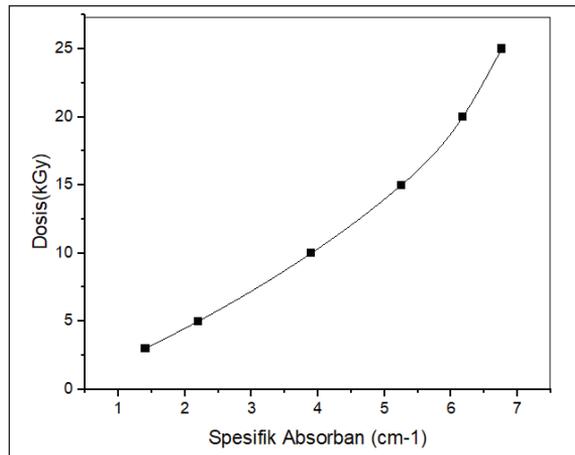
Dosimeter yang telah diiradiasi diukur absorbansinya menggunakan Cary 100 UV-VIS spektrofotometer fabrikasi Agilent Technologies pada panjang gelombang 603 nm. Setelah dosimeter diukur absorbansinya, tebal dosimeter PMMA tipe Amber 3042 diukur dengan menggunakan mikrometer sekrup merk Mitutoyo IP 65. Nilai absorbansi dan tebal yang diperoleh dari hasil pengukuran kemudian digunakan untuk menentukan nilai absorbansi spesifik. Dengan menggunakan tabel kalibrasi terhadap dosimeter Fricke, diperoleh nilai dosis serap.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengukuran pada penelitian berupa nilai absorbansi dan nilai tebal dari dosimeter. Kedua nilai ini digunakan untuk mendapatkan nilai absorbansi spesifik. Nilai absorbansi spesifik kemudian konversikan ke nilai dosis serap dengan menggunakan tabel kalibrasi dosimeter PMMA Harwell Amber 3042 AB terhadap dosimeter acuan larutan Fricke. Larutan Fricke merupakan dosimeter standar



yang digunakan untuk kegiatan kalibrasi irradiator [7]. Hasil penelitian Ladeira menegaskan bahwa penggunaan dosimeter PMMA Amber sesuai digunakan untuk dosimetri rutin dan sebagai jaminan kualitas proses pada fasilitas iradiasi [8]. Kalibrasi dosimeter PMMA Amber 3042 AB pada Gambar 2 diperoleh dengan menggunakan pendekatan polinomial memiliki persamaan berikut  $y = 0,0096x^5 - 0,1596x^4 + 1,0351x^3 - 3,0562x^2 + 6,6534x - 2,6165$  dengan  $R^2=1$ .



**Gambar 2.** Grafik Kalibrasi Dosimeter PMMA Amber 3042 terhadap Larutan Fricke

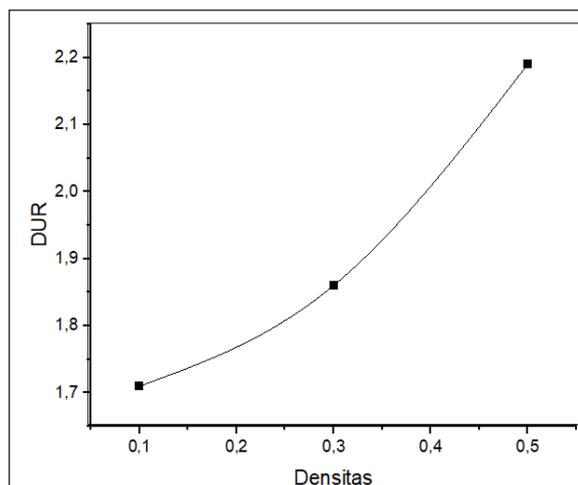
### Hasil Pengukuran Dosis Serap Produk

Data hasil pengukuran dosis serap produk dibedakan berdasarkan nilai densitas. Setiap densitas terdapat nilai pengukuran dosis serap pada rak barat dan rak timur. Hasil pengukuran dosis serap dapat dilihat pada Tabel 1. Pada Tabel 1 diperoleh nilai dosis serap maksimum dan minimum pada setiap boks yang telah dipasang dosimeter. Posisi dosis serap maksimum jika dilihat pada Gambar 1 merupakan posisi yang terletak pada bagian yang paling dekat dengan sumber iradiasi, sedangkan posisi minimum terletak pada posisi terjauh dari sumber radiasi. Sementara itu, dosis rerata merupakan hasil penjumlahan dosis di setiap dosimeter dibagi jumlah titik dosimeter/titik dosis.

Dari dosis rerata di Tabel 1 dapat terlihat bahwa densitas  $0,1 \text{ g/cm}^3$  menghasilkan dosis rerata tertinggi dibandingkan kedua densitas lainnya, walaupun diiradiasi dalam total waktu yang sama. Hal ini menandakan bahwa densitas berpengaruh pada dosis produk. Selain itu, dari dosis serap yang diterima produk juga dapat terlihat bahwa produk yang diradiasi di rak barat akan mendapatkan nilai dosis yang lebih besar dengan produk yang diradiasi di rak timur. Hal ini berhubungan dengan aktivitas sumber di kedua rak tersebut sehingga dapat disimpulkan bahwa aktivitas di rak barat lebih besar dibandingkan aktivitas di rak timur.



Dosis maksimum dan dosis minimum yang didapatkan dapat menjadi acuan dalam menentukan keseragaman dosis pada produk atau biasa disebut dengan *Dose Uniformity Ratio* (DUR). Menurut IAEA, DUR yang baik adalah jika  $< 1,5$ , namun jika DUR mencapai 2 atau pun 3, hal itu tidak menjadi masalah [9]. Untuk tujuan penelitian, bahkan DUR bisa sama dengan 1. Hal ini disebabkan sampel pada penelitian yang dalam skala kecil. Kemasan produk, seperti pada penelitian tidak dapat diterapkan pada produk komersil karena nilai ekonomi produk iradiasi akan menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan pengawetan dengan metode yang lain. Dimensi produk berpengaruh pada nilai DUR yang diperoleh. Hal tersebut tercermin dalam data DUR yang ditampilkan di Tabel 1. DUR yang didapatkan semuanya lebih besar dari 1,5. Tren grafik menunjukkan bahwa makin tinggi densitas, maka makin tinggi pula DUR yang didapatkan [10]. Hubungan antara densitas terhadap DUR dijabarkan dalam Gambar 3.



**Gambar 3.** Grafik Hubungan DUR vs Densitas pada Produk *Dummy*

Berdasarkan data-data yang dihasilkan maka untuk mendapatkan DUR yang baik adalah kurang dari 1,5 dibutuhkan setidaknya dua cara, yakni dengan mengurangi densitas dan juga dengan memperkecil dimensi produk agar antara titik maksimum dengan titik minimum tidak terlalu jauh. Oleh karena itu, penting bagi suatu fasilitas iradiasi untuk menentukan spesifikasi dimensi produk dan juga berat produk untuk diiradiasi agar menghasilkan keseragaman dosis yang baik.

Selain itu, beberapa iradiator lain juga menerapkan metode, seperti perputaran produk saat iradiasi, penempatan pensil aktivitas tinggi di dekat rak sumber, atau pun elaborasi posisi sumber terhadap produk (*product overlap* atau *source overlap*) [10].



**Pengaruh Nilai Laju Dosis terhadap Densitas di Iradiator Karet Alam (IRKA)**

Laju dosis merupakan banyaknya dosis yang diserap per satuan waktu. Nilai laju dosis dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 1 berikut:

$$D = \dot{D} \times t \text{ (1)}$$

Di mana, D = Dosis serap yang diterima (kGy)

$\dot{D}$  = Laju dosis serap (kGy/jam)

T = waktu iradiasi (jam) [11]

Melalui persamaan 1 maka diperoleh nilai laju dosis untuk setiap densitas. Hasil perhitungan laju dosis rerata dapat dilihat pada Tabel 2. Laju dosis rerata didapatkan dengan membagi dosis rerata terhadap waktu. Dosis rerata didapatkan pada Tabel 1, sedangkan waktu total merupakan waktu iradiasi, yakni selama 4 jam.

Data dari Tabel 2 memperlihatkan bahwa makin besar densitas maka makin kecil nilai laju dosis. Penurunan nilai laju dosis pada densitas 0,1 g/cm<sup>3</sup> terhadap 0,3 g/cm<sup>3</sup> sebesar 5,35%. Untuk densitas 0,3 g/cm<sup>3</sup> terhadap 0,5 g/cm<sup>3</sup> penurunan nilai laju dosis sebesar 4,8%. Penurunan laju dosis yang signifikan antara densitas 0,1 g/cm<sup>3</sup> terhadap 0,5 g/cm<sup>3</sup> sebesar 9,84%. Berbeda dengan grafik, hubungan DUR terhadap densitas digambarkan pada Gambar 3, sedangkan hubungan nilai laju dosis terhadap variasi densitas dituangkan ke dalam grafik di Gambar 4 berupa garis linier dengan fungsi negatif  $y = -0,325x + 1,3508$  dengan nilai  $R^2 = 0,998$  yang dapat diartikan makin besar nilai densitas maka nilai laju dosis yang diperoleh makin kecil.

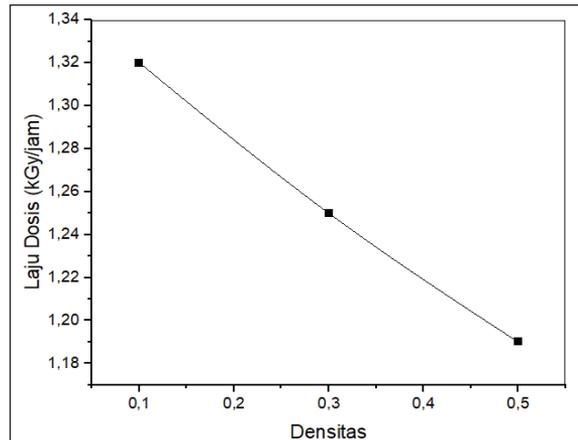
**Tabel 1.** Hasil Pengukuran Dosis Serap *Dummy* pada Setiap Densitas

Dosis	Densitas 0,1 g/cm <sup>3</sup>		Densitas 0,3 g/cm <sup>3</sup>		Densitas 0,5 g/cm <sup>3</sup>	
	Rak barat	Rak timur	Rak Barat	Rak timur	Rak barat	Rak timur
Maksimum	7,16	6,34	7,07	6,09	6,87	6,06
Minimum	4,18	3,70	3,84	3,24	3,22	2,71
Rerata	5,59	4,96	5,30	4,69	5,03	4,52
DUR	1,71	1,71	1,84	1,88	2,13	2,24

**Tabel 2.** Nilai Laju Dosis Rerata Terhadap Densitas

No.	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Laju Dosis rerata (kGy/jam)
1.	0,1	1,32
2.	0,3	1,25
3.	0,5	1,19

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini memberikan gambaran betapa densitas dapat memengaruhi ketepatan dosis. Jika produk dengan densitas yang berbeda diiradiasi dengan waktu yang sama maka salah satu dari produk tersebut pasti menerima dosis yang tidak sesuai.



**Gambar 4.** Grafik Hubungan Nilai Laju Dosis terhadap Densitas

Oleh karena itu, laju dosis yang telah didapatkan berdasarkan densitas pun dapat menjadi acuan dalam perhitungan dan penentuan waktu untuk melakukan iradiasi selanjutnya. Selain itu, waktu radiasi untuk densitas yang berbeda tidak bisa disamakan dengan salah satu densitas, karena jika densitas rendah mendapatkan waktu yang sama dengan densitas tinggi maka dosis yang diterima oleh densitas rendah akan sangat berlebih.

## KESIMPULAN

Variasi densitas produk memengaruhi perubahan nilai laju dosis serap pada Iradiator Karet Alam (IRKA). Hubungan densitas dengan nilai laju dosis berupa garis linier dengan persamaan negatif, yang dapat diartikan bahwa makin besar nilai densitas, makin kecil pula nilai laju dosis yang diperoleh.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Pusat Riset dan Teknologi, khususnya Balai Iradiasi, Elektromekanik, dan Instrumentasi yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian ini sehingga diperoleh data-data yang telah menunjang terselesaikannya makalah ini dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA, *Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities*, Vienna: IAEA, 2010.
- [2] O. J. Ajibola, "An overview of irradiation as a food preservation technique," *Nov. Res. Microbiol. Journal*, vol. 4, no. 3, pp. 779–789, 2020, doi: 10.21608/nrmj.2020.95321.
- [3] PAIR, "Rekap Jasa Layanan Iradiasi Tahun 2018," Jakarta: PAIR, 2018.
- [4] PAIR, "Rekap Jasa Layanan Iradiasi Tahun 2019," Jakarta: PAIR, 2019.



- [5] B. M. Rankovi dkk., “Dose mapping of products with different density irradiated in  $^{60}\text{Co}$  irradiation facility of The Vinca Institute, Serbia,” *Nucl. Technol. Radiat. Prot.*, vol. 35, no. 1, pp. 56–53, 2020, doi: 10.2298/NTRP2001056R.
- [6] Harwell Ltd, “Calibration Data,” Oxfordshire.
- [7] R. M. Fitriana, “Study of pmma dosimeters response against storage temperature and post-irradiation time,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1436, p. 012053, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1436/1/012053.
- [8] L. C. D. Ladeira, A. Z. Mesquita, dan M. T. Pereira, “Calibrations of amber perspex-PMMA dosimeter in the CDTN gamma irradiator operational conditions,” *J. Energy Power Eng.*, vol. 9, pp. 245–251, 2015, doi: 10.17265/1934-8975/2015.03.002.
- [9] G. G. Eichholz, “Dosimetry for food irradiation,” *Health Phys.*, vol. 84, no. 5, p. 665, 2003, doi: 10.1097/00004032-200305000-00016.
- [10] International Atomic Energy Agency, “Gamma irradiation for radiation processing,” *Ind. Appl. Chem. Sect.*, 2006.
- [11] Pusklat BATAN, *Dasar Proteksi Radiasi*, Jakarta: BATAN, 2019.



## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing