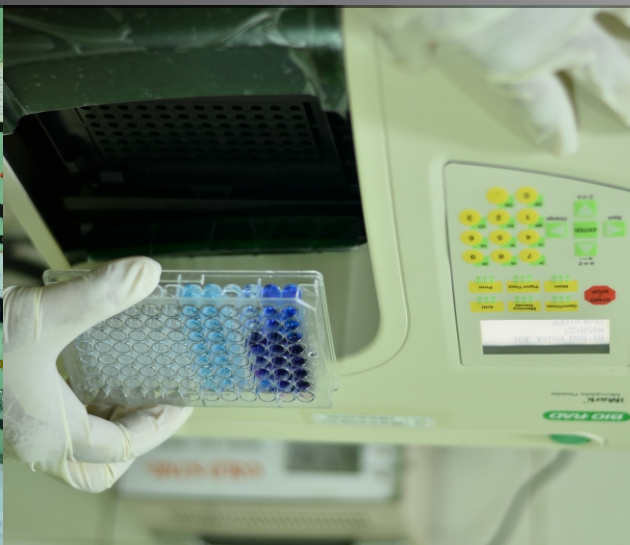


Editor:

Teguh Wahyono, Ania Citraresmini,  
Dien Puji Rahayu, Oktaviani, & Nur Robifahmi

# PROSIDING SEMINAR NASIONAL APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI 2021

Peran Isotop dan Radiasi  
untuk Indonesia yang Berdaya Saing



Editor:

Teguh Wahyono, Ania Citraresmini, Dien Puji Rahayu, Oktaviani, dan Nur Robifahmi

# **PROSIDING SEMINAR NASIONAL APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI 2021**

**Peran Isotop dan Radiasi  
untuk Indonesia yang Berdaya Saing**

---

**KST GA Siwabessy Jakarta, 8 November 2021**

Diterbitkan pertama pada 2023 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: [penerbit.brin.go.id](http://penerbit.brin.go.id)



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution Non-commercial Share Alike 4.0 International license (CC BY-NC-SA 4.0). Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC-BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Editor:

Teguh Wahyono, Ania Citraresmini, Dien Puji Rahayu, Oktaviani, dan Nur Robifahmi

# **PROSIDING SEMINAR NASIONAL APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI 2021**

**Peran Isotop dan Radiasi  
untuk Indonesia yang Berdaya Saing**

---

**KST GA Siwabessy Jakarta, 8 November 2021**

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2023 Badan Riset dan Inovasi Nasional  
Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi, Organisasi Riset Tenaga Nuklir

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Isotop dan Radiasi 2021: Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing/Teguh Wahyono, Ania Citraresmini, Dien Puji Rahayu, Oktaviani, & Nur Robifahmi–Jakarta: Penerbit BRIN, 2023.

xiv + 282 hlm; 21 x 29,7 cm

ISBN 978-623-8372-02-7 (*e-book*)




1. Isotop
2. Radiasi
3. Reaktor Nuklir

621.483

*Copy editor* : Sarah Fairuz  
*Proofreader* : Emsa Ayudia Putri & Rahma Hilma Taslima  
Penata isi : Utami Dwi Astuti  
Desainer Sampul : Meita Safitri

Cetakan Pertama : November 2023



Diterbitkan oleh:  
Penerbit BRIN, Anggota Ikapi  
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah  
Gedung B.J. Habibie, Jln. M.H. Thamrin No.8  
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,  
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340  
Whatsapp: +62 811-1064-6770  
*E-mail*: [penerbit@brin.go.id](mailto:penerbit@brin.go.id)  
*Website*: [penerbit.brin.go.id](http://penerbit.brin.go.id)  
 PenerbitBRIN  
 Penerbit\_BRIN  
 [penerbit.brin](https://www.instagram.com/penerbit.brin)



## ORGANIZING COMMITTEE

### SEMINAR APISORA 2021

“Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing”

#### Susunan Panitia

**Panitia Pengarah** : Dr. Roziq Himawan (Ka. PRTPR – ORTN)

#### Panitia Penyelenggara

Ketua : Aditya Dwi Permana Putra, S.Si., M.Phil.  
 Wakil Ketua : drh. Afi Candra Trinugraha, M.Sc.Tech.  
 Sekretaris : Akhmad Rasyid Syahputra, M.Si.  
 Bendahara : Agus Darmawan, S.P.

#### Sie. Acara Seminar Daring

1. Bayu Azmi, M.Si (Koordinator)
2. Ade Lestari Yunus, A.Md.
3. Susanto, S.Si.
4. Anggi Nico Flatian, S.P., M.Si
5. Arief Rachmanto, S.Si
6. Muhammad Fajar Sanjaya, S.ST
7. Muhammad Iqbal, S.P., M.Sc.

#### Sie. IT dan Perlengkapan

1. Muhamad Aminudin, S.ST., M.Sc. Tech. (Koordinator)
2. Nur Fitrianto, M.Si.
3. Indra Milyardi, S.ST., M.T.
4. Rahmad Ramdani Sambari, A.Md.
5. Asep Saefullah, S.Kom.

#### Sie. Promosi dan Humas

1. Wijaya Murti Indriatama, M.Si (Koordinator)
2. Indra Mustika Pratama, A.Md.
3. Kevin Bagus Wijaya Putra, A.Md.
4. Yunida Maharani, A.Md.Si.
5. Nentry Sinaga, A.Md.

#### Sie. Publikasi

1. Bambang Sutarto, M.M. (Koordinator)
2. M. Hamzah Solim, M.Si.

3. Moch. Faizal Ramadhani, S.Si.
4. Henny Widyastuti, S.Si.

**Editor:**

1. Dr. Teguh Wahyono - BRIN
2. Dr. Ania Citraresmini - BRIN
3. Dr. Dien Puji Rahayu - BRIN
4. Dr. Oktaviani - BRIN
5. Nur Robifahmi, M.Si - BRIN

**Reviewer:**

1. Prof. Dr. Paston Sidauruk - BRIN
2. Dr. Irawan Sugoro - BRIN
3. Prof. Dr. Soeranto Human - BRIN
4. Dr. Hendig Winarno - BRIN
5. Dr. Sugiharto - BRIN
6. Prof. Dr. Ir. Dewi Apri Astuti - IPB
7. Dr. Eng. Sidik Permana - ITB
8. Prof. Dr. Mukh. Syaifudin - BRIN
9. Dr. Dasumiati - UIN Jakarta
10. Dr. Darmawan, Apt - BRIN
11. Dr. Tita Puspitasari - BRIN
12. Dr. Ali Arman - BRIN
13. Niken Hayudanti Anggarini, M.Si. - BRIN



## DAFTAR ISI

<b>ORGANIZING COMMITTEE</b>	v
<b>PENGANTAR PENERBIT</b>	xi
<b>KATA PENGANTAR</b>	xiii
<b>KLASTER: PERTANIAN</b>	
PN-001	
Kapasitas Antioksidan Biji Kopi Robusta ( <i>Coffea Canephora</i> P.) di Daerah Bogor, Kuningan, dan Sumedang	3
<b>Novi Fajar Utami, Sri Maryanti, dan Sutanto</b>	
PN-002	
Seleksi Rhizobium Asal Tanah Desa Akar-Akar Lombok Utara pada Tanaman Kedelai Varietas Mutiara Batan	15
<b>Nur Robifahmi, Muftia Hanani, A. Citraresmini, Sudono Slamet, Taufiq Bachtiar, Anggi Nico Flatian, dan Dinda Ikhwanti</b>	
PN-004	
Analisis Kandungan Unsur Logam pada Pakan Ternak dengan Metode Analisis Aktifasi Neutron (Aan) Reaktor Kartini	27
<b>Taxwim, Sri Murniasih, dan Maria M.W.R.Y.</b>	
PN-005	
Peran Produk Teknologi Isotop dan Radiasi dalam Meningkatkan Produktivitas Padi di Kecamatan Lakkok	37
<b>Fery Wahyu Ramadhan</b>	
PN-006	
Evaluasi Organ Vegetatif dan Generatif Empat Varietas Krisan Hasil Mutasi Sinar Gamma	45
<b>Lia Sanjaya, Eka Fibrianty, Ridho Kurniati, Mawaddah, Hanudin, I.B. Raharjo, Musalamah, Rita Indrasti, dan J.B. Markus Rawung</b>	
PN-007	
Distribusi Kelembapan Tanah Akibat Aplikasi Biochar pada Tanah Podsolik yang Ditentukan dengan Neutron <i>Probe</i>	63
<b>Mario Rahmat Akbar, Riefki Chiesa Athella, Taufiq Bachtiar, dan Ania Citraresmini</b>	



## KLASTER: NATURAL SCIENCE

NS-001

Penentuan Kadar Logam Berat (Cr, Fe, Sr, Dan Zn) dalam Kerangka Karang *Porites Sp.* dengan Metode Analisis Pengaktifan Neutron 75

**U. Sugiharto, A.D.P. Putra, D. Shintianata, F.P. Andini, dan A.A. Lubis**

NS-002

Penentuan Umur dan Laju Pertumbuhan Karang *Porites lobata* di Wakatobi dan Teluk Lampung Menggunakan Sinar-X 83

**A.D.P. Putra, U. Sugiharto, dan A.A. Lubis**

## KLASTER: KESEHATAN DAN PANGAN

KP-001

Kajian Penerapan Standar Nasional Indonesia (SNI) terhadap Pangan Olahan Siap Saji Iradiasi untuk Meningkatkan Daya Saing Produk 93

**Ika Wahyu Setya Andani, Anggraini Ratih Kumaraningrum, Ali Musyafa, dan M. Ari Rahmadani**

KP-003

Studi Awal Pengawetan Gudeg dengan Iradiasi Gamma Dosis Sedang Kombinasi Variasi Pengemas 101

**R. P. Tanhindarto, A. M. Benita, I. M. Pratama, D. Lasmawati, dan H. Widyastuti**

## KLASTER: ILMU BAHAN DAN KETEKNIKAN

MI-002

Analisis Perubahan Nilai Laju Dosis terhadap Variasi Densitas Produk pada Iradiator Karet Alam 113

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

MI-003

Pemeriksaan Cacat *Planar* dan *Non-Planar* Pada Sambungan Las Sampel Logam Terpilih Menggunakan Metode Ultrasonik dan Radiografi 123

**Mudi Haryanto, Andryansyah, dan Alim Mardhi**

MI-004

Kajian Penerapan Standar SNI ISO 14470:2014 dan SNI ISO 11137-1:2015 Pada Iradiator Gamma Merah Putih (IGMP) 133

**Ika Wahyu Setya Andani, Yulaida Maya Sari, dan Jepri Sutanto**

MI-005

Inspeksi Bellows Expansion Joint SXB-34603D Train 3 Menggunakan *Dye Penetran* Dan Metalografi Mikro 141

**Mudi Haryanto, dan Andryansyah**

## KLASTER: KESELAMATAN RADIASI DAN LINGKUNGAN

KL-001		
Kajian Dosis Pengangkutan Zat Radioaktif sebagai Upaya Penetapan Program Pengangkutan di PRTRR		151
<b>Bisma Barron Patrianesha, Didik Setiaji, Fath Priyadi, dan Hadirahman</b>		
KL-002		
Kajian Standar BATAN 010:2011 untuk Peningkatan Efektivitas Sertifikasi Personel Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka		163
<b>Ratih Luhuring Tyas, Sugiyarto, dan Ika Wahyu Setya Andani</b>		
KL-003		
Pengukuran Kontaminasi Uranium dan Stronsium-90 pada Kegiatan Analisis Uji <i>In Vitro</i> di Laboratorium Kimia PDPL Batan		173
<b>M.R. Sarpriani, D.A. Prastowo, dan I.D. Junianto</b>		
KL-004		
Reliability Of Radiation Portal Monitor Using False Alarm Testing		183
<b>R.L. Tyas, D. Listianti, J. Triyanto, dan J. Sutanto</b>		
KL-005		
Evaluasi Pengelolaan Limbah di Pusat Riset Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi		191
<b>Niken Hayudanti Anggarini, M. Fajar Sanjaya, Rahmad Ramdhani Sambari, dan Megy Stefanus</b>		
KL-006		
Evaluasi Dosis Radiasi Internal Pekerja Radiasi Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PTRR) dari Tahun 2011 Sampai 2020		205
<b>Rr. Djarwanti RPS, Adelili Hermana, Fath Priyadi, dan Hadirahman</b>		
KL-007		
Vibration Test with Acceleration for Portal Radiation Monitor Based on SNI IEC 62244:2016		213
<b>D. Intaningrum, I.D. Junianto, R.L. Tyas, dan M. Amin</b>		
KL-008		
Pengukuran Radon dengan Teknik <i>Grab</i> Dan <i>Sniff</i> Menggunakan Rad7: Studi Perbandingan Metode		225
<b>M.F. Ramadhani, R. Prasetyo, dan N. Laksminingpuri</b>		
KL-009		
Kajian Aspek Keselamatan Kegiatan Pelimbahan Sumber Radiasi CO-60 Bekas Penggunaan di Iradiator Karet Alam (Irka)		233
<b>Muhamad Aminudin, Megy Stefanus, Rahmad Ramdani Sambari, dan Norman Pamungkas</b>		

KL-010		
Kajian Penetapan Nilai Pembatas Dosis di Pusat Riset dan Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi (PRTAIR) - Badan Riset dan Inovasi Nasional		243
<b>Norman Pamungkas, Asti Nilatany, Emilia Annisa, dan Muhamad Aminudin</b>		
KL-011		
Rancangan Kontainer Penyimpanan Jangka Panjang Hasil Dismantling Zat Radioaktif Terbungkus yang tidak Digunakan		251
<b>Suhartono, Moch Romli, dan Mochamad Ramdan</b>		
KL-012		
Rancangan Konseptual Kontainer Pengangkutan untuk Limbah Radioaktif Kapsul <i>Fission Product Molybdenum</i>		263
<b>M. Romli, D. Pangestu, dan Suhartono</b>		
KL-013		
Pengembangan Sistem Pemantau Radiasi Kontaminasi Udara Radon dan Thoron Online		273
<b>Adi Wijayanto</b>		



## PENGANTAR PENERBIT

Sebagai penerbit ilmiah, Penerbit BRIN mempunyai tanggung jawab untuk terus berupaya menyediakan terbitan ilmiah yang berkualitas. Upaya tersebut merupakan salah satu perwujudan tugas Penerbit BRIN untuk turut serta membangun sumber daya manusia unggul dan mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Prosiding Seminar Nasional APISORA 2021 “Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing” diterbitkan sebagai diseminasi hasil 27 karya ilmiah oleh 32 pembicara yang mempresentasikan karya ilmiahnya. Para pemakalah dan pembicara dari berbagai institusi/universitas serta berasal dari latar belakang profesi yang berbeda akan dihadirkan dalam Seminar Nasional APISORA yang telah diselenggarakan pada tanggal 8 November 2021. Seminar ini diselenggarakan secara daring mengingat kondisi pandemi Covid-19 dan dengan dihadiri tamu undangan dari berbagai instansi pemerintah, universitas, perumahan, rumah sakit, dan industri swasta di Indonesia. Seminar ini diselenggarakan oleh Pusat Riset Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi (PRTAIR), Badan Teknologi Nuklir Nasional (BATAN) yang saat ini PRTAIR telah berubah menjadi Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi (PRTPR) Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN).

Harapan kami penerbitan prosiding ini dapat bermanfaat untuk masyarakat serta para pihak terkait. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku ini

Penerbit BRIN





## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh,*

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah Swt. atas segala berkah, rahmat, dan karunia-Nya sehingga Seminar Nasional Aplikasi Isotop dan Radiasi (APISORA) 2021 dengan tema “Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing” dapat berjalan dengan lancar. Prosiding ini merupakan kumpulan dari 27 karya ilmiah dari 32 pemakalah yang telah mempresentasikan karya ilmiahnya. Pemakalah berasal dari berbagai institusi/universitas dan berbagai latar belakang kepakaran yang dipresentasikan pada Seminar Nasional APISORA yang diselenggarakan pada tanggal 8 November 2021 di Pusat Riset Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi (PRTAIR), Badan Teknologi Nuklir Nasional (BATAN). Sebagai informasi, saat ini PRTAIR telah berubah menjadi Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi (PRTPR), Organisasi Riset Teknologi Nuklir (ORTN), Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN). Makalah yang dipresentasikan pada seminar APISORA telah melalui seleksi Editor dan Reviewer APISORA.

Seminar APISORA 2021 dilaksanakan secara daring mengingat kondisi pandemi Covid-19 dan dihadiri oleh tamu undangan dari instansi pemerintah, universitas, rumah sakit, dan industri swasta di Indonesia. Pembicara utama dalam seminar ini adalah Kepala BRIN yang juga berkenan membuka acara APISORA 2021, Prof. Dr. Anhar Riza Antariksawan (peneliti senior di ORTN), Ir. Narwandi, S.T. (PT Pupuk Kaltim), Dr. Ir. Mansyur, M.Si., IPM (Dosen Fakultas Peternakan Universitas Padjadjaran), dan dr. Rizki Rahmadian, Sp. OT., M.Kes. (RSUP Dr. M. Djamil). Sebanyak 90 peserta pendengar yang mendaftar berasal dari berbagai lembaga, yakni Badan POM, Balai Penelitian Tanaman Hias, Dinas Pertanian dan Pangan Kabupaten Rembang, Dinas Pertanian Pangan dan Perikanan Kabupaten Sleman, Komunitas Muda Nuklir Nasional, Pusat Riset dan Standardisasi Nuklir dan Metrologi Radiasi, RSUD Koja Jakarta Utara, UIN Syarif Hidayatullah, Universitas Al Azhar Indonesia, Universitas Diponegoro, Universitas Gadjah Mada, Universitas Indonesia, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Universitas Muslim Indonesia, Universitas Pakuan, Universitas Sebelas Maret, ORTN, serta para sivitas BRIN lainnya.

PRTPR sebagai pihak penyelenggara seminar APISORA 2021 mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kepala BRIN beserta jajarannya, pimpinan ORTN, kepala PRTPR, seluruh panitia, pembicara, moderator, serta peserta pemakalah dan pendengar yang telah berpartisipasi aktif dalam kegiatan seminar. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh dewan Editor dan Reviewer APISORA yang telah melakukan seleksi, memberikan penilaian, arahan, masukan, dan koreksi terhadap makalah-makalah yang masuk. Ucapan terima kasih yang tak terhingga juga diucapkan kepada seluruh dewan redaksi yang telah bekerja keras untuk menyusun dan menerbitkan prosiding ini. Besar harapan kami, bahwa buku prosiding yang memuat tulisan ilmiah dalam kegiatan ini akan memberikan manfaat bagi para peneliti dan akademisi lainnya, serta menjadi acuan dalam melakukan kegiatan penelitian dan pengembangan aplikasi isotop dan radiasi di Indonesia.

*Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh,*

Jakarta, 8 Mei 2022  
Kepala Pusat Riset Teknologi  
Proses Radiasi

Dr. Irawan Sugoro, M.Si



# PROSIDING SESI PARALEL SEMINAR APISORA 2021





## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

Buku ini tidak diperjualbelikan.



PN-001

## KAPASITAS ANTIOKSIDAN BIJI KOPI ROBUSTA (*COFFEA CANEPHORA P.*) DI DAERAH BOGOR, KUNINGAN, DAN SUMEDANG

### *ANTIOXIDANT CAPACITY OF ROBUSTA COFFEE BEAN (COFFEA CANEPHORA P.) FROM BOGOR, KUNINGAN, AND SUMEDANG REGION*

Novi Fajar Utami, Sri Maryanti, dan Sutanto

#### ABSTRAK

Antioksidan merupakan senyawa pemberi elektron atau reduktan. Senyawa ini memiliki berat molekul kecil, tetapi mampu mengaktivasi berkembangnya reaksi oksidasi dengan cara mencegah terbentuknya radikal. Radikal bebas dapat mengoksidasi asam nukleat, protein, lemak, dan DNA sel. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan aktivitas dan kapasitas antioksidan biji kopi robusta (*Coffea canephora P.*) dari daerah Bogor, Kuningan, dan Sumedang. Biji kopi diekstraksi dengan metode maserasi menggunakan pelarut etanol 96%. Aktivitas antioksidan ditentukan dengan metode DPPH. Kapasitas antioksidan ditentukan dengan metode ABTS dan FRAP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan pada biji kopi robusta dari daerah Sumedang memperoleh nilai  $IC_{50}$  sebesar 53,26 mg/L, daerah Kuningan memperoleh nilai sebesar  $IC_{50}$  59,02 mg/L, dan dari daerah Bogor memperoleh nilai  $IC_{50}$  sebesar 61,17 mg/L. Hasil pengujian terhadap kapasitas antioksidan dari biji kopi robusta dengan metode ABTS memperoleh nilai kapasitas antioksidan yang lebih rendah daripada metode FRAP. Perolehan nilai kapasitas antioksidan dari daerah Sumedang, yaitu sebesar 56,35 mg AAE/g ekstrak, dari daerah Bogor sebesar 67,52 mg AAE/g ekstrak, dan daerah Kuningan sebesar 40,81 mg AAE/g ekstrak.

**Kata kunci:** *Coffea Canephora*; DPPH; ABTS; FRAP.

#### ABSTRACT

*Antioxidants are electron-donating compounds or reductants. Those compounds have light molecule weight but can activate the development of oxidation reactions by preventing the formation of radicals. Free radicals can oxidize nucleic acid, protein, fat, and cell DNA. This study aims to determine the antioxidant activity and capacity of robusta coffee beans (Coffea canephora P) from Bogor, Kuningan, and Sumedang areas. Coffee beans were extracted by the maceration method using 96% ethanol as solvent. Antioxidant activity was determined by the DPPH method, and antioxidant capacity was determined by ABTS and FRAP methods. The results showed that the antioxidant activity of robusta*

N. F. Utami, S. Maryanti, & Sutanto

\*Program Studi Farmasi FMIPA, Universitas Pakuan, Indonesia, e-mail: novi.utami@unpak.ac.id

@ 2023 Penerbit BRIN

N. F. Utami, S. Maryanti, dan Sutanto, "Kapasitas antioksidan biji kopi robusta (*Coffea canephora P.*) di daerah Bogor, Kuningan, dan Sumedang," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 1, pp. 3–14, DOI: 10.55981/brin.690.c642, E-ISBN: 978-623-8372-02-7



coffee beans from the Sumedang area obtained an  $IC_{50}$  value of 53.26 mg/L; Kuningan area obtained an  $IC_{50}$  value of 59,02 mg/L and from the Bogor area an  $IC_{50}$  value of 61.17 mg/L. The results of testing the antioxidant capacity of robusta coffee beans with the ABTS method obtained a lower antioxidant capacity value than the FRAP method. The antioxidant capacity value obtained from the Sumedang area was 56.35 mg AAE/9 extract, from the Bogor area it was 67.52 mg AAE/g extract and the Kuningan area was 40.81 mg AAE/g extract.

**Keywords:** *Coffea canephora*; DPPH; ABTS; FRAP.

## PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu minuman yang banyak dikonsumsi dan digemari oleh masyarakat Indonesia sehingga komoditas kopi sangat mendukung pengembangan kegiatan perkebunan kopi di Indonesia [1].

Penelitian terkait kandungan senyawa fenolik dan aktivitas antioksidan dari biji kopi robusta di Provinsi Jawa Barat (Bandung, Bogor, dan Garut) dengan menggunakan metode DPPH telah dilakukan dan memperoleh hasil nilai  $IC_{50}$  sebesar 54,14 ppm dari daerah Garut, di mana nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan biji kopi robusta asal daerah Bandung dan Bogor yang memperoleh nilai  $IC_{50}$  sebesar 55,13 ppm dan 56,48 ppm [2]. Berdasarkan penelitian tersebut, pengembangan metode pengujian aktivitas dan kapasitas antioksidan perlu dikembangkan. Terdapat 3 metode pengujian antioksidan yang sering digunakan, yaitu metode DPPH, 2,2'-Azinobis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS), dan Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) [3].

Pengujian aktivitas antioksidan dengan metode DPPH digunakan untuk mengukur tingkat kekuatan antioksidannya [4]. Keberadaan senyawa antioksidan dapat mengubah warna larutan DPPH dari ungu menjadi kuning [4]. Pengujian kapasitas antioksidan pada biji kopi robusta dapat dilakukan dengan metode ABTS dan FRAP.

Tiga daerah penghasil kopi terbesar di Provinsi Jawa Barat terdapat di Kabupaten Bogor (680 mdpl), Kabupaten Kuningan (800 mdpl), dan Kabupaten Sumedang (900 mdpl). Perbedaan dari ketiga daerah dan lingkungan tempat tumbuh akan menyebabkan pengaruh intensitas cahaya dan suhu terhadap laju fotosintesis yang dapat menyebabkan perbedaan kualitas biji kopi [5].

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan aktivitas dan kapasitas antioksidan biji kopi robusta (*Coffea canephora* P.) dari daerah Bogor, Kuningan, dan Sumedang.

## METODE PERCOBAAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Farmasi, Fakultas MIPA, Universitas Pakuan, Bogor.



## Bahan dan Alat

Alat yang digunakan adalah botol gelap (botol cokelat), ayakan 40 mesh, timbangan digital (AND G-120<sup>®</sup>), *moisture balance* (AND MX 50<sup>®</sup>), oven, tanur (Ney<sup>®</sup>), *vaccum dryer*, seperangkat alat spektrofotometer UV-Vis (Optizen<sup>®</sup>), serta alat-alat gelas.

Biji kopi robusta yang berasal dari Kabupaten Bogor, Kabupaten Kuningan, dan Kabupaten Sumedang, etanol 96%, DPPH, ABTS, FRAP (Merck, Jerman), dan asam askorbat p.a sebagai kontrol positif.

## Tata Kerja

### *Pembuatan Ekstrak*

Serbuk simplisia ditimbang sebanyak 200 g, kemudian dimasukkan ke dalam botol gelap (1:10). Cairan pengekstraksi etanol 96% (900 mL) dimasukkan ke dalam botol gelap, dibiarkan selama 6 jam sambil diaduk sesekali, kemudian dibiarkan selama 18 jam, lalu ditambahkan 900 mL etanol 96% hingga seluruh serbuk sampel terendam, ditutup rapat, dan dienaptuangkan. Maserat diserukai, diperas, kemudian dipisahkan filtratnya, ampas dibuang dan filtrat dienaptuangkan selama satu malam, lalu dilakukan pengadukan sesering mungkin. Campuran kemudian disaring dan residu direndam kembali dengan ditambahkan 700 mL etanol 96% cairan penyari yang baru, dilakukan pengulangan 2 kali (duplo). Filtrat dikumpulkan kemudian dikeringkan dengan menggunakan *vaccum dry* hingga diperoleh ekstrak kering [6].

### *Karakterisasi Biji Kopi Penetapan Kadar Air*

Pemeriksaan kadar air dilakukan metode gravimetri. Sampel ditimbang teliti (2,0 g) dalam cawan yang telah ditara. Sampel dikeringkan pada suhu 105°C selama 5 jam, diangkat, didinginkan, dan ditimbang bobotnya. Pengeringan dilanjutkan dan ditimbang pada jarak 1 jam sampai perbedaan antara dua penimbangan berturut-turut tidak lebih dari 0,25% [6].

### *Penetapan Kadar Abu*

Bahan uji ditimbang dengan seksama 2–3 g, kemudian dimasukkan ke krus silikat yang telah dipijar dan ditara, diratakan. Sampel dipijar pada suhu  $\pm 600^\circ\text{C}$  perlahan-lahan hingga arang habis, kemudian didinginkan dan ditimbang hingga bobot konstan  $\pm 0,25\%$ . Jika dengan cara ini arang tidak dapat dihilangkan, ditambahkan air panas, diaduk, dan disaring. Dimasukkan filtrat ke dalam krus, diuapkan, dan dipijarkan hingga bobot konstan. Kadar abu total dihitung terhadap bahan yang telah dikeringkan di udara. Dilakukan pengulangan 2 kali (duplo) [6].



## Uji Aktivitas Antioksidan Metode DPPH [7]

### *Pembuatan Larutan*

1. Larutan DPPH 1 mM

Serbuk DPPH ditimbang tepat 39,432 mg dan dilarutkan dengan metanol ad 100 mL pada labu ukur yang sudah dilapisi oleh *aluminium foil*.

2. Larutan blanko

Dipipet sebanyak 1 mL larutan DPPH 1 mM, ditambahkan metanol sampai 10 mL, kemudian dihomogenkan. Larutan blanko diinkubasi pada suhu kamar (25–30°C) selama 30 menit.

3. Larutan standar induk vitamin C 100 ppm

Ditimbang 100 mg asam askorbat dan dilarutkan dengan metanol sampai batas labu ukur 100 mL (larutan vitamin C 1000 ppm) kemudian dipipet sebanyak 10 mL dan dilarutkan kembali dengan metanol ad 100 mL (larutan vitamin C 100 ppm).

### *Penentuan Panjang Gelombang Maksimum*

Dipipet sebanyak 1 mL larutan DPPH 1 mM dan 10 mL larutan metanol, diinkubasi (suhu kamar, 30 menit). Serapan diukur pada panjang gelombang 500–600 nm.

### *Penentuan Waktu Inkubasi Optimum*

Dipipet sebanyak 1 mL larutan induk standar vitamin C 100 ppm, kemudian dimasukkan ke labu ukur 10 mL dan ditambahkan 1 mL larutan DPPH 1 mM. Lalu diencerkan dengan metanol p.a sampai tanda batas, kemudian dihomogenkan dan diinkubasi pada suhu kamar. Serapan diukur pada panjang gelombang maksimum dan diukur pada waktu 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit sehingga didapat waktu serapan optimum yang stabil.

### *Pembuatan Deret Larutan Standar Vitamin C*

Dibuat deret standar asam askorbat dengan konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm dari larutan induk vitamin C 100 ppm dengan cara dipipet 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1 mL ke labu ukur 10 mL. Masing-masing labu ukur ditambahkan 1 mL larutan DPPH 1 mM. Lalu diencerkan dengan metanol p.a sampai tanda batas 10 mL, kemudian dihomogenkan dan diinkubasi pada suhu kamar. Serapan diukur pada panjang gelombang maksimum dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

### *Pembuatan Variasi Larutan Uji*

Pembuatan variasi larutan uji dilakukan dengan terlebih dahulu membuat larutan induk 1000 ppm, yaitu dengan melarutkan 50 mg ekstrak kopi robusta. Masing-masing dimasukkan ke labu ukur 50 mL, kemudian dilarutkan dengan metanol p.a sampai tanda batas. Deret standar dibuat dengan konsentrasi 5, 10, 20, 40, 80, dan 100 ppm dengan cara dipipet 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; dan 1 ml dari larutan induk ke



labu ukur 10 mL. Masing-masing labu ukur ditambahkan 1 mL larutan DPPH 1 mm. Lalu diencerkan dengan metanol p.a sampai tanda batas 10 mL, dan dihomogenkan. Deret larutan uji didiamkan selama waktu optimum pada suhu kamar [7].

### ***Pengujian Antioksidan Dengan Metode DPPH***

Nilai presentase hambatan DPPH dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{Inhibisi} = \frac{\text{Abs blanko} - \text{Abs sampel}}{\text{Abs blanko}} \times 100\%$$

### ***Nilai IC<sub>50</sub> (Half Inhibitory Concentration)***

IC<sub>50</sub> diperoleh dari potongan garis antara 50% daya hambat dengan sumbu konsentrasi menggunakan persamaan linear ( $y = bx + a$ ), di mana  $y = 50$  dan  $x$  menunjukkan IC<sub>50</sub>.

### ***Uji Kapasitas Antioksidan Metode ABTS [8]***

#### ***Pembuatan Larutan***

- Larutan Kalium Persulfat 2,45 mM  
Serbuk K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> (70 mg) diencerkan dengan etanol 96% sampai tanda batas 50 mL.
- Larutan ABTS 7 mM  
Serbuk ABTS (80 mg) dilarutkan dengan etanol 96% dalam labu ukur 10 mL. Larutan ABTS kemudian dicampurkan dengan 10 mL larutan K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 2,45 mm dan diinkubasi selama 16 jam dalam ruang gelap pada suhu kamar.
- Larutan induk standar vitamin C 100 ppm
- Larutan Blanko  
Dipipet 0,1 mL larutan ABTS 7 mM ke labu ukur 10 mL, lalu dilarutkan dengan etanol 96% sampai tanda batas.

#### ***Penentuan Panjang Gelombang Maksimum***

Larutan ABTS (7 mM, 0,1 mL) dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mL, kemudian dilarutkan dengan etanol 96% hingga tanda batas. Diinkubasi selama 6 menit dan diukur panjang gelombang pada kisaran 400–800 nm.

#### ***Penentuan Waktu Inkubasi Optimum***

Larutan induk standar vitamin C (100 ppm, 1 mL) ditambahkan larutan ABTS (7 mM, 1 mL), kemudian dilarutkan dengan etanol 96% sampai tanda batas 10 mL. Serapan diukur pada panjang gelombang maksimum dan pada waktu 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 menit sehingga didapat waktu serapan optimum yang stabil.

#### ***Pembuatan Deret Larutan Standar Vitamin C***

Dibuat deret standar asam askorbat dengan konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm dari larutan induk vitamin C 100 ppm dengan cara dipipet 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1 mL,



kemudian ditambahkan larutan ABTS (7 mM, 0,1 mL) dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas 10 mL. Diinkubasi pada waktu optimum dan diukur pada panjang gelombang maksimum.

### ***Pembuatan Larutan Uji***

Sebanyak 10 mg ekstrak kopi robusta dilarutkan dengan etanol 96% dalam labu ukur 100 mL. Sebanyak 1 mL larutan ekstrak kopi ditambahkan larutan ABTS (7 mM, 0,1 mL), diencerkan dengan etanol 96% sampai tanda batas (10 mL). Campuran dihomogenkan, diukur absorbansinya pada waktu optimum dan panjang gelombang maksimum.

### ***Pengujian Antioksidan Dengan Metode ABTS***

Kapasitas antioksidan dinyatakan bobot vitamin C tiap gram serbuk simplisia. Perhitungan total antioksidan dilakukan dengan persamaan regresi linear:  $y = b x + a$ .

Keterangan:

$y$  = Absorbansi sampel

$x$  = kadar antioksidan sampel (mg AAE/L)

$b$  = Slope dari kurva standar

$a$  = intersep dari kurva standar

$$\text{Kapasitas antioksidan} = \frac{C \times V \times Fp \times 10^{-3}}{g}$$

### **Uji Kapasitas Antioksidan Metode FRAP [9]**

#### ***Pembuatan Larutan***

- a. Larutan  $\text{FeCl}_3$  0,1%  
Serbuk  $\text{FeCl}_3$  (0,1 g) ditambahkan 2 tetes HCl pekat, kemudian diencerkan dengan akuades hingga tanda batas labu ukur 100 mL, dan dihomogenkan.
- b. Larutan Kalium Ferri sianida 1%  
Serbuk  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  ditimbang teliti 1g, diencerkan dengan akuades hingga tanda batas labu ukur 100 mL, dan dihomogenkan.
- c. Larutan buffer posfat pH 6,6  
Ditimbang teliti 0,2 M kalium dihidrogen posfat 5,44 g, ditambah 16,4 g natrium hidroksida, dan diencerkan dengan air bebas karbondioksida secukupnya hingga 200 mL.
- d. Larutan asam trikloroasetat (TCA) 10%  
Ditimbang teliti 10 g asam trikloroasetat, kemudian dimasukkan ke labu ukur 100 mL, kemudian diencerkan dengan akuades hingga tanda batas lalu dihomogenkan.



- e. Larutan induk standar vitamin C 100 ppm
- f. Larutan blanko  
Dipipet 10 mL akuades, serta dimasukkan ke labu ukur 10 mL.

#### ***Penentuan Panjang Gelombang Maksimum***

Sebanyak 2,5 mL buffer posfat ditambahkan 2,5 mL  $K_3Fe(CN)_6$ , kemudian diinkubasi ( $50^\circ C$ , 20 menit). Ditambahkan asam trikloroasetat 2,5 mL, kemudian disentrifugasi (3000 rpm, 10 menit). Lapisan atas diambil 2,5 mL, ditambahkan 2,5 mL akuades, dan 0,5 mL  $FeCl_3$  0,1%, kemudian diukur serapannya pada panjang gelombang 650–720 nm.

#### ***Penentuan Waktu Inkubasi Optimum***

Dipipet 1 mL larutan induk standar vitamin C 100 ppm, kemudian ditambahkan 2,5 mL buffer posfat dan 2,5 mL  $K_3Fe(CN)_6$ . Setelah itu, diinkubasi pada suhu  $50^\circ C$  dan pada waktu 5, 10, 15, 20, 25, 30 menit. Ditambahkan asam trikloroasetat 2,5 mL, kemudian disentrifugasi (3000 rpm, 10 menit). Lapisan atas diambil 2,5 mL, ditambahkan 2,5 mL akuades dan 0,5 mL  $FeCl_3$  0,1% kemudian diukur serapannya pada panjang gelombang 650–720 nm.

#### ***Pembuatan Deret Larutan Standar Vitamin C***

Dibuat deret standar asam askorbat dengan konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm dari larutan induk vitamin C 100 ppm dengan cara dipipet 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1 mL. Ditambahkan 2,5 mL buffer posfat dan 2,5 mL  $K_3Fe(CN)_6$ , kemudian diinkubasi ( $50^\circ C$ , 20 menit). Ditambahkan asam trikloroasetat 2,5 mL kemudian disentrifugasi (3000 rpm, 10 menit). Lapisan atas diambil 2,5 mL, ditambahkan 2,5 mL akuades dan 0,5 mL  $FeCl_3$  0,1% kemudian diukur serapannya pada panjang gelombang 650–720 nm.

#### ***Pembuatan Larutan Uji***

Ditimbang 10 mg ekstrak kopi robusta, dimasukkan ke labu ukur 100 mL, dan dilarutkan dengan etanol 96% sampai tanda batas. Selanjutnya dipipet 1 mL, dan dimasukkan ke labu ukur 10 mL, ditambahkan 2,5 mL buffer posfat dan 2,5 mL  $K_3Fe(CN)_6$ , kemudian diinkubasi pada suhu  $50^\circ C$  selama 20 menit. Ditambahkan asam trikloroasetat 2,5 mL, kemudian disentrifugasi pada 3000 rpm selama 10 menit. Lapisan atas diambil 2,5 mL, ditambahkan 2,5 mL akuades dan 0,5 mL  $FeCl_3$  0,1% kemudian diukur serapannya pada panjang gelombang 650–720 nm.

#### ***Pengujian Antioksidan Dengan Metode FRAP***

Kapasitas antioksidan dinyatakan bobot vitamin C tiap gram serbuk simplisia. Perhitungan total antioksidan dilakukan dengan persamaan regresi linear:  $y = b x + a$ .





Keterangan:

y = Absorbansi sampel

x = kadar antioksidan sampel (mg AAE/L)

b = Slope dari kurva standar

a = intersep dari kurva standar

$$\text{Kapasitas antioksidan} = \frac{C \times V \times Fp \times 10^{-3}}{g}$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Ekstrak Kering Kopi Robusta

Metode ekstraksi yang digunakan pada penelitian adalah metode maserasi. Hasil rendemen ekstrak paling besar (11,31%) diperoleh pada ekstrak biji kopi robusta Kuningan. Perbedaan nilai hasil rendemen dikarenakan perbedaan ketinggian tempat tumbuh sehingga menghasilkan kandungan senyawa metabolit sekunder yang berbeda pula. Hasil pengujian rendemen dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Rendemen Ekstrak

Tempat	Rendemen (%)
Bogor	9,99
Kuningan	11,31
Sumedang	10,41

### Hasil Penetapan Kadar Air

Penetapan kadar air bertujuan untuk mencegah timbulnya bakteri dan jamur pada tahap penyimpanan sehingga penghilangan kadar air pada jumlah tertentu berguna untuk memperpanjang daya tahan simplisia selama proses penyimpanan [6]. Hasil pengujian kadar air (Tabel 2) menunjukkan bahwa kadar air dari ketiga ekstrak memenuhi syarat tidak lebih dari 10% [6].

**Tabel 2.** Hasil Penetapan Kadar Air

Tempat	Bentuk	Kadar Air (%)
Bogor	Simplisia	3,50%
Kuningan	Simplisia	1,64%
Sumedang	Simplisia	3,16%
Bogor	Ekstrak	6,96%
Kuningan	Ekstrak	8,25%
Sumedang	Ekstrak	4,09%



### Hasil Penetapan Kadar Abu

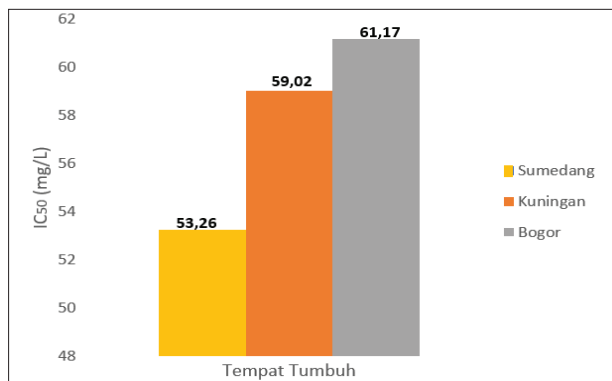
Penetapan kadar abu bertujuan untuk mengetahui kandungan anorganik, seperti kandungan mineral dan logam. Prinsipnya adalah bahan dipanaskan pada temperatur tinggi di mana senyawa organik dan turunannya terdestruksi, kemudian menguap sehingga tinggal unsur mineral dan anorganik [6]. Hasil pengujian (Tabel 3) menunjukkan bahwa kadar air dari ketiga ekstrak memenuhi syarat tidak lebih dari 10% [6].

**Tabel 3.** Hasil Penetapan Kadar Abu

Tempat	Bentuk	Kadar Abu (%)
Bogor	Simplisia	6,35% ± 0,1800
Kuningan	Simplisia	5,67% ± 0,2900
Sumedang	Simplisia	7,63% ± 0,1279
Bogor	Ekstrak	8,11% ± 0,6192
Kuningan	Ekstrak	6,81% ± 3,0950
Sumedang	Ekstrak	5,93% ± 0,5962

### Hasil Uji Aktivitas Antioksidan Metode DPPH

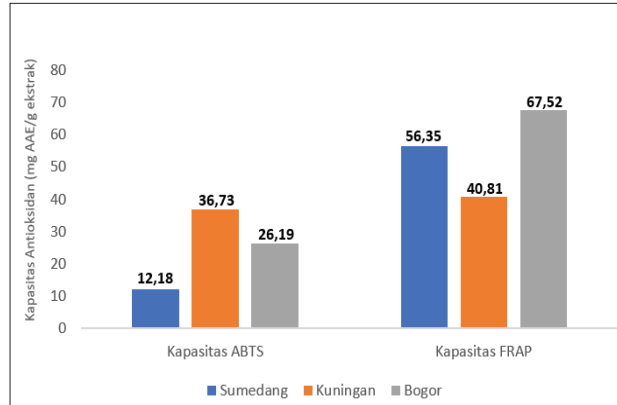
Hasil uji aktivitas antioksidan ekstrak biji kopi robusta Sumedang memiliki nilai aktivitas antioksidan yang paling aktif ( $IC_{50} = 53,26$  mg/L) daripada Kuningan dan Bogor. Hasil analisis uji data statistik menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan dengan metode DPPH biji kopi robusta Bogor, Kuningan, dan Sumedang berpengaruh nyata dengan nilai *P-value*  $0,00 \leq 0,05$ . Hasil uji lanjut Duncan aktivitas antioksidan metode DPPH disimpulkan bahwa biji kopi robusta Sumedang memiliki aktivitas antioksidan lebih baik dibandingkan ekstrak biji kopi robusta Kuningan dan Bogor. Hal ini dikarenakan biji kopi robusta Sumedang memiliki ketinggian tempat tumbuh yang lebih tinggi (900 mdpl) dan kandungan senyawa metabolit sekunder yang lebih tinggi dibandingkan biji kopi robusta Bogor dan Kuningan. Perbedaan ketiga daerah disebabkan oleh ketinggian tempat, budi daya, pascapanen, dan mutu kopi yang dihasilkan [12]. Hasil aktivitas antioksidan jika diurutkan dari yang tertinggi sampai terendah, yaitu Sumedang, Kuningan, dan Bogor (Gambar 1).



**Gambar 1.** Nilai IC<sub>50</sub> Biji Kopi Robusta dengan Metode DPPH

### Hasil Uji Kapasitas Antioksidan Metode ABTS dan FRAP

Hasil pengujian kapasitas antioksidan pada ekstrak biji kopi robusta asal daerah Sumedang memperoleh hasil kapasitas antioksidan yang lebih rendah daripada Kuningan dan Bogor, yaitu sebesar 12,18 mg AAE/g ekstrak. Hasil analisis uji data statistik menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan dengan metode ABTS biji kopi robusta Bogor, Kuningan, dan Sumedang berpengaruh nyata dengan nilai  $P\text{-value}$   $0,00 \leq 0,05$ . Hasil uji lanjut Duncan kapasitas antioksidan metode ABTS dan FRAP bahwa Kota Sumedang, Kuningan, dan Bogor berbeda nyata. Hal ini terjadi karena biji kopi robusta Sumedang memiliki ketinggian tempat tumbuh yang lebih tinggi (900 mdpl) dan kandungan senyawa metabolit sekunder yang lebih tinggi dibandingkan dengan biji kopi robusta Kuningan dan Bogor dengan ketinggian tempat tumbuh yang lebih rendah. Perbedaan dari ketiga daerah disebabkan oleh ketinggian tempat, budi daya, pascapanen, dan mutu kopi yang dihasilkan [12]. Hasil kapasitas antioksidan jika diurutkan dari yang tertinggi sampai terendah, yaitu Kuningan, Bogor, dan Sumedang. Hasil penelitian dihitung setara dengan vitamin C sebagai kontrol positif. Hasil uji kapasitas antioksidan dengan metode ABTS dan FRAP dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Kapasitas Antioksidan Biji Kopi Robusta dengan Metode ABTS dan FRAP

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Aktivitas antioksidan biji kopi robusta diukur dengan metode DPPH. Nilai antioksidan paling aktif berasal dari daerah Sumedang dengan nilai  $IC_{50}$  sebesar 53,26 mg/L, nilai  $IC_{50}$  Kuningan sebesar 59,02 mg/L, dan nilai  $IC_{50}$  Bogor sebesar 61,17 mg/L.
2. Kapasitas antioksidan diukur dengan metode ABTS memiliki nilai antioksidan yang lebih rendah dari metode FRAP. Berdasarkan metoda FRAP, kapasitas antioksidan kopi robusta daerah Sumedang sebesar 56,35 mg AAE/g ekstrak, Bogor sebesar 67,52 mg AAE/g ekstrak, dan Kuningan sebesar 40,81 mg AAE/g ekstrak.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Laboratorium Farmasi, FMIPA Universitas Pakuan yang sudah memfasilitasi penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Rdanriani, D. Dani, dan E. Wardiana, "Atribut mutu empat kultivar kopi arabika pada ketinggian tempat tumbuh dan metode pengolahan yang berbeda," *Journal of Industrial dan Beverage Crops*, vol. 5, no. 1, pp. 21–30, Mar. 2018, doi: 10.21082/jtidp.v5n1.2018.p21-30.
- [2] B.T. Edvan, R. Edison, dan M. Same, "Pengaruh jenis dan lama penyangraian pada mutu kopi robusta (*Coffea robusta*)," *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, vol. 4, no. 1, pp. 31–40, Mei 2016, doi: 10.25181/aip.v4i1.34.



- [3] H. Haryoto dan A. Frista, “Aktivitas antioksidan ekstrak etanol fraksi polar, semi polar dan non polar dari daun mangrove kacang (*Rhizophora apiculata*) dengan metode DPPH dan FRAP,” *Jurnal Sains dan Kesehatan*, vol. 2, no. 2, pp. 131–138, Des. 2019.
- [4] F. Barlas Simsek dan M. N. Cagatay, “Geochronology of lake sediments using  $^{210}\text{Pb}$  with double energetic window method by LSC: An application to Lake Van,” *Appl. Radiat. Isot.*, vol. 93, pp. 126–133, no. 1, pp. 31–40, Mei 2016, doi: 10.25181/aip.v4i1.34.
- [5] E. Nurnasari dan Djumali, “Pengaruh kondisi ketinggian tempat terhadap produksi dan mutu tembakau Temanggung,” *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, vol. 2, no. 2, pp. 45–59, Okt. 2010, doi: 10.21082/bultas.v2n2.2010.45–59.
- [6] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, *Farmakope Herbal Indonesia Edisi II*, Jakarta: Kemenkes RI, 2017.
- [7] I. W. Wigati, dkk., “Uji karakteristik fitokimia dan aktivitas antioksidan biji kopi robusta (*Coffea canephora* Pierre) dari Bogor, Bandung dan Garut dengan metode DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl),” *Fitofarmaka Jurnal Ilmiah Farmasi*, vol. 8, no. 1, pp. 53–59, Mei 2019, doi: 10.33751/jf.v8i1.1172.
- [8] M. K. Ja’far, S. Jamil, dan N. Basar, “Antioxidant activity of leaf extracts of *Globimetula braunii* (Engler) van Tiegh parasitizing on *Piliostigma Thonningii* dan *Parkia biglobosa*,” *Journal Sciences & Engineering*, vol. 79, no. 5, pp 43–47, Juni 2017, doi: 10.11113/jt.v79.10574.
- [9] S. A. Prayitno, K. Joni, dan S. M. Eni, “Antioxidant activity of Red Betel Leaves extract (*Piper crocatum* Ruiz & Pav.) by Difference Concentration of Solvents,” *Research Journal of Pharmaceutical, Biological, dan Chemical Science*, vol. 7, no. 5, pp. 1836–1843, Okt. 2016.
- [10] Departemen Kesehatan Republik Indonesia, Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia 661/MENKES/SK/VII/1994 tentang Persyaratan Obat Tradisional, Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia, 1994.
- [11] Departemen Kesehatan Republik Indonesia, Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia 261/MENKES/SK/IV/2009 tentang Farmakope Herbal Indonesia 2009. Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia, 2009.
- [12] A. Rejo, S. Rahayu, dan T. Panggabean, “Karakteristik mutu biji kopi pada proses dekafeinasi,” Skripsi, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya, Indralaya, 2011.



PN-002

## SELEKSI RHIZOBIUM ASAL TANAH DESA AKAR-AKAR LOMBOK UTARA PADA TANAMAN KEDELAI VARIETAS MUTIARA BATAN

### *SELECTION OF RHIZOBIUM FROM THE SOIL OF DESA AKAR-AKAR NORT LOMBOK ON SOYBEANS OF THE VARIETY OF MUTIARA*

Nur Robifahmi<sup>1\*</sup>, Muftia Hanani<sup>1</sup>, A. Citraresmini<sup>1</sup>, Sudono Slamet<sup>1</sup>, Taufiq Bachtiar<sup>1</sup>, Anggi Nico Flatian<sup>1</sup>, dan Dinda Ikhwanti<sup>2</sup>

#### ABSTRAK

Rhizobium merupakan jenis bakteri yang mampu mengikat nitrogen bebas yang berada di udara menjadi ammonia ( $\text{NH}_3$ ) yang akan diubah menjadi asam amino yang selanjutnya menjadi senyawa nitrogen yang diperlukan tanaman untuk tumbuh dan berkembang. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan isolat rhizobium dari tanah Lombok yang efektif untuk meningkatkan produksi tanaman kedelai. Penelitian dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi, ORTN, BRIN (sebelumnya Laboratorium Pertanian Ilmu Tanah Badan Tenaga Nuklir Nasional). Sampel diambil dari tanah asal Lombok. Pertumbuhan bakteri tertinggi pada isolat Rhizobium MTL 3,3 dengan nilai OD 1,905. Semua isolat rhizobium dapat tumbuh pada pH 4,5–7, sedangkan pada pH 3,5; 2,5; dan 2, jenis isolat yang masih hidup adalah isolat MTL 3.1, MTL 3.2, MTL 3.4, MTL 3.5. Hasil tertinggi bobot kering biji, yaitu pada perlakuan MTL 3.5. Jenis isolat rhizobium yang dapat digunakan untuk diaplikasikan ke tanaman kedelai adalah isolat MTL 3.1, MTL 3.5.

**Kata kunci:** Kedelai; Rhizobium; Bintil Akar; Varietas Mutiara.

#### ABSTRACT

*Rhizobium is a type of bacteria that is able to bind free nitrogen in the air into ammonia ( $\text{NH}_3$ ) which will be converted into amino acids which then become nitrogen compounds that plants need to grow and develop. The purpose of this study was to obtain an effective isolate of rhizobium from Lombok soil to increase soybean production. The study was conducted at the Agricultural Laboratory of Soil Sciences, National Nuclear Energy Agency. Samples were taken from the land of origin of Lombok. Optimal bacterial growth in Rhizobium isolates MTL 3.3 with OD values of 1.905. All rhizobium isolates were able to grow at pH 4.5–7, while at pH 3.5, 2.5 and 2, the surviving isolates*

N. Robifahmi, M. Hanani, A. Citraresmini, S. Slamet, T. Bachtiar, A. N. Flatian, & D. Ikhwanti

\*Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi BRIN, dan Universitas Islam Negri Syarif Hidayatullah, e-mail: nurrobifahmi@gmail.com

@ 2023 Penerbit BRIN

N. Robifahmi, M. Hanani, A. Citraresmini, S. Slamet, T. Bachtiar, A. N. Flatian, dan D. Ikhwanti, "Seleksi rhizobium asal tanah Desa Akar-Akar Lombok Utara pada tanaman kedelai varietas mutiara BATAN," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing*, T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 2, pp. 15–26, DOI: 10.55981/brin.690.c643, E-ISBN: 978-623-8372-02-7



were MTL 3.1, MTL 3.2, MTL 3.4, MTL 3.5. The highest yield of dry weight of seeds, in the MTL 3.5 treatment. The types of rhizobium isolates that can be used to be applied to soybean plants are isolates MTL 3.1, MTL 3.5.

**Keywords:** *Glycine max*; *Rhizobium*; *Root Nodules*; *Variety of Mutiara*.

## PENDAHULUAN

Kedelai adalah tanaman pangan yang menurut BPS 2018, produksinya di Indonesia pada tahun 2015 sebesar 15,68 kg/ha, dengan pertumbuhan hanya 1,09%. Tentu saja peningkatan tersebut masih belum cukup untuk memenuhi kebutuhan masyarakat setiap tahunnya. Konsumsi kedelai pada tahun 2018 adalah 3.054.602 ton. Impor kedelai ke Indonesia pada tahun 2018 sebesar 3.074.290 ton. Konsumsi kedelai pada tahun 2020 diperkirakan mencapai 3.130.749 ton dan impor kedelai mencapai 3.398.008 ton pada tahun 2020 [1].

Namun, saat ini petani lebih memilih pupuk kimia (anorganik) untuk nutrisi tanaman guna meningkatkan hasil kedelai untuk hasil yang optimal. Lahan pertanian makin terdegradasi oleh penggunaan pupuk anorganik secara terus-menerus tanpa diimbangi dengan pupuk organik. Akibat negatif dari pemupukan pupuk kimia secara terus-menerus, yaitu tanah menjadi keras [2] dan tanah menjadi terdegradasi sehingga mengurangi hasil panen [3].

Teknik aplikasi pupuk telah dikembangkan untuk meminimalkan kehilangan nitrogen, namun efisiensi penggunaan pupuk N belum optimal. Ketersediaan N di Indonesia masih relatif rendah. Dengan demikian, perlu adanya teknologi fiksasi nitrogen biologis dengan metode inokulasi rhizobium agar pemupukan nitrogen pada kedelai lebih efektif.

Salah satu alternatif untuk mengatasi masalah ini adalah dengan kembali menggunakan pupuk ramah lingkungan, yaitu pupuk organik dan hayati, untuk meningkatkan hasil dengan tetap menjaga kesuburan tanah. Penggunaan pupuk hayati merupakan upaya untuk memenuhi kebutuhan hara alami tanaman dengan menggunakan mikroorganisme hidup di dalam tanah sebagai inokulum untuk mencerahkan atau memberikan nutrisi tertentu bagi tanaman. Salah satu pupuk hayati yang digunakan untuk meningkatkan produksi kedelai adalah rhizobium.

Nutrisi penting untuk kedelai adalah nitrogen. Kandungan nitrogen ( $N_2$ ) di atmosfer sekitar 78%. Namun, nitrogen tersebut tidak dapat digunakan langsung pada tanaman, dan ketersediaannya sering menjadi faktor pembatas pertumbuhan tanaman [4]. Unsur nitrogen (N) merupakan unsur hara penting yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman [5],[6],[7]. Nitrogen hadir dalam jaringan tanaman dan relatif kaya akan nutrisi mineral penting, termasuk 1% hingga 5% dari bahan tanaman kering. Tumbuhan menggunakan N untuk membentuk asam amino, yang diintegrasikan ke dalam protein dan asam nukleat (DNA dan RNA) [8],[9].



Unsur nitrogen dapat merangsang pertumbuhan tanaman selama fase vegetatif [10], pembentukan klorofil yang berperan dalam fotosintesis [11] sumber pertumbuhan mikroba [12],[13]. Nitrogen diambil dan dimanfaatkan oleh akar tanaman dalam bentuk amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) [14],[15],[16]. Kebutuhan nitrogen dari kedelai dapat dipenuhi dengan cara fiksasi nitrogen yang melibatkan bakteri rhizobium. Bakteri rhizobium bersimbiosis dengan akar legum dengan menggunakan nitrogen di udara membentuk bintil pada tanaman inangnya [17].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan isolat rhizobium yang sesuai untuk tanaman kedelai di lahan kering.

## METODE PERCOBAAN

Penelitian ini dilaksanakan pada Januari–Februari 2019. Sampel tanah dikoleksi dari Desa Akar-akar Lombok Utara, Nusa Tenggara Barat dengan titik koordinat S 08°13.682' E 116°21. 365'. Pengujian kualitatif dan kuantitatif dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi, ORTN, BRIN.

### Bahan dan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain LAF (*Laminar Air Flow*) Telstar AV-100, Vortex, Shaker Edmund Buhler 7400, Spektrofotometer, mikropipet, dan pH meter. Bahan utama yang digunakan, yaitu sampel tanah yang berasal di sekitar perakaran tanaman kedelai varietas Mitani dan Mutiara 3, air, alkohol 95%, hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 3%,  $\text{dH}_2\text{O}$  steril,  $\text{dH}_2\text{O}$ , agar, D-mannitol, Magnesium sulfate-Heptahydrate ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), kalium Hydrogen Phosphate ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ), Natrium chloride ( $\text{NaCl}$ ), Yeast Extract, Congo red, HCl 0,1 N, dan NaCl fisiologis.

### Tata Kerja

#### *Rancangan Penelitian*

Rancangan penelitian yang digunakan berupa pengujian kualitatif dan kuantitatif. Teknik pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah observasi. Observasi merupakan suatu teknik cara mengumpulkan data dengan jalan mengadakan pengamatan terhadap proses yang sedang berlangsung. Observasi dilakukan dengan dua cara, yaitu mengamati dan melakukan pencatatan hasil secara teliti dari gejala yang ada.

#### *Rancangan Percobaan*

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang tersusun dari 6 perlakuan dan masing-masing perlakuan diulang 3 kali sehingga jumlah satuan percobaannya adalah 18 satuan percobaan. Perlakuan yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.



**Tabel 1.** Perlakuan seleksi rhizobium

No.	Perlakuan
1.	Kontrol varietas (tanaman tanpa nodul)
2.	Rhizobium MTL 3.1
3.	Rhizobium MTL 3.2
4.	Rhizobium MTL 3.3
5.	Rhizobium MTL 3.4
6.	Rhizobium MTL 3.5

### ***Koleksi Bintil Akar***

Nodul dikumpulkan dengan menarik akar tanaman secara perlahan. Tanaman serta akarnya kemudian dicabut secara perlahan. Selanjutnya, akar dibersihkan dari tanah dengan tangan. Kemudian, bintil akar dipindahkan ke dalam plastik menggunakan pinset dan disimpan di dalam lemari es sebelum diisolasi. Kemudian, gunakan pinset untuk memindahkan bintil ke plastik, dinginkan, lalu pisahkan. Di laboratorium, nodul diayak dan dicuci dengan air mengalir.

Tunas akar segar dapat disimpan semalaman di lemari es. Untuk penyimpanan jangka panjang, sebaiknya simpan dalam tabung kaca. Bintil akar yang aktif mengikat  $N_2$  mengandung protein berwarna merah terang atau coklat yang disebut leghemoglobin. Bintil akar yang tidak efektif berarti kekurangan leghemoglobin dan berwarna putih [19].

### ***Isolasi Rhizobium***

Bintil akar diisolasi, diambil 10 bintil akar, dimasukkan ke dalam erlenmeyer 125 ml, permukaan bintil dicuci dengan etanol 95% selama 1 menit, kemudian dipindahkan ke cawan petri steril dan disterilkan dengan hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) 3%, serta dikocok selama  $\pm 1$  menit, lalu dibilas lima kali dengan  $dH_2O$  steril. Nodul akar yang sudah kering dipindahkan ke dalam cawan petri steril dan ditiriskan dengan  $dH_2O$  steril, kemudian digerus dengan batang kaca. Selanjutnya, diambil suspensi bintil akar menggunakan ose dengan digoreskan ke medium seleksi Yeast Mannitol Agar (YMA), kemudian diinkubasi pada suhu  $28^\circ C$  selama 2–3 hari.

### ***Karakterisasi Bakteri***

Menurut metode [19] ciri morfologi koloni rhizobium pada media YMA yang diamati berupa bentuk, warna, elevasi, tepian, serta jenis pertumbuhan bakteri.

### ***Pertumbuhan Rhizobium pada media selektif***

Identifikasi Rhizobium dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu menggunakan media YMA+ congo red, di mana Rhizobium tidak dapat mengabsorpsi congo red selama masa inkubasi tanpa cahaya sehingga koloni yang terbentuk akan berwarna putih [20]. Berdasarkan penelitian [21] menyatakan bahwa salah satu ciri khas bakteri Rhizobium tidak menyerap warna merah pada media yang mengandung Congo Red.



### ***Mengukur Kurva Pertumbuhan Bakteri***

Isolat  $\pm 1$  ose diinokulasikan ke dalam medium YMB  $\pm 20$  ml. Selanjutnya, sampel dikocok dengan kecepatan 100 rpm sampai keruh selama  $\pm 3$  jam. Tujuannya adalah untuk mendapatkan jumlah sel yang seragam. Hasil isolat yang dikocok adalah  $\pm 1$  ml dan ditempatkan dalam labu erlenmeyer yang berisi  $\pm 50$  ml media YMB segar. Selanjutnya, diambil 5 ml YMB baru dan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer 660 nm pada waktu  $T_0$ . Ulangi proses 2 untuk pengukuran  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ , dan seterusnya. Kurva pertumbuhan dicatat sampai bakteri berada pada fase eksponensial. Tujuannya untuk mengetahui jumlah populasi sel mikroba yang sama sebelum aplikasi ke tanaman.

### ***Uji Ketahanan Terhadap pH***

Isolat bakteri diinokulasi ke media YMA dengan perlakuan pH 4,5; 5,5; dan 7, selanjutnya dimasukkan masing-masing di dalam erlenmeyer, kemudian dikocok dengan kecepatan 100 rpm selama  $\pm 1$  hari. Masing-masing isolat di dalam erlenmeyer dengan perlakuan pH tersebut diamati dan dibandingkan kontrol tanpa inokulasi isolat bakteri. Pertumbuhan bakteri ditandai dengan keruhnya media YMB, kemudian diukur absorbansinya dengan spektrofotometer.

### ***Persiapan Tanah***

Tanah yang digunakan pada percobaan adalah jenis Latosol Pasar Jumat, Lebak Bulus, Jakarta Selatan. Tanah tersebut diambil dari lapisan olah, yaitu pada kedalaman 0–20 cm. Tanah Latosol Pasar Jumat dimasukkan ke dalam pot sebanyak 5 kg berat kering mutlak (BKM) per pot. Sampel tanah untuk analisis sifat kimia tanah awal diambil secara komposit sebelum tanah digunakan dalam percobaan.

### ***Penanaman***

Sebanyak 5 benih kedelai ditanam langsung pada masing-masing pot percobaan. Benih dimasukkan ke dalam lubang tanam, kira-kira 5 cm dari permukaan tanah. Setelah muncul kecambah, yaitu pada 5 hari setelah tanam (HST), dilakukan penjarangan tanaman dan dipilih 2 kecambah yang seragam pada masing-masing pot.

### ***Inokulasi Rhizobium***

Pemberian rhizobium dengan cara benih dibasahi secukupnya, lalu inokulum rhizobium ditaburkan ke benih. Setelah itu, benih dimasukkan ke dalam lubang tanam. Sebanyak 30 ml/pot suspensi inokulum rhizobium dengan kerapatan yang sama,  $10^9$  CFU/ml diinokulasikan secara merata pada sekitar lubang tanam.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Koleksi Bintil Akar**

Rhizobium diisolasi dari kedelai varietas Mitani dan Mutiara 3, dan masing-masing menghasilkan 5 isolat. Kedelai merupakan tanaman legum yang mempunyai



bintil akar. Rhizobium hidup di bintil akar tanaman legum. Pada irisan melintang, bintil akar dari kedua jenis legum tersebut terlihat berwarna merah muda. Hal ini menunjukkan bahwa nodul dalam kondisi efektif. Menurut Maharani [22], nodul yang efektif umumnya besar, terletak di bagian atas atau bergerombol di sekitar bulu akar, dan ketika dibelah, tampak merah disebabkan oleh adanya leghemoglobin. Selain leghemoglobin, bakteri rhizobium juga mengandung enzim nitrogenase.

Menurut Handaryanto [23] keberadaan leghemoglobin dan enzim nitrogenase adalah dua komponen yang berperan dalam fiksasi nitrogen. Di sisi lain, bintil akar yang tidak efektif, tersebar, dan berukuran kecil di akar tanaman. Jika ditemukan bintil akar yang kurang efisien pada akar maka tidak akan terjadi fiksasi nitrogen ( $N_2$ ) pada rhizobium [22]. Selanjutnya untuk proses sterilisasi dan isolasi, bintil akar kedua tanaman disterilkan dengan  $H_2O_2$  3%, alkohol, dan akuades, untuk membunuh mikroorganisme yang menempel pada bintil.



Gambar 1. Bintil Akar

### Karakterisasi Bakteri

Berdasarkan data pada Tabel 1, pengamatan morfologi koloni yang diperoleh dari isolat rhizobium dari kedua tanaman pada permukaan media cawan, yaitu bakteri berbentuk ukuran moderat, berwarna putih susu, *opaque* (tidak bisa ditembus cahaya), bentuknya sirkular, elevasinya *flat* (rata), permukaannya halus mengkilap, dan marginnya *entire*. Hal ini didukung oleh pernyataan Surtiningsih dan Nurhariyati [24] yang menggambarkan sifat makroskopik rhizobium, yaitu warna koloni putih susu, tidak transparan, bentuk koloni sirkuler, konveks, dan semitransluse.

**Tabel 2.** Uji fisiologis bakteri

Isolat Bakteri	Karakteristik						
	Ukuran	Pigmentasi	Karakteristik Optik	Bentuk	Elevasi	Permukaan	Margin
MTL 3.1	Moderate	Kuning	Opaque	Circular	Flat	Mengkilap	Entire Lobate
MTL 3.2	Moderate	Putih Susu	Opaque	Circular	Flat	Mengkilap	Entire Lobate
MTL 3.3	Moderate	Putih Susu	Opaque	Circular	Flat	Mengkilap	Entire Lobate
MTL 3.4	Moderate	Putih Susu	Opaque	Circular	Flat	Mengkilap	Entire Lobate
MTL 3.5	Moderate	Merah Muda	Opaque	Circular	Flat	Mengkilap	Entire Lobate

### Uji Bakteri Rhizobium pada Media Selektif

Berdasarkan data pada Gambar 2 dan Tabel 2, bahwa pertumbuhan rhizobium pada media selektif YMA + congo red menghasilkan warna pink dan merah. Hal ini sesuai dengan sifat rhizobium yang tidak dapat menyerap congo red selama inkubasi tanpa cahaya [25]. Oleh karena itu, koloni rhizobium berwarna putih dan ketika terkontaminasi, koloni menjadi merah di congo red. Rhizobium tumbuh setelah dikultur dalam media YMA + congo red selama 3 hari. Hal ini menunjukkan bahwa rhizobium yang diproduksi secara alami, termasuk ke dalam kelompok pertumbuhan cepat.

**Tabel 3.** Uji bakteri rhizobium pada media selektif

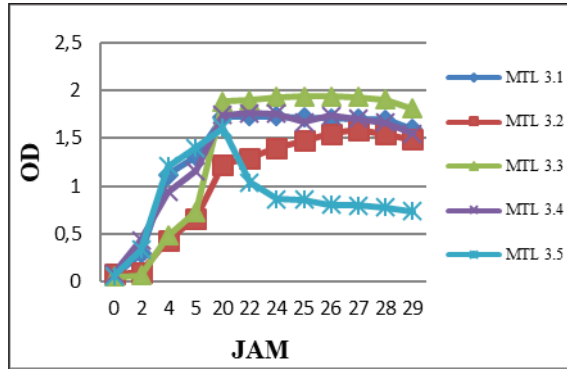
Jenis Isolat	Keterangan
MTL 3.1	+
MTL 3.2	+
MTL 3.3	+
MTL 3.4	+
MTL 3.5	++

Keterangan: MTL: Mutiara Lombok, +: koloni merah; ++: koloni merah muda; +++: koloni putih.

### Kurva Pertumbuhan Rhizobium

Gambar 2 memperlihatkan pola pertumbuhan mikroba. Pertumbuhan mikroorganisme dibagi menjadi empat tahap, yaitu fase adaptasi, fase eksponensial, fase stasioner, dan fase kematian [26],[27]. Kurva pertumbuhan [28] menunjukkan bahwa kurva pertumbuhan yang diawali dengan fase lag.

Pada tahap ini, bakteri beradaptasi dengan lingkungan. Peningkatan metabolisme seluler menyebabkan biosintesis makromolekul, enzim primer dan persiapan untuk langkah berikutnya. Meskipun dijumpai perbesaran sel, namun pembelahan sel belum terjadi. Dengan demikian, jumlah sel belum meningkat secara signifikan. Pada fase log, menunjukkan bahwa kurva pertumbuhan rhizobium tanaman kedelai varietas Mutiara 3, yaitu dari 0–2 jam.

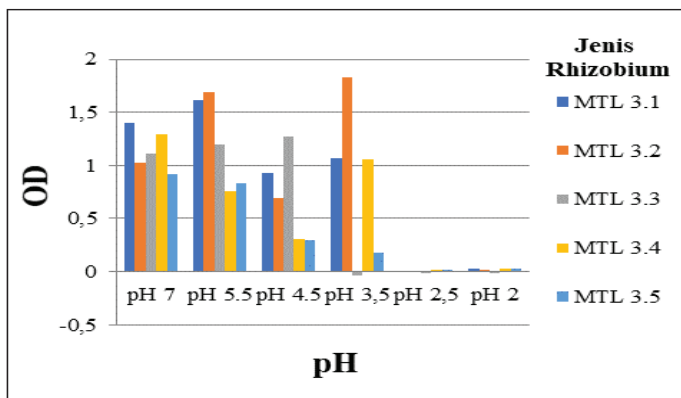


Gambar 2. Kurva pertumbuhan isolat bakteri dari tanaman kedelai varietas Mutiara selama 0–29 jam.

### Uji Ketahanan Terhadap pH (2, 2,5, 3,5, 4,5, 5,5, dan 7)

Gambar 3 menunjukkan data pengamatan uji ketahanan terhadap pH. Data menunjukkan bahwa semua isolat rhizobium tumbuh baik pada pH 4,5–7, sedangkan nilai terendah adalah isolat MTL 3,4 dan 3,5. Pada pH 5,5 isolat MTL 3,2; 3,1 menunjukkan pertumbuhan tertinggi dan isolat MTL 3,4 dan 3,5 menunjukkan pertumbuhan terendah.

Fase selanjutnya adalah fase log/eksponensial. Pertambahan jumlah terjadi secara eksponensial, yang berarti penggandaan jumlah mencapai maksimum untuk selang waktu tertentu. Durasi fase logaritmik tergantung pada jenis bakteri dan komposisi medium. Biasanya dapat dicapai dalam waktu sekitar 6–12 jam [29]. Hasil pengamatan kurva pertumbuhan rhizobium menunjukkan bahwa fase eksponensial semua isolat terjadi pada 4–20 jam.



Gambar 3. Hasil *optical density* isolate bakteri rhizobium terhadap ketahanan pH rhizobium.

Fase stationer menunjukkan peningkatan jumlah sel sesuai dengan penurunan jumlah sel, atau sel sudah mulai mati. Tidak ada peningkatan jumlah sel, bahkan



jumlah sel mencapai maksimum untuk jangka waktu tertentu. Faktor penyebabnya adalah kurangnya nutrisi untuk melakukan metabolisme esensial, akumulasi metabolit yang dapat bersifat asam atau basa beracun [28],[29].

Hasil penelitian menunjukkan bahwa fase stasioner bakteri rhizobium terjadi pada 20–26 jam. Menurut Purwoko [28], fase selanjutnya adalah fase kematian atau penurunan. Selama tahap ini, sel bakteri yang resisten terhadap lingkungan dapat ditemukan dalam jumlah kecil. Hasil pengamatan kurva pertumbuhan bakteri rhizobium menunjukkan bahwa stadium kematian terjadi pada jam ke-29 pada semua isolat MTL 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5.

Isolat yang tumbuh baik pada pH 7 adalah MTL 3,1 dan pertumbuhan terendah adalah isolat MTL 3,4 dan 3,5. Pada pH 3,5; 2,5; dan 2 jenis isolat yang masih hidup adalah isolat MTL 3.1, MTL 3.2, MTL 3.4, dan MTL 3.5. Menurut Novriani [30], pada tanah asam proses nodulasi tanaman legum terhambat. Hal ini sesuai dengan gambar 4, bahwa pH 4,5 lebih rendah dari pH lainnya (5,5 dan 7). pH tanah sangat memengaruhi pertumbuhan tanaman dan fiksasi N<sub>2</sub>. Sedangkan pH tanah yang baik adalah antara 6 dan 7. Menurut Sunatmo [29] juga menunjukkan bahwa pH netral (pH 7) lebih baik untuk pertumbuhan bakteri.

Semua organisme memiliki kemampuan untuk tumbuh dalam kisaran pH tertentu, dan persyaratan pH spesifik ini mencerminkan kemampuan organisme untuk beradaptasi dengan lingkungannya.

### Bobot Kering Kedelai

Berdasarkan data Tabel 3, bobot kering biji dan stover menunjukkan hasil tertinggi pada perlakuan pada biji kedelai, yaitu perlakuan MTL 3.5. Hal ini mungkin disebabkan bintil isolat MTL 3.5 lebih efektif dalam mengikat N dan berkontribusi terhadap pertumbuhan tanaman dibandingkan isolat lainnya. Menurut Rao [31], bahwa bintil akar dapat secara efisien mengikat N dari udara dan mengubah N menjadi asam amino untuk disumbangkan ke tanaman kedelai.

**Tabel 3.** Bobot kering biji dan stover kedelai

Perlakuan	Biji	Stover	Akar	Serapan N Biji	Serapan N Stover
Kontrol mutiara	3.864 a	20.700 a	20.033 a	0.261 a	0.457 a
MTL 3,1	3.277 a	27.700 a	59.700 a	0.270 a	0.631 a
MTL 3,2	2.980 a	19.867 a	28.233 a	0.189 a	0.473 a
MTL 3,3	3.296 a	25.167 a	28.900 a	0.263 a	0.538 a
MTL 3,4	2.258 a	20.000 a	25.400 a	0.161 a	0.360 a
MTL 3,5	5.704 a	26.000 a	28.700 a	0.504 b	0.590 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT 5%.



## KESIMPULAN

Isolat yang berpotensi untuk digunakan tanaman kedelai di lahan kering, yaitu isolat rhizobium MTL 3.5 yang ditunjukkan dengan nilai pertumbuhan tanaman tertinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Aimon dan A. Satrianto, "Prospek konsumsi dan impor kedelai di Indonesia tahun 2015–2020," *J. Kaji. Ekon.*, vol. 3, no. 5, Jul. 2014.
- [2] S. R. Priambodo, K. D. Susila, dan N. N. Soniari, "Pengaruh pupuk hayati dan pupuk anorganik terhadap beberapa sifat kimia tanah serta hasil tanaman bayam cabut (*Amaranthus Tricolor*) di tanah inceptisol Desa Pedungan," *J. Agroekoteknologi Trop.*, vol. 8, no. 1, pp. 149–160, Jan. 2019.
- [3] A. Simanjuntak, R.R. Lahay, dan E. Purba, "Respon pertumbuhan dan produksi bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) terhadap pemberian pupuk NPK dan kompos kulit buah kopi," *J. Online Agroekoteknologi*, vol. 1, no. 3, pp. 362–373, Jun. 2013, doi: 10.32734/jaet.v1i3.2273.
- [4] T. Ohyama, "Nitrogen as a major essential element of plants," dalam *Nitrogen Assimilations in Plants*, T. Ohyama, K. Sueyoshi, Eds., Kerala, India: Research Signpost, 2010, ch. 1, pp. 1–18.
- [5] C. W. Liu, dkk., "Effects of nitrogen fertilizers on the growth dan nitrate content of lettuce (*Lactuca sativa* L.)," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 11, no. 4, pp. 4427–4440, April. 2014, doi: 10.3390/ijerph110404427.
- [6] P. S. Patti, E. Kaya, dan C. Silahooy, "Analisis status nitrogen tanah dalam kaitannya dengan serapan N oleh tanaman padi sawah di Desa Waimital, Kecamatan Kairatu, Kabupaten Seram Bagian Barat," *Agrologia*, vol. 2, no. 1, pp. 51–58, 2013, doi: 10.30598/a.v2i1.278.
- [7] J. Gu, dkk., "Roles of nitrogen dan cytokinin signals in root dan shoot communications in maximizing of plant productivity dan their agronomic applications," *Plant Sci.*, vol. 274, pp. 320–331, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.plantsci.2018.06.010.
- [8] R. Prayudyaningsih dan R. Sari, "Rhizobium: pemanfaatannya sebagai bakteri penambat nitrogen," *Info Tek. EBONI*, vol. 12, no. 1, pp. 51–64, 2015.
- [9] J. M. McGrath, J. Spargo, dan C. J. Penn, "Soil fertility dan plant nutrition", dalam *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, N.K.V. Alfen, Ed., Amsterdam: Elsevier, 2014, pp. 166–184.
- [10] W.S. Nugroho, "Penetapan standar warna daun sebagai upaya identifikasi status hara (N) tanaman jagung (*Zea mays* L.) pada tanah regosol," *Planta Trop. J. Agro Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 8–15, 2015, doi: 10.18196/pt.2015.034.8-15.
- [11] H. P. Eki, T. Wardiyanti, dan M. Nawawi, "Pengaruh dosis pupuk nitrogen dan tingkat kepadatan tanaman terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kailan (*Brassica oleraceae* L.)," *J. Produksi Tanam.*, vol. 4, no. 1, pp. 49–56, 2016, doi: 10.21176/protan.v4i1.259.
- [12] M. Yustianah, dkk., "Pengaruh jenis sumber nitrogen pada pembuatan polyhydroxybutyrate dari glukosa menggunakan bakteri *Bacillus cereus*," dalam *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Jakarta*, Nov. 2016, pp. 1–5.



- [13] M. M. M. Kuypers, H. K. Marchant, dan B. Kartal, "The microbial nitrogen-cycling network," *Nat. Rev. Microbiol.*, vol. 16, no. 5, pp. 263–276, Mei 2018, doi: 10.1038/nrmicro.2018.9.
- [14] Y. Tang, dkk., "The uptake kinetics of  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$  by lettuce seedlings under hypobaric dan hypoxic conditions," *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 197, no. 3, pp. 236–243, Des. 2015, doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.043.
- [15] S. J. Leghari, dkk., "Role of nitrogen for plant growth dan development: a review," *Adv. Environ. Biol.*, vol. 10, no. 9, pp. 209–219, Sep. 2016.
- [16] M. Y. Liu, dkk., "Analyses of transcriptome profiles dan selected metabolites unravel the metabolic response to  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$  as signaling molecules in tea plant (*Camellia sinensis* L.)," *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 218, no. 3, pp. 293–303, April. 2017, doi: 10.1016/j.scienta.2017.02.036.
- [17] A. D. Meitasari dan K. P. Wicaksono, "Inokulasi rhizobium dan perimbangan nitrogen pada tanaman kedelai (*Glycine max* (L) merrill) varietas wilis," *PLANTROPICA J. Agric. Sci.*, vol. 2(1), no. 2017, pp. 55–63, 2017.
- [18] R. Saraswati, *Metode Analisis Biologi Tanah*, Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber daya Lahan Pertanian, 2007.
- [19] N. S. James dan G. Cappuccino, *Manual Laboratorium Mikrobiologi*, Edisi 8, Jakarta: EGC Medical Publisher, 2013.
- [20] I. K. Muksin, N. M. Widyasari, dan R. Kawuri, "Pengaruh pH media pertumbuhan terhadap ketahanan dari *Rhizobium* sp. pada tanah yang bersifat asam," *J. Biol.*, vol. 17, no. 2, pp. 56–60, Des. 2013.
- [21] S. Purwaningsih, "The isolation, enumeration, dan characterization of *Rhizobium* bacteria of the soil in Wamena biological garden," *Biodiversitas J. Biol. Divers.*, vol. 6, no. 2, pp. 82–84, Apr. 2005, doi: 10.13057/biodiv/d060202.
- [22] P. S. Maharani, "Nodulasi dan efektivitas rhizobium endogen tanah entisol dan bertisol pada tanaman kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill)," Skripsi, Jurusan Biologi, Univ. Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, 2008.
- [23] K. H. E.Hdanayanto, *Biologi Tanah Landasan Pengelolaan Tanah Sehat*, Cetakan II, Yogyakarta: Pustaka Adipura, 2007.
- [24] T. Surtiningsih dan T. Nurhariyati, "Biofertilasi bakteri *Rhizobium* pada tanaman kedelai (*Glycine Max* (L) Merr)," *Berk. Penel. Hayati*, vol. 15, pp. 31–35, Des. 2009, doi: 10.23869/bphjbr.15.1.20097.
- [25] I. Heliati, "Teknik isolasi rhizobium alam dari tanah," dalam *Pros. Temu Tek. Fungsional Non Peneliti, 2003*, pp. 62–65.
- [26] A. R. S. E. Retnaningrum dan S. Darmasiwi, *Bahan Ajar Mikrobiologi*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2018.
- [27] L. Wang, dkk., "Bacterial growth, detachment dan cell size control on polyethylene terephthalate surfaces," *Sci. Rep.*, vol. 5, pp. 1–11, Okt. 2015, doi: 10.1038/srep15159.
- [28] T. Purwoko, *Fisiologi Mikroba*, Jakarta: Bumi Aksara, 2009.
- [29] T.I. Sunatmo, *Eksperimen Mikrobiologi dalam Laboratorium*, Jakarta: Ardy Agency, 2009.





## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

- [30] Novriani, “Peranan Rhizobium dalam meningkatkan ketersediaan nitrogen bagi tanaman kedelai,” *Agronomis*, vol. 3, no. 5, pp. 35–42, Mar. 2011.
- [31] V. R. Rao, “Nitrogenase activity in rhizobium associated with leguminous dan non-leguminous tissue cultures,” *Plant Sci. Lett.*, vol. 6, no. 2, pp. 77–83, Feb. 1976, doi: 10.1016/0304-4211(76)90139-5.



PN-004

## ANALISIS KANDUNGAN UNSUR LOGAM PADA PAKAN TERNAK DENGAN METODE ANALISIS AKTIVASI NEUTRON (AAN) REAKTOR KARTINI

### *ANALYSIS OF METAL ELEMENTS IN ANIMAL FEED WITH NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS (NAA) METHOD IN THE KARTINI REACTOR*

Taxwim, Sri Murniasih, dan Maria M.W.R.Y.

#### ABSTRAK

Telah dilakukan analisis kandungan logam pada pakan ternak berupa konsentrat untuk itik petelur (A), ayam pedaging (B), burung puyuh petelur (C), pelet ayam Bangkok (D), dedak (E), dan susu pengganti/replacer (F). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan dan konsentrasi logam (Ca, As, Hg, Cr, Fe, Zn, Co) dari pakan unggas (ayam, itik, puyuh) yang diberikan oleh kelompok peternak unggas setiap hari. Kandungan logam tersebut kemungkinan dapat terakumulasi pada ternak dan dapat membahayakan kesehatan masyarakat jika mengonsumsinya. Kandungan logam yang melebihi nilai batas ambang akan berbahaya terhadap manusia jika dikonsumsi dan dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Metode penelitian ini menggunakan Analisis Aktivasi Neutron pada Reaktor Kartini dengan fluks neutron sebesar  $\pm 10^{12} \text{ n cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ . Dari hasil penelitian, diperoleh kandungan Ca terbesar pada sampel (A), yaitu  $4,622 \pm 0,098\%$ , kandungan As terbesar pada sampel (D), yaitu  $0,188 \pm 0,032 \text{ mg/kg}$ , kandungan terbesar Hg pada sampel (A), yaitu  $0,225 \pm 0,028 \text{ mg/kg}$ , kandungan terbesar Cr pada sampel (E), yaitu  $20,137 \pm 0,247 \text{ mg/kg}$ , kandungan terbesar Fe pada sampel (A), yaitu  $0,068 \pm 0,001 \text{ mg/kg}$ , kandungan terbesar Zn pada sampel (A), yaitu  $1088,789 \pm 5,503 \text{ mg/kg}$ , dan kandungan terbesar Co pada sampel (A), yaitu  $1,713 \pm 0,043 \text{ mg/kg}$  dengan masing-masing unsur mempunyai pengaruh terhadap ternak dan manusia sehingga kelompok peternak dapat memilih pakan yang sesuai. Dari data analisis kandungan logam berat pada pakan ternak tersebut dapat disimpulkan masih dalam batas aman.

**Kata kunci:** Pakan Ternak; Logam Berat; Irradiasi Neutron; AAN.

#### ABSTRACT

*An analysis of the metal content in animal feed has been carried out in the form of concentrate for laying ducks (A), broilers (B), laying quail (C), Bangkok chicken pellets (D), milk powder/replacer (E),*

Taxwim, S. Murniasih, & M. W. R. Y. Maria

\*Pusat Riset Teknologi Akselerator BRIN dan Dinas Pertanian, Pangan, dan Perikanan Sleman, e-mail: taxw001@brin.go.id atau taxwim@batan.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

Taxwim, S. Murniasih, dan M. W. R. Y. Maria, "Analisis kandungan unsur logam pada pakan ternak dengan metode analisis aktivasi neutron (AAN) reaktor kartini," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 3, pp. 27–36, DOI: 10.55981/brin.690.c644

E-ISBN: 978-623-8372-02-7



and bran flour (F). This study aims to determine the metal content and concentration of (Ca, As, Hg, Cr, Fe, Zn, Co) in poultry feed (chicken, duck, quail) was given by poultry farmer groups every day. The metal content can accumulate in livestock and can endanger the health of the people if consuming it. The metal content that exceeds the threshold value will be harmful to humans if consumed and can cause environmental pollution. This research method uses Neutron Activation Analysis in the Kartini Reactor with a neutron flux ranging  $\pm 10^{12} \text{ n cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ . The results of analysis obtained the largest Ca content in sample (A), is  $4.622 \pm 0.098\%$ , the largest As content in sample (D), is  $0.188 \pm 0.032 \text{ mg/kg}$ , the largest content of Hg in sample (A), is  $0.225 \pm 0.028 \text{ mg/kg}$ , the largest content of Cr in the bran sample (E), is  $20.137 \pm 0.247 \text{ mg/kg}$ , the largest content of Fe in sample (A), is  $0.068 \pm 0.001 \text{ mg/kg}$ , the highest content of Fe in sample (A), is  $0.068 \pm 0.001 \text{ mg/kg}$ , the largest Zn in sample (A), is  $1088.789 \pm 5.503 \text{ mg/kg}$ , and the largest Co content in sample (A), is  $1.713 \pm 0.043 \text{ mg/kg}$ , with each element affecting livestock and humans so that the farmer group can choose the appropriate feed. The results of data analysis of heavy metal content using the NAA method in animal feed can be concluded that it is still within safe limits.

**Keywords:** Animal Feed; Heavy Metals; Neutron Irradiation; NAA.

## PENDAHULUAN

Kebutuhan nutrisi bagi manusia banyak diperoleh dari konsumsi makanan sehari-hari, seperti beras, gandum, daging, telur, buah-buahan, susu, dan sayuran. Nutrisi yang dibutuhkan oleh tubuh manusia dibagi menjadi 2 jenis, yaitu makro nutrisi dan mikro nutrisi. Unsur-unsur sebagai makro nutrisi yang dibutuhkan tubuh dalam jumlah  $\sim 150 \text{ mg/hari}$ , antara lain Ca, Mg, K, dan Na. Unsur yang termasuk dalam mikro nutrisi, antara lain Fe, Zn, Co, dan Cr [1].

Kalsium (Ca) merupakan unsur yang sangat berperan sebagai pembentuk dan kesehatan tulang. Kekurangan asupan Ca dapat menyebabkan seseorang lebih rentan mengalami penyakit osteoporosis. Magnesium (Mg) di dalam tubuh sering dikaitkan dengan kesehatan tulang. Tubuh membutuhkan magnesium untuk membangun sel tulang yang baru. Selain itu, Mg juga berperan dalam membantu aktivasi vitamin D dalam mengatur kebutuhan Ca dan P guna menunjang pertumbuhan dan pembentukan tulang. Kebutuhan mineral Mg dalam tubuh antara  $330\text{--}360 \text{ mg/hari}$  [8]. Kalium (K) dibutuhkan dalam bentuk elektrolit di dalam tubuh yang berperan penting dalam mengatur cairan tubuh, menghantar sinyal listrik pada saraf, dan mengatur kontraksi otot. Natrium (Na) berperan dalam kerja otot dan saraf, serta menjaga tekanan darah dalam tubuh [2].

Beberapa mikro nutrisi yang dibutuhkan oleh tubuh termasuk ke dalam golongan logam berat, di mana pada jumlah tertentu sangat bermanfaat bagi tubuh, tetapi apabila jumlahnya melebihi batasan toleransi dibutuhkan, dapat menyebabkan *toxic* [3]. Besi (Fe) di dalam tubuh dibutuhkan  $\sim 18 \text{ mg/hari}$ , di mana Fe berfungsi untuk membantu mengantarkan oksigen ke seluruh bagian tubuh. Selain itu, mineral Fe juga dibutuhkan untuk pembentukan sel darah, kofaktor enzim, fungsi otak dan otot, serta memperkuat sistem imunitas dalam tubuh. Kekurangan Fe dapat memicu terjadinya anemia yang memiliki gejala pusing, lemas, dan tidak bertenaga [4]. *Zinc*



(Zn) di dalam tubuh dibutuhkan  $\sim 15$  mg/hari, di mana ia memegang peran dalam menjaga fungsi membran, sistem imun, juga sebagai antioksidan [4],[5]. *Cobalt* (Co) merupakan *trace element* yang penting bagi tubuh baik pada jumlah  $\sim 6$   $\mu\text{g}$ /hari. Unsur Co merupakan bagian integral dari vitamin B12 dan memiliki peran penting dalam pembentukan asam amino dan neurotransmitter [4],[5],[6]. Krom (Cr) merupakan *trace element* yang mempunyai peran penting dalam metabolisme glukosa dengan berfungsi sebagai kofaktor untuk kerja insulin. Kebutuhan Cr dalam tubuh tidak lebih dari 120  $\mu\text{g}$ /hari [1].

Kebutuhan nutrisi dalam bentuk protein yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia adalah daging dan telur ayam/unggas. Daging dan telur ayam mempunyai harga yang relatif cukup terjangkau oleh masyarakat, menyebabkan kebutuhan konsumsi masyarakat makin meningkat. Hal ini mengakibatkan makin meningkatnya perkembangan kelompok peternak sebagai penyuplai pasokan daging ayam dan telur. Ayam ras petelur merupakan salah satu unggas yang populasinya terus meningkat sejak tahun 2010 dikarenakan meningkatnya kebutuhan konsumsi telur oleh masyarakat [6],[7]. Berdasarkan hasil Rakor (Rapat Koordinasi) Kemenko Perekonomian tanggal 18 November 2020, diketahui bahwa kebutuhan konsumsi daging ayam nasional sebesar 11,75 kg/kapita/tahun. Potensi produksi daging ayam tahun 2021 mencapai 4.034.794 ton, sementara proyeksi kebutuhan daging ayam ras tahun 2021 adalah sebanyak 3.198.920 ton dengan jumlah penduduk sebanyak 272.248.500 jiwa [8].

Di setiap kabupaten/wilayah terdapat kelompok peternak yang perlu diperhatikan, dibina, dan diawasi oleh Pemda setempat untuk mengembangkan hasil peternakannya. Pakan ternak biasanya banyak beredar di pasaran berupa campuran dari berbagai bahan, seperti konsentrat dari tepung, ikan, kepala udang, tulang, dan penambahan beberapa unsur sebagai suplemen bagi pertumbuhan binatang ternak. Potensial kontaminasi logam berat, baik oleh bahan baku atau pun selama proses produksi pakan ternak, dapat memengaruhi kesehatan binatang ternak. Hal ini juga dapat memengaruhi kesehatan masyarakat sebagai konsumen yang menduduki puncak piramida rantai makanan. Beberapa logam berat yang dapat mengontaminasi bahan makanan, seperti Hg, Pb, dan Cd menjadi tidak aman bagi konsumen karena akan mengganggu proses fisiologis dalam tubuh [1],[9],[10]. Logam esensial seperti Fe, Co, Cu, dan Zn juga dapat berpengaruh buruk bagi tubuh bila kandungannya dalam bahan makanan berlebihan [11]. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian terhadap keamanan pakan ternak, terutama kandungan logam berat sehingga meminimalisasi dampak yang lebih luas.

Penelitian ini bertujuan mengetahui kandungan konsentrasi logam (Ca, As, Hg, Cr, Fe, Zn, Co) dari pakan unggas (Ayam, Itik, Puyuh), susu *replacer*/pengganti pada ternak yang diberikan setiap hari oleh kelompok peternak unggas yang dapat terakumulasi pada binatang ternak dan dapat membahayakan kesehatan masyarakat yang mengkonsumsi.



## METODE PERCOBAAN

Analisis kandungan logam berat pada penelitian ini dengan memanfaatkan iradiasi neutron thermal yang dihasilkan oleh reaktor nuklir yang lebih dikenal dengan nama Analisis Aktivasi Neutron (AAN). Metode AAN adalah salah satu teknik atau metode uji tak merusak yang digunakan untuk mengetahui kandungan unsur dalam suatu bahan, baik kualitatif maupun kuantitatif. Metode ini didasarkan pada reaksi nuklir ( $n, x$ ) antara neutron dan bahan (materi) uji, yang kemudian dideteksi hasil interaksinya, berupa radiasi gamma yang sangat spesifik bagi setiap unsurnya. Metode ini mempunyai keunggulan tersendiri, yaitu selain tidak merusak bahan yang diuji, mampu menganalisis dengan tingkat ketelitian yang sangat tinggi, mencapai orde ppb (part per bilion) yang tidak mungkin dihasilkan oleh metode lain, multi unsur dalam satu kali pengujian [12].

### Bahan

Bahan yang digunakan, antara lain sampel pakan ternak berupa konsentrat dalam bentuk pelet atau bubuk kasar yang digunakan sebagai pakan untuk itik petelur (A), ayam pedaging (B), burung puyuh petelur (C), pelet ayam bangkok (D), dedak (E), dan susu pengganti/*replacer* buatan pabrik (F). Sampel diperoleh dari beberapa kelompok peternak yang berada di Kabupaten Sleman (Tabel 1). Larutan standar tunggal Merk untuk unsur Ca, Fe, Co, As, Hg, Cr, Zn, SRM *Tomato Leaves*, dan NIST *Milk Powder*.

**Tabel 1.** Jenis Sampel Pakan

No.	Sampel	Pakan	Jenis pakan	Asal
1	A	Itik petelur	Konsentrat	Sleman
2	B	Ayam pedaging	Konsentrat	Sleman
3	C	Burung Puyuh	Konsentrat	Sleman
4	D	Ayam Bangkok	Pelet	Sleman
5	E	Unggas	Dedak	Sleman
6	F	<i>Replacer</i> unggas	Susu bubuk	Sleman

### Alat

Alat yang dipergunakan pada penelitian ini, antara lain peralatan preparasi sampel Ball Mill untuk menghaluskan sampel agar diperoleh kelembutan 100 mesh, ayakan, seperangkat alat analisis spektrometer Gamma ( $\gamma$ ) yang dilengkapi dengan detektor semikonduktor HPGe dan *software Genie 2000*, vial sampel yang terbuat dari bahan *polyethelene*, serta Reaktor Kartini dengan fluks neutron sebesar  $\pm 10^{12} \text{ n cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$  sebagai penghasil neutron thermal dengan batas limit deteksi pengukuran dapat mencapai orde ppb (part per bilion).

### Tata Kerja

Sampel yang telah kering dihaluskan menggunakan mesin Ball Mill (Gambar 1) untuk masing-masing bahan dengan berat 37,5 gram selama 60 menit dengan



kecepatan 200 rpm, agar diperoleh kehalusan 100 mesh. Sampel yang telah halus dan homogen ditimbang 100 mg menggunakan timbangan analitik semimikro Sartorius dan dimasukkan dalam vial *polyethelene* serta diberi identitas. SRM *Tomato Leaves* dan NIST *Milk Powder* digunakan untuk *Quality Control* (QC) hasil analisis, di mana SRM ditimbang seberat 100 mg, dan dimasukkan ke dalam vial *polyethelene* serta diperlakukan sama dengan sampel. Standar kering campuran ini dibuat dari beberapa standar tunggal Merck yang digunakan untuk analisis kuantitatif. Semua sampel disusun dalam kelongsong iradiasi, di mana sampel, standar, SRM, dan blanko berada dalam 1 layer. Tiap sampel disiapkan dalam 9 vial (Gambar 2), di mana 3 vial untuk analisis unsur umur pendek (Ca), 3 vial untuk umur sedang (As), dan 3 vial untuk umur panjang (Cr, Co, Fe, Hg, dan Zn). Iradiasi unsur umur pendek dilakukan pada fasilitas *pneumatic* selama 5 menit, kemudian didiamkan selama 8 menit, dan diukur menggunakan spektrometer gamma yang dilengkapi detektor HPGe dan *software Genie-2000* (Gambar 3) selama 5 menit. Iradiasi unsur umur sedang dilakukan pada fasilitas Lazy Suzan selama 6 jam, kemudian didiamkan selama 1–2 hari, dan diukur menggunakan spektrometer gamma selama 20 menit. Iradiasi unsur umur panjang dilakukan pada fasilitas Lazy Suzan selama 3×7 jam, kemudian didiamkan selama 10–30 hari, dan diukur menggunakan spektrometer gamma selama 2–10 jam.



**Gambar 1.** Mesin Ball Mill



Gambar 2. Sampel Siap Diiradiasi

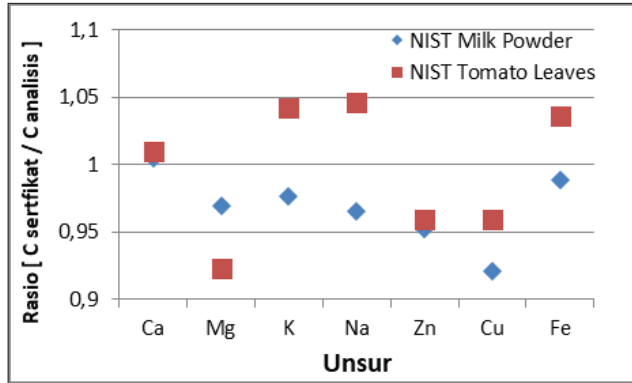


Gambar 3. Peralatan Spectrometer Gamma

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis logam berat pada sampel dapat dilakukan dengan beberapa metode, antara lain Spektrofotometri Serapan Atom (SSA), XRF, ICP-MS, ICP-OES, dan AAN. Dalam penelitian ini, metode AAN dipilih karena memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan metode analisis lainnya. Beberapa di antaranya, yaitu tidak memerlukan perlakuan awal (pre-treatment) dalam preparasi sampel, memiliki batas limit deteksi pengukuran hingga orde ppb, memiliki selektivitas tinggi, dan mampu melakukan analisis multi-elemen [13].

Analisis kuantitatif dilakukan dengan membandingkan intensitas sinar gamma yang dipancarkan isotop tertentu dalam sampel dengan intensitas sinar gamma yang dipancarkan oleh isotop yang sama dalam standar atau lebih dikenal dengan istilah metode komparatif (Gambar 4), sedangkan analisis kualitatif dilakukan berdasarkan energi sinar gamma karakteristik yang dipancarkan oleh isotop tertentu sehingga dapat diketahui kandungan unsur apa saja yang ada dalam sampel (Gambar 5).



**Gambar 4.** Rasio Nilai Sertifikat Dengan Nilai Hasil Analisis

*Quality Control* dibutuhkan untuk menjamin hasil analisis. Pada penelitian ini, digunakan 2 *Standard Reference Material* (SRM), yaitu 1549a *Whole Milk Powder* dan 1573a *Tomato Leaves*. SRM diperlakukan sama dengan sampel. *Relative Standard Error* (RSD) hasil analisis kedua SRM menunjukkan nilai  $0,9 < x < 1,1$ . Hal ini menunjukkan bahwa hasil analisis sampel menggunakan metode AAN mempunyai error  $< 10\%$ . Hasil analisis dinyatakan valid dan dapat dipercaya kebenarannya [13].

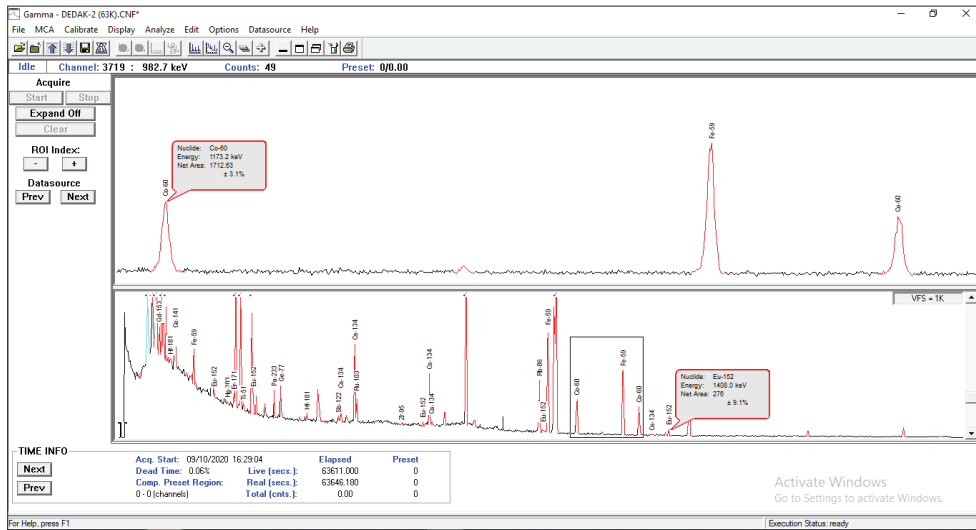
Hasil analisis kualitatif (Gambar 3) diketahui bahwa pada 5 sampel pakan ternak mengandung unsur Ca pada tenaga 3084 keV, unsur As pada tenaga 559 keV, unsur Cr pada tenaga 320 keV, unsur Fe pada tenaga 1099 keV, unsur Hg pada tenaga 279 keV, unsur Co pada tenaga 1173 ke V, dan unsur Zn pada tenaga 1115 keV.

Hasil analisis kuantitatif sampel disajikan pada Tabel 2. Dari hasil analisis, diperoleh kandungan Ca terbesar pada sampel (A), yaitu  $4,622 \pm 0,098\%$ . Kandungan Ca sangat dibutuhkan oleh tubuh dan kelebihanannya secara alami akan dikeluarkan oleh tubuh melalui ekskresi. Kandungan As dalam sampel pakan hewan unggas masih di bawah nilai yang diizinkan, di mana batas kandungan As dalam pakan hewan berbulu tidak boleh lebih dari 2 mg/kg. Kandungan As terbesar pada sampel D, yaitu  $0,188 \pm 0,032$  mg/kg. Konsentrasi As pada pakan ternak bersifat *toxic* jika dalam jumlah 100 mg/kg [14]. Hampir semua sampel pakan hewan untuk unggas masih di bawah nilai yang diizinkan, di mana batas kandungan Hg dalam pakan hewan berbulu tidak boleh lebih dari 0,1 mg/kg. Hanya sampel A yang mempunyai kandungan Hg melebihi izin yang diberikan, yaitu sebesar  $0,225 \pm 0,028$  mg/kg. Kandungan Hg dalam pakan ternak bersifat *toxic* jika dalam jumlah  $\geq 1$  mg/kg [14],[15]. Hampir semua sampel mempunyai kandungan Cr lebih kecil dibandingkan batas izin yang direkomendasikan. Hanya sampel E yang mempunyai nilai konsentrasi Cr yang melebihi izin yang diberikan, yaitu sebesar  $20,137 \pm 0,247$  mg/kg, di mana batas kandungan Cr dalam pakan hewan berbulu tidak boleh lebih dari 10 mg/kg. Kandungan Cr pada pakan ternak dapat bersifat *toxic* apabila konsentrasi 50–300





mg/kg [14]. Kandungan terbesar Fe pada sampel (A), yaitu  $0,540 \pm 0,007\%$ . Besi dibutuhkan tubuh ayam dalam jumlah yang cukup besar, yaitu 4.500 mg/kg. Kandungan terbesar Zn pada sampel (A), yaitu  $1088,789 \pm 5,503$  mg/kg, di mana besarnya kandungan Zn masih dapat dinyatakan aman untuk konsumsi binatang ternak. Kandungan Zn dalam pakan ternak yang dapat bersifat *toxic* adalah 4.000 mg/kg [14,16]. Kandungan terbesar Co pada sampel (A), yaitu  $1,713 \pm 0,043$  mg/kg. Nilai ini masih dinyatakan aman karena batasan jumlah Co dalam pakan ternak dinyatakan bersifat *toxic* dalam jumlah 100–200 mg/kg [14].



Gambar 5. Hasil Pengukuran Sampel E Pakan Unggas Menggunakan Spektrometer Gamma

Tabel 2. Hasil Analisis Kuantitatif Sampel Pakan Ternak Menggunakan Metode AAN

Sampel	Konsentrasi						
	Ca (%)	As (mg/kg)	Hg(mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (%)	Zn (mg/kg)	Co (mg/kg)
A	4,522±0,098	0,082±0,004	0,225±0,028	8,514±0,592	0,540±0,007	1088,789±5,503	1,713±0,043
B	1,278±0,037	0,030±0,009	0,068±0,009	1,948±0,043	0,038±0,001	253,349±1,881	0,662±0,027
C	1,488±0,033	0,037±0,008	0,043±0,004	2,511±0,335	0,189±0,004	208,355±2,368	0,431±0,028
D	1,327±0,037	0,188±0,032	0,052±0,005	2,721±0,197	0,249±0,005	189,810±2,150	0,056±0,002
E	0,073±0,002	0,064±0,005	0,031±0,005	20,137±0,247	0,068±0,001	22,608±0,524	0,024±0,001
F	0,921±0,016	< 0,010	< 0,001	0,186±0,058	0,010±0,001	112,005±1,400	0,003±0,001



Pengendalian kandungan logam berat dalam pakan ternak perlu terus dipantau mengingat sifat logam berat yang *toxic* dan mudah terakumulasi dalam tubuh melalui jalur makanan, pernafasan, maupun penyerapan (bioakumulasi).

## KESIMPULAN

Kandungan unsur esensial pada pakan ternak perlu dikendalikan mengingat beberapa unsur esensial termasuk logam berat yang dibutuhkan bagi pertumbuhan binatang ternak dengan jumlah tertentu. Kandungan logam berat yang melebihi nilai rekomendasi yang diterapkan dapat menyebabkan bersifat *toxic* bagi binatang ternak dan dapat mengalami bioakumulasi sampai ke tubuh manusia. Analisis kandungan 5 jenis pakan ternak yang banyak digunakan oleh peternak di Sleman, Yogyakarta mengandung unsur Ca, As, Fe, Co, Hg, Cr, dan Zn. Kandungan unsur tersebut pada sampel pakan ternak hampir semuanya masih dikategorikan aman dan tidak bersifat *toxic*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh staf reaktor Kartini, seluruh staf laboratorium AAN dan seluruh staf lingkungan Bidang Keselamatan dan Keteknikan-PRTA, atas kerja sama yang baik dalam mengiradiasi dan preparasi sampel serta terima kasih pula kepada perorangan dan atau institusi yang membantu penulis dalam melakukan penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. T. Bhattacharya, S. R. Misra, dan M. Hussain, "Nutritional aspects of essential trace elements in oral health dan disease: an extensive review," *Scientifica* (Cairo), doi:10.1155/2016/5464373, 2016.
- [2] M. López-Alonso, "Trace minerals and livestock: not too much not too little," *ISRN Vet Sci*, pp. 1–18, Des. 2012, doi:10.5402/2012/704825.
- [3] A. Rosihan dan Husaini, "*Logam berat sekitar manusia, Lambung Mangkurat*," Banjarmasin: University Press, 2017.
- [4] N. Pagrut dan S. Ganguly, "Importance of trace elements in animal reproduction: a review," *Int. J. Pharm. Res. Bio-Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 11–17, Jun. 2018.
- [5] Anonim, "Essential trace elements for plants, animals dan humans," dalam *Pros. Seminar NEJ No. 370*, Agricultural University of Iceland, 2005.
- [6] Sholikha, dkk., "Analisis kandungan logam timbal (Pb), besi (Fe) dan magnesium (Mg) pada pakan ayam ras petelur dengan metode spektrofotometri serapan atom (SSA)," *Sainstech Farma*, e-ISSN 2776-1878 p-ISSN 2086-7816, vol. 14, no.2, pp.109–113, 2021.
- [7] Setiawati, dkk., "Performa produksi dan kualitas telur ayam petelur pada sistem litter dan cage dengan suhu kandang berbeda," *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*, vol. 4, no. 1, pp. 197–203, Jan. 2016, doi: 10.29244/4.1.197-203.



## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

- [8] Yulianto, "Tabun 2021, diprediksi orang Indonesia makan 2,7 miliar ekor ayam," [Online]. Tersedia: <https://tabloidsinartani.com/detail/indeks/ternak/15459-Tahun-2021-Diprediksi-Orang-Indonesia-Makan-27-Miliar-Ekor-Ayam>.
- [9] L. Prashanth, dkk., "A review on role of essential trace elements in health dan disease," *J. Dr. NTR Univ. Health Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 75–85, 2015.
- [10] M. M. Onakpa, A. A. Njan, dan O. C. Kalu, "A review of heavy metal contamination of food crops in Nigeria," *Ann Glob Health*, vol. 84, no. 3, pp. 488–494, 2018, doi: 10.29024/aogh.2314.
- [11] Darmono, "Suplementasi logam dan mineral untuk kesehatan ternak dalam mendukung swasembada daging," *J. Pengemb. Inovasi Pertan.*, 2011.
- [12] S. Murniasih dan A. Taftazani, "Perbandingan hasil analisis dua laboratorium menggunakan metode yang berbeda," *Ganendra*, vol. 20, no. 1, pp. 2503–5029, Jan. 2017, doi: 10.17146/gnd.2017.20.1.3115.
- [13] A. Taftazani, dkk., "Comparison of NAA XRF dan ICP-OES methods on analysis of heavy metals in coals dan combustion residues," *Indones. J. Chem.*, vol. 17, no. 2, pp. 228–237, Jul. 2017, doi: 10.22146/ijc.17686.
- [14] M. A. Korish dan Y. A. Attia, "Evaluation of heavy metal content in feed, litter, meat, meat products, liver, dan table eggs of chickens," *Animals*, vol. 10, no. 727, Apr. 2020, doi: 10.3390/ani10040727.
- [15] P. F. Gerber, N. Gould, dan E. McGahan, "Potential contaminants and hazards in alternative chicken bedding materials and proposed guidance levels: a review," *Poultry Sci.*, vol. 99, no. 12, pp. 6664–6684, Des. 2020, doi: 10.1016/j.psj.2020.09.047.
- [16] H. M. Salim, C. Jo, dan B. D. Lee, "Zinc in broiler feeding dan nutrition," *Avian Biol. Res.*, vol. 1, no. 1, pp. 5–18, Jul. 2008, doi: 10.3184/175815508X334578.



PN-005

## PERAN PRODUK TEKNOLOGI ISOTOP DAN RADIASI DALAM MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS PADI DI KECAMATAN LAKBOK

### *THE ROLE OF RADIATION TECHNOLOGY FOR IMPROVING RICE PRODUCTIVITY IN LAKBOK DISTRICT*

Fery Wahyu Ramadhan

#### ABSTRAK

Pada saat ini, petani sedang mengalami penurunan hasil produktivitas panen karena berbagai permasalahan, dan memerlukan seluruh lembaga/institusi terkait untuk menyelesaikannya. Selain budaya tanam petani yang masih tradisional, perubahan iklim saat ini sangat cepat dan tidak sesuai kondisi pada masa lampau. Oleh karena itu, hadirnya produk teknologi radiasi dan isotop dari Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional sangat penting guna untuk meningkatkan hasil produktivitas pertanian. Sebagai contoh, benih hasil pemuliaan menggunakan sinar gamma, yaitu padi, kedelai, kacang tanah, sorgum, kacang hijau, pisang, dan gandum. Terdapat sekitar 33 varietas padi hasil pemuliaan menggunakan sinar gamma. Metode yang digunakan adalah analisis kualitatif dengan observasi langsung ke lapangan serta melihat testimoni dari petani terkait varietas yang ditanam yang akan menjadi tolak ukur karakteristik padi yang dapat diterima oleh petani. Produktivitas hasil panen juga diamati melalui perbandingan dengan varietas lain. Hasil dari penelitian ini adalah petani di Lakbok cenderung menyukai padi dengan karakteristik bulir yang besar, keluar malai serempak, dan umur pendek. Karakteristik ini sesuai dengan padi varietas Sidenuk yang memiliki kepanjangan Hasil Dedikasi Nuklir yang memiliki nilai plus malainya terdapat di atas daun dan dilabeli padi "Pamer". Varietas Mustajab (Mutasi Radiasi Varietas Jawa Barat) juga diobservasi. Namun, kurang disukai karena waktu keluar malai kurang serempak serta umurnya kurang pendek. Hasil produktivitas dari Sidenuk pada panen masa tanam kedua ini sangat memuaskan karena meningkat 30–40%.

**Kata kunci:** Produk Teknologi Radiasi; Produktivitas; Sidenuk; Mustajab; Pertanian.

#### ABSTRACT

*Currently, farmers are experiencing a decline in crop productivity with various complicated problems that require all relevant institutions/institutions to solve them. In addition, the farming culture of farmers who are still based on the habits of their ancestors in the past is also a problem because climate change is currently very fast and does not match conditions in the past. Therefore, the presence of radiation and isotope technology products from the Nuclear Energy Research Organization, National Research and Innovation Agency is very important to increase agricultural productivity results such as seeds from breeding using gamma rays, be it rice, soybeans, peanuts, sorghum, green beans, bananas, and Wheat. There are about 33 varieties of rice that have been bred using genetic engineering using gamma rays. The method used is qualitative by conducting direct observations in the field and*

F. W. Ramadhan

\*Komunitas Muda Nuklir Nasional, e-mail: ferywahyu958@gmail.com

@2023 Penerbit BRIN

F. W. Ramadhan. "Peran produk teknologi isotop dan radiasi dalam meningkatkan produktivitas padi di Kecamatan Lakbok," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 4, pp. 37–44, DOI: 10.55981/brin.690.c645, E-ISBN: 978-623-8372-02-7



*seeing testimonials from farmers regarding the varieties planted will be a benchmark for rice characteristics that can be accepted by farmers and yields productivity by comparison with other varieties. The results of this study are farmers in Lakbok tend to like rice with the characteristics of rice with large grains, panicles out simultaneously, and short lifespan. This characteristic is related to the Sidenuk variety rice which stands for Nuclear Dedication Result which has a plus value. Besides Sidenuk, the Mustajab variety (Radiation Mutation of West Java Varieties) is also planted, but it is less popular because the time of panicle release is less simultaneous and its lifespan is not short. The productivity results from Sidenuk during the 2nd Planting Period are very satisfying because they increase by 30–40 percent from usual.*

**Keywords:** *Radiation Technology Products; Productivity; Sidenuk; Mustajab; Agriculture.*

## PENDAHULUAN

Padi merupakan salah satu komoditas terbesar di Indonesia. Kecamatan Lakbok memiliki peluang besar dengan adanya lahan hamparan sawah sebesar 3.342 hektare. Luasan hamparan yang besar menjadikan Lakbok sebagai lumbung padi dari Kabupaten Ciamis. Akan tetapi, permasalahan yang dialami adalah produktivitas padi di Kecamatan Lakbok yang masih rendah, yaitu sekitar 6,5 ton/hektare. Menurut data dari Badan Penyuluh Pertanian Kecamatan Lakbok, selama 2 tahun terakhir, untuk produktivitas padi di Kecamatan Lakbok berkulat di angkat 6.5 ton per hektare (2019–2020). Pada tahun 2013, Lakbok pernah mencapai panen 7.1 ton/hektare dengan didukung oleh saluran irigasi yang sangat membantu dalam usaha tani dibandingkan kecamatan lain di Kabupaten Ciamis, terutama dalam penanaman padi organik [1].

Hal ini perlu diobservasi lebih lanjut. Oleh karena itu, diperlukan penelitian mendalam terkait Lakbok yang memiliki sawah dengan hamparan terbanyak di Kabupaten Ciamis, agar dapat lebih maju dan produktivitas padi meningkat. Lakbok sebagai lumbung padi memiliki fungsi untuk menjaga ketersediaan pangan baik dalam jumlah dan jenis dengan didukung oleh sistem kelembagaan dalam pengelolaannya. Sebagai contoh adalah kemampuan produksi, pengelolaan cadangan pangan, dan distribusinya kepada masyarakat [2].

Faktor yang memengaruhi budi daya padi [3], antara lain lahan, benih, pupuk, pestisida, dan tenaga kerja. Selain keempat hal tersebut, budaya pertanian di Lakbok kurang memungkinkan untuk dilakukan. Pembaruan penggunaan alat dan mesin pertanian, seperti proses panen menggunakan kombiner, belum bisa dilakukan karena kedalaman sawah di atas 20 cm yang bisa menyebabkan kombiner mengalami masalah.

Salah satu permasalahan yang ada di pertanian Lakbok adalah tentang pengetahuan kualitas benih oleh petani. Menurut Azwar [4], belum ada varietas padi yang cocok dengan areal persawahan rawa. Hal tersebut karena adanya hama pengganggu tanaman ketika musim pancaroba yang bisa menurunkan hasil, baik dari segi kuantitas maupun kualitas. Oleh karena itu, perlu adanya edukasi terutama kepada petani terkait pentingnya kualitas dari benih dan karakteristiknya. Hal ini



sesuai dengan arahan yang disampaikan oleh Kepala Balai Besar Penelitian Padi (BB Padi) [5], bahwa penentu produksi padi adalah varietas benih unggul yang diringi dengan aplikasi dan implementasi teknologi pertanian yang dapat meningkatkan produktivitas padi.

Lakbok termasuk ke dalam kecamatan yang rawan banjir karena memiliki kemiringan lereng 0–8% atau datar yang sangat berpotensi mengalami banjir [6]. Perubahan iklim yang sulit diprediksi juga akan sangat berpengaruh pada hasil pertanian [7]. Perubahan ini terasa nyata, yaitu dengan adanya perubahan musim yang tidak menentu. Kemarau basah juga sangat mengganggu karena kecenderungan pada kemarau yang diselingi oleh hujan dengan intensitas yang menyebabkan pertumbuhan padi tidak maksimal. Akibat yang terjadi adalah umur tanaman padi menjadi lebih pendek tetapi produktivitasnya rendah [8].

ORTN-BRIN melalui Pusat Riset Aplikasi Isotop dan Radiasi memiliki tiga Prioritas Riset Nasional (RPN), salah satunya adalah di bidang pertanian dengan melakukan pemuliaan tanaman padi menggunakan radiasi sehingga dapat menghasilkan padi dengan kualitas yang baik, tahan hama, dan umur pendek [9]. Hal ini dapat membantu petani, terutama dengan karakteristik persawahan yang berbeda-beda, agar produktivitas padi meningkat, sehingga petani dapat sejahtera. Oleh karena itu, ORTN akan dapat mewujudkan kemandirian pangan untuk menciptakan ketahanan pangan nasional berbasis iptek nuklir di bidang pertanian. Hasil risetnya adalah pengembangan galur mutan padi yang memiliki produktivitas di atas 10 on sehingga bisa memiliki daya saing terhadap pasar lokal di bidang benih [10].

Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi produk teknologi radiasi dari ORTN-BRIN dalam hal peningkatan produktivitas padi di Kecamatan Lakbok, Kabupaten Ciamis, Jawa Barat.

## METODE PERCOBAAN

### Bahan dan Alat

Benih padi Sidenuk dari CV Fiona Benih Mandiri Subang dan Mustajab dari TR Group Surakarta (mitra dari ORTN). Pupuk NPK dan pupuk organik cair dari urin kelinci, serta pupuk organik padat dari kotoran kambing. Peralatan yang digunakan adalah peralatan penanaman padi dengan metode konvensional, seperti arit dan garukan.

### Tata Kerja

Langkah kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Sosialisasi kepada masyarakat terkait Varietas Unggul ORTN tentang karakteristik dan spesifikasi padi secara detail dari benih padi Sidenuk dan Mustajab label ungu. Sosialisasi dilakukan dengan pendekatan sukarela.



2. Edukasi dan pengarahan kepada petani terkait cara budi daya yang baik dan benar dari perlakuan benih sampai kegiatan pascapanen yang melibatkan pemulia dari benih padi tersebut agar timbul kepercayaan diri petani untuk menanam benih tersebut.
3. Pendampingan dilakukan agar dalam setiap fase pertumbuhan padi bisa maksimal dengan berkonsultasi langsung dengan pemulia varietas padi tersebut dan pegiat pertanian lokal yang menggandeng juga dari instansi terkait, seperti UPTD Pertanian kecamatan dan Petugas POPT dalam penanganan hama penyakit yang akan timbul.
4. Pengecekan berkala pertumbuhan padi yang dilakukan oleh petani dan anggota Komunitas Muda Nuklir Nasional (KMNN) sebagai salah satu orang dalam hilirisasi produk teknologi isotop dan radiasi ORTN dan adanya pelaporan dengan interval tertentu yang sudah dikonsultasikan dengan pemulia benih.
5. Pencatatan terhadap hasil panen dilakukan dengan membandingkan varietas yang ditanam selain Sidenuk dan Mustajab (ton/hektare).
6. Evaluasi ini dilakukan bersama dengan semua elemen yang ikut dalam pengujian ini dengan melihat testimoni atau pengalaman di lapangan dari petani, seperti segi pertumbuhan, bentuk fisik padi, panjang malai, dan petugas POPT sebagai orang yang memiliki pengetahuan terkait hama penyakit yang ada di varietas yang ditanam sehingga terdapat perbaikan varietas, terutama dari ketahanan hama penyakit.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Varietas Sidenuk rilis pada tahun 2011 dan pernah beredar di Lakbok sekitar tahun 2016. Keunggulan dari Sidenuk adalah malainya berada di atas daun sehingga dijuluki “Padi Pamer” Selain itu, panjang malai Sidenuk memudahkan proses Gepyok atau merontokan padi dengan menggunakan alat tradisional karena malai tersebut langsung rontok dengan mudah. Sidenuk sendiri kepanjangan dari Hasil Dedikasi Nuklir dari indukan varietas Diah Suci yang memiliki keunggulan bentuk fisiknya yang tinggi. Selain dijuluki Padi Pamer, Sidenuk juga dijuluki “Denok Demplon” karena malainya yang panjang dan bulirnya banyak. Akan tetapi, Sidenuk juga memiliki sebuah kelemahan terutama yang akan dirasakan oleh konsumen dalam bentuk beras, yaitu tekstur nasi seperti ketan karena kandungan amilosa 20%. Hal ini kontradiksi dengan preferensi masyarakat di Lakbok yang lebih menyukai nasi dengan tekstur pulen tapi tidak terlalu lengket seperti ketan. Hal ini menjadi kurang baik sehingga diharapkan dapat dilakukan perbaikan.

**Tabel 1.** Data hasil Panen Padi MT 2 (April–September) di Lakkok

No	Varietas	Hasil (ton/ha)	Testimoni	Kondisi Panen
1	Sidenuk	7,6	Puas	Normal
2	Mustajab	5,6	Puas	Normal
3	Mawar	3,4	Tidak Puas	Tidak Normal
4	Ciherang	3,5	Tidak Puas	Tidak Normal
5	Inpari Nutri Zinc	7,8	Puas	Normal
6	Mekongga	3,15	Tidak Puas	Tidak Normal
7	Sertani	2,8	Tidak Puas	Tidak Normal

Padi Mustajab dirilis pada 2018 yang berasal dari induk padi varietas Jembar asli Jawa Barat. Akan tetapi, kekurangannya adalah proses keluar malai kurang serempak sehingga berpengaruh pada kesulitan pemilihan waktu panen. Mustajab memiliki keunggulan, berupa karakteristik tanaman yang tinggi serta tekstur nasinya, seperti pera dan pulen. Ini menjadi nilai plus karena kandungan amilosa sama seperti Sidenuk tapi tekstur tidak seperti ketan yang bisa menarik petani. Tentunya ini menjadi faktor penting, terutama kebiasaan petani disini yang masih menjual padi hasil panen dan sedikit yang dikonsumsi.



**Gambar 1.** Malai padi, kiri (Sidenuk), tengah (Mustajab), dan kanan Non ORTN

Jika dilihat dari bentuk dan panjang malai, Sidenuk berada pada urutan pertama karena satu malai dapat menghasilkan bulir lebih dari 240 butir dengan panjang malai sampai 20 cm. Bobot 1.000 butir mampu mencapai 25,9 gram. Mustajab memiliki malai sedikit lebih pendek dari Sidenuk, dan bulir yang dihasilkannya bisa sampai 240 butir. Berat 1.000 butir gabah mampu mencapai 28,95 gram.

Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa padi varietas unggul ORTN memiliki hasil mendekati tingkat normal karena rata-rata hasil tonase Sidenuk di atas 7 ton per hektare dan Mustajab juga normal karena ada beberapa hal yang kurang





disukai oleh petani. Faktor yang memengaruhi produktivitas yang dirasakan oleh peneliti terutama dalam hal budaya bertani petani disini kurang baik, antara lain.

- a. Seleksi benih kurang maksimal karena masih menggunakan kecenderungan harga jual padi dalam bentuk gabah, tanpa melihat kualitas benih dengan 4 tingkatan, yaitu Label Kuning (*Breeder Seed*), Label Putih (*Foundation Seed*), Label Ungu (*Stock Seed*), dan Label Biru (*Extension Seed*). Hal ini menjadi sebuah awal tidak baik karena kunci dari produksi padi terdapat pada kualitas benih itu sendiri.
- b. Perlakuan benih yang kurang baik, yaitu dengan merendamnya dengan air sembarangan, seperti air kolam. Hal ini memiliki dampak yang signifikan, terutama dapat masuknya infeksi dari bakteri yang bisa menyebabkan patah leher, busuk buah, dan beluk. Sidenuk dan Mustajab juga mengalami serangan hama kresek, tetapi dampaknya tidak begitu signifikan, yang berarti keduanya memiliki tingkat ketahanan terhadap hama kresek.



**Gambar 2.** Busuk Buah pada Varietas Sertani

- c. Pengolahan tanam yang tidak maksimal. Proses pengolahan tanam di persawahan Lakbok tidak optimal dikarenakan tidak dilakukan pemeriksaan kandungan tanah sebelum diolah. Hal ini penting untuk mengetahui pengolahan tanah yang diperlukan agar dapat mengembalikan tanah ke kondisi netral. Proses ini melibatkan pemberian kapur pertanian atau kaptan sesuai dosis yang direkomendasikan. Selain itu, untuk memperbanyak cacing tanah dan menggemburkan tanah alami, dapat digunakan batang pisang yang dicacah dan dimasukkan ke sawah. Setelah itu, didiamkan selama 4–7 hari sebelum dilakukan pengolahan dengan traktor.
- d. Usia tanam padi 20–24 hari di semaian dengan jumlah 4–5 pohon kurang baik karena pertumbuhan tidak sebaik pada 7–14 hari umur padi pada semaian yang dapat menghasilkan anakan yang maksimal dalam satu rumpun padi. Pusat Riset Aplikasi Isotop dan Radiasi ORTN-BRIN [11] anakan dari 1 bulir padi Sidenuk dan Mustajab bisa mencapai 15 anakan.



- e. Dosis pemupukan dan interval waktu tidak menyesuaikan kondisi. Dosis pemupukan menggunakan NPK dengan komposisi 15-15-15 sesuai, namun petani kurang mengetahui, terutama dari segi kuantitas pupuk karena pada saat sebelum penanaman unsur kandungan lahan sawah tidak dicek terlebih dahulu, dan itu melekat di pemikiran petani. Jadi, setiap tahun dosis kuantitas pupuk akan ditambah tanpa melihat kondisi dari tanah apakah sudah genteng atau masih dalam keadaan normal.
- f. Budaya pencegahan petani kurang terlihat dalam perilaku mereka selama proses pertumbuhan tanaman, baik itu pada tahap semai maupun penanaman di sawah. Kebanyakan petani tidak melakukan pencegahan, melainkan ke arah pengobatan kepada tanaman yang sudah terkena. Jika pencegahan bisa diterapkan dan menjadi kebiasaan maka petani bisa meraup hasil lebih maksimal karena baik dari segi biaya produksi dan waktu bisa lebih efisien.
- g. Proses panen yang tidak baik dapat berpengaruh pada hasil dan rendemen air. Petani di Lakbok melakukan panen menggunakan alat konvensional, yaitu *gepyokan* yang terbuat dari bambu. Cara panennya, yaitu padi diambil lalu dibiarkan semalam karena keterbatasan tenaga. Namun, ini bisa berdampak kurang bagus, terutama pada kandungan air yang makin bertambah, belum lagi proses merontokan padi dengan dibenturkan ke *gepyokan* sehingga isi gabah ada kemungkinan pecah. Belum lagi gabah yang sudah dipanen tidak langsung dijemur karena ada kemungkinan lokasi untuk menjemur terbatas sehingga harus bergantian. Jika dihitung dari proses awal, padi membutuhkan waktu 3–5 hari untuk mengering secara optimal tanpa terhalang oleh faktor cuaca, seperti hujan dan lainnya.
- h. Budaya pascapanen yang kurang baik, yaitu dengan membakar jerami, padahal jerami bisa dijadikan pupuk dengan cara disebar ke seluruh lahan dan dibiarkan hingga membusuk. Akan tetapi, jika pada musim kemarau, akan jadi hambatan terutama dalam proses pengolahan tanah menggunakan traktor jika jerami masih keras karena dapat masuk ke roda traktor dan mengganggu proses pengolahan.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa benih merupakan faktor kunci dari suksesnya produksi padi. Hal ini dibuktikan dengan benih yang berasal dari ORTN dan mitranya telah teruji dengan baik. Selain itu, terdapat faktor alam yang sulit untuk di atasi. Dengan memaksimalkan kualitas benih, dampak yang signifikan dapat diperoleh oleh petani.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih saya sampaikan kepada pihak-pihak yang ikut serta dalam proses implementasi produk teknologi radiasi, antara lain.



1. ORTN-BRIN yang sudah ikut membersamai dan memberikan peluang KMNN untuk melakukan karya nyata berbentuk implementasi produk litbang Nuklir.
2. Rekan-rekan di KMNN baik BPH.
3. Tim Pertanian di Lakbok, yaitu Bah Dani, Gus Riazuddin, Kang Paise, UPTD Pertanian, BPP Kecamatan yang sudah ikut mendukung kegiatan ini.
4. Lokal heroes kegiatan pertanian di Lakbok 3, yaitu Wa Yaya yang bersedia mencoba varietas baru.
5. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan saya ucapkan terimakasih.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. N. Kurnia, Y. Rusman, dan Z. Normansyah, "Analisis titik impas pada usahatani padi organik (suatu kasus di Desa Sukanagara Kecamatan Lakbok Kabupaten Ciamis)," *Agroinfo Galuh*, vol. 2, no. 2, pp. 117–124, Jan. 2015.
- [2] M. Rachmat, dkk., "Lumbung pangan masyarakat: keberadaan dan perannya dalam penanggulangan kerawanan pangan," Dalam *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, Vol. 29, No. 1, pp. 43–53, 2011.
- [3] T. S. Azwar, T. I. Noor, dan E. Ernah, "Analisis efisiensi usahatani padi sawah lahan rawa di Kabupaten Ciamis (suatu kasus di Kecamatan Lakbok Kabupaten Ciamis)," *Mimb. Agribisnis J. Pemikir. Masy. Ilm. Berwawasan Agribisnis*, vol. 5, no. 2, pp. 276–292, Jul. 2019, doi: 10.25157/ma.v5i2.2264.
- [4] A. Akbar, "Evaluasi keterpakaian koleksi referensi di perpustakaan Universitas Muhammadiyah Buton," *Pustaka Loka*, vol. 10, no. 1, pp. 83–94, Jun. 2018, doi: 10.21154/pustaka.loka.v10i1.1301.
- [5] Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Jawa Barat. "Varietas unggul pacu peningkatan produksi padi 2019." 2019. [Online]. Tersedia: <http://distan.jabarprov.go.id/distan/blog/detail/4537-varietas-unggul-pacu-peningkatan-produksi-padi-2019>
- [6] A. Pahlevi, dkk., "Studi identifikasi Kecamatan Lakbok, Banjarsari, Purwadadi, dan Pamarican sebagai lumbung padi di Kabupaten Ciamis," *Pros. Perenc. Wil. dan Kota*, pp. 184–195, 2017.
- [7] D. H. Sujaya, T. Hardiyanto, dan A. Y. Isyanto, "Faktor-Faktor yang berpengaruh terhadap produktivitas usaha tani mina padi di Kota Tasikmalaya," *Mimb. Agribisnis J. Pemikir. Masy. Ilm. Berwawasan Agribisnis*, vol. 4, no. 1, pp. 25–39, Jan. 2018, doi: 10.25157/ma.v4i1.834.
- [8] R. Ruminta, "Analisis penurunan produksi tanaman padi akibat perubahan iklim di Kabupaten Bandung Jawa Barat," *Kultivasi*, vol. 15, no. 1, pp. 37–45, Mar. 2016, doi: 10.24198/kultivasi.v15i1.12006.
- [9] A. Rabani. (2020, Jan 16). *Batan akan Lakukan Tiga Riset Prioritas* [Online]. Tersedia: <https://www.republika.co.id/berita/q47g3c368/batan-akan-lakukan-tiga-riset-prioritas>.
- [10] BATAN. (2020, April). *Renstra Batan 2020–2024*. [Online]. Tersedia: [https://lms.batan.go.id/pluginfile.php/33419/mod\\_folder/content/0/Renstra%20BATAN%202020-2024.pdf](https://lms.batan.go.id/pluginfile.php/33419/mod_folder/content/0/Renstra%20BATAN%202020-2024.pdf).
- [11] Center for Isotope and Radiation Application, "Pemuliaan tanaman dengan teknik mutasi radiasi," 2020.



PN-006

## EVALUASI ORGAN VEGETATIF DAN GENERATIF EMPAT VARIETAS KRISAN HASIL MUTASI SINAR GAMMA

### *EVALUATION OF VEGETATIVE AND GENERATIVE ORGANS OF FOUR CHRYSANTHEMUM VARIETIES RESULTING FROM GAMMA-RAY MUTATIONS*

**Lia Sanjaya, Eka Fibrianty, Ridho Kurniati, Mawaddah, Hanudin, I.B. Raharjo,  
Musalamah, Rita Indrasti, dan J.B. Markus Rawung**

#### ABSTRAK

Krisan (*Dendranthema grandiflora*) merupakan tanaman hias bernilai ekonomi tinggi dan populer sebagai bunga potong. Kendala utama dalam budi daya tanaman krisan adalah penyakit karat. Untuk memperoleh varietas tahan karat, salah satunya dapat dilakukan melalui induksi sinar Gamma. Tujuan penelitian ialah mendapatkan varietas krisan tahan karat melalui iradiasi sinar Gamma, dengan mengubah gen rentan menjadi gen resisten. Penelitian dilakukan selama 2 tahun dari bulan Maret 2016 hingga April 2018. Materi iradiasi menggunakan empat varietas krisan dalam bentuk kalus/planlet yang diiradiasi sinar Gamma pada dosis 0–45 Gy, dengan interval 5 Gy. Multiplikasi planlet hingga pembentukan populasi generasi MV<sub>4</sub> dilakukan pada tahun pertama. Planlet diaklimatisasi dan diskriminasi ketahanannya terhadap penyakit karat. Perbanyak vegetatif populasi krisan resisten, hasil skrining penyakit karat dilakukan pada tahun kedua. Tanaman dipelihara hingga mencapai generasi lanjut (MV<sub>n</sub>) dan dilakukan penanaman di lapang sampai fase pembungaan. Tanaman krisan yang telah berbunga dievaluasi karakter vegetatif dan generatifnya. Hasil penelitian diperoleh variasi pada jumlah planlet vigor 4 varietas krisan akibat sinar gamma. Eksplan kalus memiliki radiosensitivitas lebih tinggi daripada eksplan planlet. Tanaman krisan tahan penyakit karat diperoleh, tetapi bersifat acak pada setiap varietas dan dosis sinar Gamma. Ketiga populasi krisan hasil induksi sinar Gamma pada planletnya memiliki keunikan pada karakter bentuk kuntum bunga, bentuk bunga pita, dan gradasi intensitas warna bunga. Pada kalus yang diiradiasi sinar gamma terdapat variasi bentuk cakram bunga dan organ lain pada permukaan cakram bunga.

**Kata kunci:** Krisan; Iradiasi Sinar Gamma; Penyakit Karat; Karakter Morfologi.

#### ABSTRACT

*Chrysanthemum (Dendranthema grandiflora) is an ornamental plant that is very popular in the world and has high economic value. The main obstacle in the cultivation of chrysanthemum is rust disease, so it is necessary to use resistant varieties. Gamma-ray irradiation is an effective way to convert susceptible genes into resistant genes. The objective of the research was to find out the rust resistance of the chrysanthemum. This research was conducted for 2 years starting from March 2016-April 2018. Four varieties of chrysanthemum in the form of callus/planlet were irradiated with gamma rays at various doses (0–45 Gy, with 5 Gy intervals). In the first year, plantlet multiplication was carried out to the MV<sub>4</sub> generation population. Then the plantlets were acclimatized*

L. Sanjaya, E. Fibrianty, R. Kurniati, Mawaddah, Hanudin, I. B. Raharjo, Musalamah, R. Indrasti, & J. B. M. Rawung

\*Balai Penelitian Tanaman Hias dan BPTP Sulawesi Utara, e-mail: fildzaku@yahoo.co.id

@ 2023 Penerbit BRIN

L. Sanjaya, E. Fibrianty, R. Kurniati, Mawaddah, Hanudin, I. B. Raharjo, Musalamah, R. Indrasti, & J. B. M. Rawung, "Evaluasi organ vegetatif dan generatif empat varietas krisan hasil mutasi sinar gamma," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 5, pp. 45–62, DOI: 10.55981/brin.690.c646, E-ISBN: 978-623-8372-02-7



and screened for rust disease. In the second year, vegetative propagation was carried out on populations that were resistant to rust disease screening results. Then the next generation population (MV<sub>2</sub>) is planted in the field until it blooms to be evaluated for vegetative and generative organs. The results obtained variations in the number of plantlet vigor of 4 varieties of chrysanthemum due to gamma rays. Callus explants had higher radiosensitivity than plantlet explants. Rust-resistant chrysanthemums were obtained, but were random in each variety and dose of Gamma rays. The three populations of chrysanthemum induced by Gamma rays on their plantlets are unique in the character of flower shape, ribbon flower shape, and degradation of flower color intensity. In the callus irradiated by gamma rays, there are variations in the shape of the flower disc and other organs on the surface of the flower disc.

**Keywords:** *Chrysanthemum*; *Gamma irradiation*; *Rust disease*; *Morphology character*.

## PENDAHULUAN

Krisan (*Dendranthema grandiflora*) merupakan tanaman hias yang sangat populer di dunia dan bernilai ekonomi tinggi. Bunga krisan digunakan oleh sebagian besar konsumen bunga di dalam negeri. Produksi bunga potong krisan di Indonesia pada tahun 2018 menduduki peringkat pertama dengan jumlah 488.176.610 tangkai. Produksi bunga potong krisan ini jauh di atas produksi bunga potong tanaman hias lainnya, antara lain mawar 202.065.050 tangkai, sedap malam 116.909.764 tangkai, anggrek 24.717.840 tangkai, gerbera 26.680.911 tangkai, anthurium 5.390.911 tangkai, anyelir 1.732.585 tangkai, dan gladiol 1.412.553 tangkai [1].

Bunga krisan berwarna kuning dan putih saat ini menempati peringkat teratas dan mendominasi pasar florikultura, diikuti warna hijau, merah, ungu, oranye, dan warna lainnya. Namun, kendala yang ditemui pada varietas krisan impor yang berwarna putih dan kuning tersebut agak rentan penyakit karat (*Puccinia horiana* Henn), di antaranya varietas “Fiji Putih” dan “Fiji Kuning”. Varietas-varietas tersebut masih bernilai komersial. Meskipun rentan penyakit karat, petani bunga krisan tetap membudidayakannya karena masih terbatasnya bunga krisan sejenis yang resisten terhadap penyakit karat. Selain itu, penyakit karat dapat ditanggulangi dengan fungisida. Padahal, penggunaan fungisida yang berlebihan berisiko tinggi bagi keselamatan manusia, lingkungan, ternak, dan mikroorganisme yang berguna.

Hibridisasi krisan secara konvensional yang dilakukan selama ini memerlukan waktu relatif lama dengan tingkat keberhasilan rendah karena terkendala oleh pengaruh *selfincompatibility*, khususnya untuk menghasilkan tipe bunga dekoratif dan resisten penyakit karat [2]. Pada persilangan antara varietas, terdapat kemungkinan hilangnya karakter-karakter yang penting sehingga nilai komersial turunannya makin menurun. Induksi mutasi digunakan untuk mempercepat perakitan varietas unggul krisan tahan penyakit karat dan disukai konsumen secara efektif karena teknik ini hanya mengubah satu atau beberapa karakter tanpa merusak karakteristik utama varietas asalnya [3].

Berdasarkan hasil penelitian Becker dkk., [4] diketahui bahwa terdapat paling sedikit 7 gen resisten (dan 7 gen avirulen) pada tanaman krisan yang mengendalikan ketahanan terhadap penyakit karat *Puccinia horiana* Henn. Hal ini menunjukkan



betapa rumitnya struktur patotipe ras tersebut, mengingat karakter ketahanan dapat patah oleh serangan strain baru patogen. Selain itu, industri florikultura yang sangat dinamis dan cenderung berubah sesuai dengan selera konsumen, perlu perakitan varietas krisan unggul yang tahan penyakit karat secara berkesinambungan melalui program pemuliaan yang tepat dan cepat. Ketergantungan terhadap varietas impor akan melemahkan daya saing industri florikultura nasional. Oleh karena itu, varietas yang dikomersialkan harus berasal dari hasil perakitan dalam negeri sendiri.

Tujuan penelitian ialah mendapatkan varietas krisan tahan penyakit karat dari varietas asalnya yang rentan melalui iradiasi sinar Gamma.

## METODE PERCOBAAN

Penelitian dilakukan di laboratorium dan rumah kaca IP2TP Cipanas, Balai Penelitian Tanaman Hias (1.100 mdpl). Penelitian berlangsung sejak bulan Maret 2016 hingga April 2018. Tahun pertama dilakukan subkultur dan multiplikasi planlet pascairadiasi hingga populasi generasi  $MV_4$ . Kemudian, planlet diaklimatisasi dan diskrining terhadap penyakit karat. Satu populasi generasi  $MV_5$  yang resisten penyakit karat hasil skrining dijadikan tanaman induk. Tahun kedua dilakukan perbanyakan secara vegetatif hingga populasi generasi lanjut ( $MV_7$ ). Kemudian, benihnya ditanam di lapang hingga berbunga untuk evaluasi organ vegetatif dan generatif pada empat populasi krisan generasi lanjut tersebut.

## Bahan dan Alat

Bahan tanaman yang digunakan adalah varietas krisan berbunga putih (Fiji Putih & Jimla) dan kuning (Fiji Kuning & Sunny) yang diperoleh dari kebun koleksi Plasma Nutfah Balithi. Planlet diinduksi dari eksplan nodus batang menggunakan media  $\frac{1}{2}MS$  tanpa hormon. Kalus dibentuk dari daun planlet yang dikultur dalam media induksi kalus  $\frac{1}{2}MS$  dengan komposisi hormon 1 ppm BA + 0.5 ppm 2,4-D + 0.5 ppm IAA. Iradiasi dilakukan pada planlet (Fiji putih, Fiji Kuning, dan Sunny) dengan kisaran dosis 15–45 Gy (interval 5 Gy). Iradiasi varietas Jimla dilakukan pada eksplan kalus dengan dosis 5, 10, dan 15Gy. Semua proses iradiasi menggunakan alat *gamma cell* tipe Irapasena di Laboratorium Patir ORTN, Pasar Jumat, Jakarta (50m dpl).

## Tata Kerja

Pasca-iradiasi dilakukan multiplikasi pada eksplan hingga populasi generasi  $MV_4$  di Laboratorium IP2TP Cipanas. Aklimatisasi dan skrining penyakit karat dilakukan pada populasi planlet generasi  $MV_4$ . Satu populasi yang resisten penyakit karat dijadikan tanaman induk ( $MV_5$ ). Dari tanaman induk, dihasilkan benih populasi generasi lanjut ( $MV_7$ ), dan ditanam di lapang untuk evaluasi organ vegetatif dan generatif.

Perlakuan skrining penyakit karat dilakukan pada semua populasi generasi  $MV_4$  di rumah lindung IP2TP Cipanas. Digunakan seleksi massa, yaitu penanaman terhadap



semua planlet untuk setiap populasi hasil mutasi sinar gamma. Di sekeliling area pertanaman planlet hasil mutasi, ditanami varietas rentan sebagai sumber inokulum.

Pengamatan insidensi penyakit karat dilakukan pada umur 2,5 bulan pascaaklimatisasi planlet. Tiga kriteria ketahanan terhadap penyakit karat, yaitu resisten bila nilai IP (intensitas karat daun) < 10%, agak resisten bila nilai IP > 10% tetapi kurang dari 20%, dan rentan bila nilai IP > 20% [5]. Intensitas penyakit karat dihitung dengan rumus.

$$IP = \frac{\Sigma(v \times n)}{(Z \times N)} \times 100\%$$

di mana:

IP = intensitas karat daun (%);

v = skala kerusakan tiap kategori serangan;

n = jumlah tanaman tiap kategori serangan;

Z = skala tertinggi dari kategori serangan;

N = jumlah tanaman sampel yang diamati.

Skala kerusakan pada tiap kategori serangan ditentukan sebagai berikut.

**Tabel 1.** Kriteria Ketahanan Terhadap Penyakit Karat Pada Berbagai Skala

Skala	Kriteria
0	Tanaman tidak terinfeksi <i>P. horiana</i> Henn.
1	Kerusakan sangat ringan. Penyakit karat terbatas pada daun-daun bawah dengan kerusakan tidak lebih dari 5% luas permukaan daun.
2	Kerusakan ringan. Penyakit karat terbatas pada daun-daun bawah dengan kerusakan antara 6–10% luas permukaan daun.
3	Kerusakan sedang. Penyakit karat dijumpai pada daun-daun bawah dan tengah dengan kerusakan antara 11–20% luas permukaan daun.
4	Kerusakan berat. Penyakit karat dijumpai pada daun-daun bawah, tengah, dan atas dengan kerusakan antara 21–40% luas permukaan daun.
5	Kerusakan sangat berat. Penyakit karat dijumpai pada daun-daun bawah, tengah, dan atas dengan kerusakan antara 41–80% luas permukaan daun.

Evaluasi organ vegetatif dan generatif dilakukan pada 4 populasi krisan hasil mutasi pada generasi MV<sub>1</sub>, yaitu FP-15 Gy, FK-20 Gy, SN-45 Gy, dan JL-5 Gy. Digunakan rancangan bersekat *augmented design*, yaitu penanaman terhadap semua benih (stek berakar) yang tersedia pada setiap populasi. Lahan pertanaman diolah dengan cangkul, bongkahan tanah yang keras digemburkan, lahan diratakan, lalu direndam dengan air selama 7–10 hari. Bedengan dibuat dengan lebar 1 m, dan panjang disesuaikan dengan kondisi rumah plastik. Pada lokasi pertanaman tersebut, terdapat 6 hamparan bedengan dengan jarak antara bedengan sekitar 50 cm. Setelah bedengan dibuat maka di atas bedengan ditaburkan pupuk kandang/bokashi dengan



dosis 20–30 ton/ha. Pupuk dasar diaduk secara merata di atas bedengan. Sehari sebelum ditanam ditaburkan pupuk anorganik berupa NPK (15-15-15) sebanyak 1 ton/ha. Selanjutnya, dihindarkan jaring penegak yang sekaligus berfungsi sebagai ukuran jarak tanam, yaitu 11,25cm x 11,25cm atau populasi 64 tanaman/m<sup>2</sup>. Selama 4–5 minggu awal pertumbuhan, pertanaman diberi sinar lampu tambahan sebagai *nite break*. Penyinaran tambahan dilakukan selama 2–4 jam setiap malam. Selanjutnya penyinaran lampu dihentikan dan dianggap sebagai akhir dari periode vegetatif. Sejak penyinaran lampu sebagai *nite break* dihentikan hingga tanaman mulai berbunga dinyatakan sebagai *respon time*. Pengukuran terhadap bunga dilakukan saat mekar optimal. Observasi keunikan dilakukan pada individu-individu tanaman berdasarkan daftar karakter yang tercantum dalam pedoman uji BUSS untuk krisan dengan adendum baru [6],[7].

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil penelitian

Perlakuan iradiasi sinar gamma pada planlet dilakukan pada 4 varietas krisan. Hasil penelitian tahun pertama, yaitu jumlah planlet pascairadiasi yang bertahan hidup (vigor), serta nilai intensitas dan kategori ketahanan penyakit populasi krisan hasil mutasi. Hasil penelitian tahun kedua ialah evaluasi organ vegetatif dan generatif pada populasi krisan generasi lanjut (MV<sub>7</sub>) hasil skrining penyakit karat. Secara umum, pertanaman tumbuh baik dengan daun berwarna hijau dan vigor. Tidak ada gejala klorosis akibat kekurangan hara ataupun serangan penyakit. Selama pertumbuhannya, pertanaman tidak disemprot dengan fungisida, namun tetap dilakukan pengendalian terhadap hama. Hama yang menyerang pertanaman krisan, yaitu kutu daun (*aphid*), ulat pengorok daun (*Liriomyza*), dan tungau (*thrips*). Pemeliharaan selanjutnya dilakukan sebagaimana lazimnya untuk budi daya dan produksi bunga krisan potong.

### Jumlah Planlet Vigor Pascairadiasi

Dua bulan pascairadiasi, diamati persentase planlet/kalus yang berwarna hijau dan masih vigor. Terdapat variasi planlet/kalus yang vigor pada keempat varietas krisan. Planlet varietas Fiji Putih yang vigor adalah perlakuan dosis sinar gamma 15, 20, 25, dan 30 Gy. Planlet Fiji Kuning masih vigor dari dosis 15, 20, 25, 30, hingga perlakuan dosis 35 Gy. Sementara itu, semua perlakuan dosis sinar gamma (15, 20, 25, 30, 35, 40, dan 45 Gy) pada planlet varietas Sunny masih berwarna hijau dan vigor. Sebaliknya, pada kalus varietas Jimla, hanya perlakuan dosis 5 Gy yang tampak masih vigor dan berwarna hijau kekuningan. Keragaan kalus varietas Jimla pada perlakuan dosis 10 dan 15 Gy mulai menguning dan tunas tidak bertumbuh. Berdasarkan fenomena ini, dapat dinyatakan bahwa setiap varietas krisan memiliki radiosensitivitas yang tidak sama, meskipun status eksplan yang diiradiasi tidak berbeda. Jika dibandingkan eksplan planlet maka eksplan kalus memiliki radiosens-





sitivitas yang lebih tinggi. Dengan kata lain, dosis sinar gamma yang bersifat *lethal* pada eksplan planlet lebih tinggi daripada eksplan kalus. Hasil yang sama juga terjadi pada eksplan krisan varietas Puspita Nusantara yang diradiasi sinar gamma. Nilai  $LD_{50}$  pada kalus dan planlet P. Nusantara yang diradiasi sinar gamma, yaitu 7,5–8Gy dan 30–32Gy [8].

Terhadap eksplan hasil iradiasi sinar gamma yang vigor dan masih hidup segera dilakukan subkultur dan multiplikasi hingga populasi generasi  $MV_4$ . Jumlah botol kultur dan jumlah planlet populasi generasi  $MV_4$  dari setiap varietas krisan dapat dilihat dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Jumlah Botol Kultur Berisi Planlet Generasi  $MV_4$  dari Setiap Varietas

Varietas (dosis sinar gamma)	Jumlah botol kultur generasi $MV_4$	Jumlah planlet generasi $MV_4$
Fiji kuning (15, 20, 25, 30, dan 35 Gy)	955	4.820
Fiji Putih (15, 20, 25, dan 30 Gy)	428	2.340
Sunny (15, 20, 25, 30, 35, 40, dan 45 Gy)	479	2.950
Jimla (5 Gy)	53	316

### Intensitas dan Kategori Ketahanan Penyakit Karat

Selanjutnya, dilakukan aklimatisasi dari setiap perlakuan dosis sinar gamma. Botol kultur berisi planlet generasi  $MV_4$  dikeluarkan dari laboratorium dan ditempatkan di rumah lindung selama 3 hari sebagai perlakuan “hardening dalam proses aklimatisasi. Keragaan tanaman selama proses aklimatisasi di rumah plastik IP2TP Cipanas dapat dilihat pada Gambar 1. Postur tanaman saat aklimatisasi terlihat relatif kecil dengan daun-daun yang berukuran 1–2cm (Gambar 1a). Gambar 1b menunjukkan keragaan tanaman pada umur 1 bulan pascaaklimatisasi dengan daun-daun yang agak besar berukuran 3–4 cm. Pada fase pertumbuhan ini, ditanam pula stek berakar dari varietas krisan rentan sebagai sumber inokulum. Selanjutnya, pada umur tanaman 2,5 bulan pascaaklimatisasi dengan ukuran daun sekitar 5–6 cm, dilakukan pengamatan jumlah pustule karat pada setiap helaian daun (Gambar 1c). Hasil penilaian intensitas serangan dan kategori ketahanan penyakit karat pada planlet teraklimatisasi berbagai perlakuan varietas dan dosis sinar gamma disajikan dalam Tabel 2.



Keterangan: (a) postur tanaman saat aklimatisasi dengan daun berukuran 1–2 cm; (b) keragaan tanaman umur 1 bulan dengan daun berukuran 3–4 cm; (c) jumlah pustule karat pada setiap helaian daun

**Gambar 1.** Keragaan pertanaman krisan fase aklimatisasi dan skrining penyakit karat di rumah lindung IP2TP Cipanas.

**Tabel 2.** Intensitas serangan dan kategori ketahanan penyakit karat pada planlet teraklimatisasi pada berbagai varietas dan dosis sinar gamma.

Varietas & dosis sinar gamma (Gy)	Intensitas penyakit karat (%)	Ketahanan penyakit karat ( <i>Puccinia horiana</i> ) (kategori)
FP-15	11	M
FP-25	17	M
FP-30	14	M
FP-0	22	S
JM-5	5	R
JM-0	20	S
FK-15	5	R
FK-20	9	R
FK-25	18	M
FK-35	19	M
FK-0	22	S
SN-15	12	M
SN-20	15	M
SN-25	24	S
SN-30	40	S
SN-35	42	S
SN-40	39	S
SN-45	9	R
SN-0	66	S

Keterangan: FP = Fiji Putih; JM = Jimla; FK = Fiji Kuning; SN = Sunny; R = resisten; M = agak resisten; S = rentan.

Dari Tabel 2 tersebut, terdapat perbedaan tingkat serangan penyakit karat pada perlakuan varietas dan dosis sinar gamma. Secara umum, populasi tanaman hasil mutasi memiliki intensitas serangan penyakit karat yang lebih rendah dibandingkan tanaman kontrol. Hal ini menunjukkan adanya perbaikan karakter ketahanan penyakit karat pada tanaman krisan yang diiradiasi sinar gamma. Meskipun demikian, perbaikan karakter ketahanan penyakit karat pada varietas krisan bersifat acak untuk setiap varietas dan dosis sinar gamma. Oleh karena itu, untuk seleksi ketahanan



penyakit karat diperlukan perlakuan berbagai tingkat dosis sinar gamma pada eksplan krisan. Pada penelitian ini, penilaian pustul karat dilakukan pada populasi planlet teraklimatisasi (generasi  $MV_4$ ). Diharapkan sel-sel yang membangun tanaman utuh pada populasi krisan generasi  $MV_4$  tersebut telah solid. Selain itu, penilaian pustul karat pada populasi planlet generasi  $MV_4$  saat aklimatisasi dapat mempersingkat waktu skrining dan juga mengurangi jumlah benih terseleksi yang akan dijadikan tanaman induk.

Pada varietas Fiji Putih, karakter ketahanan penyakit karat menjadi lebih baik pada perlakuan semua dosis sinar gamma (15, 25, dan 30 Gy) dibandingkan kontrol. Varietas asalnya yang semula rentan menjadi agak resisten pada populasi tanaman Fiji Putih hasil mutasi yang diberi perlakuan sinar gamma dosis 15, 25, dan 30 Gy. Varietas Fiji kuning yang mendapat perlakuan sinar gamma pada dosis 15 dan 20 Gy menjadi resisten dan yang mendapat perlakuan dosis sinar gamma 25 dan 35 menjadi agak resisten. Perbaikan terhadap karakter ketahanan penyakit karat sangat nyata pada varietas Fiji Kuning ini yang semula rentan. Bahkan, beberapa individu dalam populasi tanaman hasil mutasi dapat dikatakan imun karena tidak ditemukan satu pustule karat pun pada daun-daunnya. Pada varietas Sunny, populasi tanaman krisan pada perlakuan dosis sinar gamma 45 Gy menjadi resisten, dan pada dosis 15 dan 20 Gy menjadi agak resisten. Sementara itu, pada perlakuan dosis sinar gamma lainnya (25, 30, 35, dan 40 Gy) tetap rentan, seperti varietas asalnya (varietas Sunny). Perbaikan karakter ketahanan penyakit karat pada krisan varietas Jimla hasil mutasi sangat jelas terlihat. Populasi tanaman mutan hasil iradiasi kalus varietas Jimla dengan dosis 5 Gy menjadi resisten dibandingkan tanaman asalnya yang rentan.

Penyakit karat merupakan patogen biotrof yang tumbuh pada jaringan tanaman dan menyerap nutrisi dari sel inang [9]. Pada bagian permukaan daun krisan yang terserang karat akan terlihat pustul berwarna gelap yang berisi teliospora. Pada kondisi lembab akan dihasilkan basidiospora yang dapat tersebar oleh angin/percikan hujan dan menginfeksi daun-daun dengan gejala pustul karat berwarna putih. Secara umum, terdapat dua kelompok penyakit karat pada krisan, yaitu karat putih yang disebabkan oleh *Puccinia horiana* Henn dan karat cokelat yang ditimbulkan oleh *P. chrysanthemi*. Serangan *P. horiana* lebih berbahaya karena merusak jaringan dan kematian secara permanen [4]. Upaya perlu dilakukan untuk mendapatkan tanaman krisan yang tahan penyakit karat karena kerusakan pada daun dan batang akan menurunkan kualitas dan hasil bunga. Petani mengendalikan penyakit karat pada krisan dengan menggunakan pestisida. Hal ini sangat berbahaya karena penggunaan pestisida berlebihan dapat mencemari lingkungan dan berisiko terhadap keselamatan manusia, ternak, dan organisme liar yang berguna.

Setiap tanaman memiliki sistem ketahanan dasar terhadap serangan penyakit berupa barrier fisik (dinding sel, epidermis, kutikula wax, dan suberin) dan ketahanan terimbas (*induced resistance*). Barrier fisik pada permukaan epidermis termasuk ukuran, lokasi, dan bentuk stomata. Pada tanaman citrus yang resisten *X. campestris*



memiliki ukuran stomata yang kecil. Tanaman gandum yang tahan penyakit karat terkait dengan proses membuka dan menutup stomata. Ketahanan terimbas adalah aktivitas tanaman sehubungan dengan mekanisme pertahanan terhadap agensia yang berbahaya [10]. Pengimbasan ketahanan dalam tanaman didasarkan atas pengaktifan potensi genetik ketahanan yang dapat bersifat lokal atau sistemik. Adanya ketahanan terimbas mengakibatkan berkurangnya gejala penyakit dan terjadinya perubahan faktor-faktor biokimia dalam tanaman, seperti produksi senyawa kimia beracun, enzim pendegradasi patogen, peluruhan sel yang dekat dengan daerah terinfeksi, dan pembentukan papilae [11]. Beberapa genotipe krisan yang tahan penyakit karat mungkin terkait dengan sistem pertahanan dasar maupun ketahanan terimbas [12].

Salah satu senyawa kimia yang bertanggung jawab pada pertahanan tanaman adalah fenol. Fenol dihasilkan dari lintasan asam sikimat dan asam malonat dalam tanaman. Beberapa senyawa yang termasuk fenol, yaitu flavonoid, antosianin, fitoaleksin, tanin, lignin, dan furanokumarin [13]. Kandungan fenol dalam tanaman stroberi meningkat pada tanaman yang tahan terhadap racun *Rhizoctonia fragariae*, dan tunas yang terseleksi juga lebih tahan terhadap *Botrytis cinerea* [14][15]. Pada tomat liar yang tahan hama dan penyakit, ditemukan kandungan fenol yang lebih tinggi daripada tomat budi daya. Tanaman anggur (*Vitis* sp.) yang tahan terhadap embun tepung (*dowmy mildew*) memiliki kandungan total fenol yang lebih tinggi ( $\mu\text{g}/100 \text{ mL}$  gallic acid) daripada tanaman yang peka [16]. Kandungan total fenol dan aktivitas peroxidase berkorelasi dengan ketahanan tanaman kentang terhadap *Alternaria solani*. Tanaman kentang yang tahan memiliki kandungan total fenol yang lebih banyak dan aktivitas peroksidase yang lebih tinggi [17]. Fitoaleksin adalah isoflavonoid dengan sifat antibiotik dan antifungi yang dihasilkan sebagai respons pada serangan patogen. Molekul beracun ini merusak metabolisme patogen atau struktur seluler patogen spesifik, misalnya, medicarpin dihasilkan alfalfa, rishitin dihasilkan tomat dan kentang, camalexin dihasilkan *arabidopsis thaliana*. Nampaknya, kandungan fenol tanaman merupakan salah satu parameter ketahanan tanaman dan dapat digunakan untuk menyeleksi ketahanan. Ketahanan merupakan karakter kuantitatif maka dengan seleksi akan lebih banyak diperoleh varietas-varietas yang tahan terhadap penyakit [18],[19]. Hasil seleksi *in vitro* pada galur-galur mutan krisan menunjukkan perbaikan pada karakter ketahanan terhadap penyakit *Septoria obesa* Syd. [20].

Mutagenesis fisik dengan sinar gamma menyebabkan perubahan secara acak inti DNA atau organel sitoplasma yang mengakibatkan mutasi gen, kromosom, atau genom [21]. Gen yang bermutasi dapat mengubah resistensi dasar menjadi resistensi terimbas oleh patogen spesifik melalui sintesis racun dalam tanaman. Dengan mutasi sinar gamma, peluang tanaman krisan memiliki fenomena hipersensitif sangat besar karena penyakit karat termasuk patogen biotrofik yang hanya dapat hidup pada sel hidup [21]. Beberapa tanaman komersial yang tahan penyakit telah banyak dihasilkan melalui induksi sinar gamma, di antaranya tebu yang resisten terhadap penyakit karat,

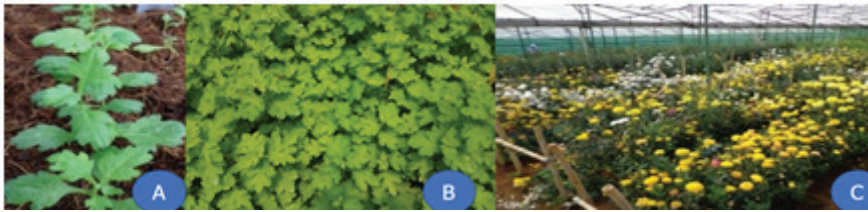


stroberi yang dapat hidup di bawah tekanan *Phytophthora cactorum*, gandum tahan penyakit karat kuning pada daun dan batang [22],[23]. Stek anyelir yang diiradiasi menggunakan sinar gamma lebih tahan terhadap *Fusarium oxysporum* f sp. *dianthii* telah dilaporkan oleh Schum & Preil [24].

Induksi mutagenesis merupakan metode yang baku untuk perbaikan tanaman, melalui pengubahan gen tanaman dengan memberi perlakuan pada biji atau tanaman yang diperbanyak vegetatif. Di berbagai negara maju, teknik mutasi telah digunakan secara berkelanjutan untuk menghasilkan mutan unggul baru dari berbagai tanaman hias yang memiliki genom kompleks dengan karakter yang sesuai preferensi pasar [25]. Pemuliaan mutasi telah berkontribusi besar terhadap perbaikan tanaman di dunia [26],[27]. Dalam database IAEA, dilaporkan lebih dari 3.000 varietas mutan telah dilepas di dunia, di antaranya mutan-mutan tanaman hias. Penggunaan teknik nuklir lebih murah dan cepat, serta lebih ideal dibandingkan teknik pemuliaan lainnya [28],[29].

### Evaluasi Organ Vegetatif dan Generatif

Populasi tanaman yang dievaluasi organ vegetatif dan generatif merupakan populasi generasi lanjut ( $MV_7$ ). Populasi ini berasal dari perbanyakan tanaman induk (*mother stock*) populasi generasi  $MV_5$  hasil skrining penyakit karat. Empat populasi yang ditanam di lapang hingga berbunga adalah FP-15 Gy, FK-20 Gy, SN-45 Gy, dan JL-5 Gy. Bagian pucuk setiap tanaman ( $MV_4$ ) yang resisten penyakit karat diambil dan diakarkan, kemudian dijadikan tanaman induk ( $MV_3$ ). Pada tanaman induk yang telah rimbun dengan panjang tunas lateral telah mencapai sekitar 8–10 cm, tunas pucuknya dipanen. Tunas pucuk sepanjang 6–8 cm dipotong dari setiap tunas lateral pertanaman krisan induk. Stek pucuk kemudian diakarkan pada baki berisi media kuntan dan *cocopeat*. Bagian pangkal stek pucuk diberi hormon perangsang akar. Setelah 12–14 hari, stek pucuk akan berakar dan siap ditanam di lapang. Benih berupa stek berakar ini (umur 18–20 hari setelah stek pucuk diakarkan) merupakan populasi generasi  $MV_7$  dan kemungkinan tidak banyak terjadi efek khimera pada organ vegetatif dan generatif setiap individu. Keragaan benih teraklimatisasi hasil skrining penyakit karat ( $MV_4$ ) dengan 4–5 helai daun sejati dan dijadikan tanaman induk dapat dilihat dalam Gambar 2a. Gambar 2b memperlihatkan keragaan pertanaman induk untuk produksi benih generasi lanjut, dan populasi pertanaman krisan generasi  $MV_7$  fase generatif untuk evaluasi organ vegetatif dan generatif disajikan dalam Gambar 2c.



Keterangan: Keragaan benih teraklimatisasi hasil skrining penyakit karat dengan 4–5 helai daun sejati (a); keragaan pertanaman induk untuk produksi benih generasi lanjut (b), dan populasi pertanaman krisan generasi MV<sub>7</sub> untuk evaluasi organ vegetatif dan generatif (c).

**Gambar 2.** Evaluasi Organ Vegetatif dan Generatif

Hasil pengamatan organ vegetatif dan generatif pada saat tanaman berbunga optimal dapat dilihat dalam Tabel 3 dan 4. Nilai kuantitatif organ vegetatif dan generatif populasi hasil mutasi keempat varietas krisan menunjukkan rentang nilai yang lebih lebar dibandingkan populasi tanaman kontrol. Dengan kata lain, populasi krisan hasil mutasi cenderung lebih heterogen dibandingkan populasi tanaman kontrol yang homogen. Keragaman yang lebih besar pada populasi krisan hasil mutasi memang diharapkan dalam penelitian ini. Proses seleksi organ vegetatif dan generatif pada individu yang diinginkan dapat dilakukan pada populasi ini. Hal ini dikarenakan setiap individu dalam populasi krisan hasil mutasi tersebut diduga telah solid. Jumlah karakter yang berbeda dari setiap individu dalam populasi krisan hasil mutasi tidak diuraikan di sini. Meskipun demikian, beberapa organ generatif yang menunjukkan perbedaan pada setiap individu dapat dilihat dalam Gambar 3–5.

**Tabel 3.** Data hasil pengamatan organ vegetatif empat populasi krisan hasil mutasi sinar gamma dan tanaman kontrol

Organ Vegetatif	FP (15 Gy)	FP (0 Gy)	FK (20 Gy)	FK (0 Gy)	JL (5 Gy)	JL (0 Gy)	SN (45 Gy)	SN (0 Gy)
Panjang daun (cm)	11–15	12–13	10–15	11–13	9–14	10–12	9–14	10–12
Lebar daun (cm)	6–9	7–8	4,5–9,0	7–8	5,5–8,5	6–7	5–8,5	6–7
Panjang ruas (cm)	1,2–2,0	1,3–1,5	1,5–2,5	1,7–2,0	2,0–3,5	2,5–3,0	1,2–3,8	1,9–2,5
Jumlah ruas (ruas)	33–42	36–40	30–44	32–40	34–46	37–42	27–39	30–33
Diameter batang (cm)	0,6–1,3	0,7–0,9	0,6–1,2	0,7–0,9	0,5–1,1	0,6–0,8	0,5–1,1	0,6–0,8
Warna daun	Yellow Green 147A	Green 137A	Yellow Green 147A	Green 137A	Yellow Green 147A	Green 137A	Yellow Green 147A	Green 137A

Keterangan: FP (15 Gy): populasi krisan Fiji Putih dosis 15Gy; FK (20 Gy): populasi krisan Fiji Kuning dosis 20Gy; JL (5 Gy): populasi krisan Jimla dosis 5Gy; SN (45 Gy): populasi krisan Sunny dosis 45Gy. FP (0 Gy): Tanaman Fiji Putih Kontrol; FK (0 Gy): Tanaman Fiji Kuning Kontrol; JM (0 Gy): Tanaman Jimla Kontrol; SN (0 Gy): Tanaman Sunny Kontrol.



**Tabel 4.** Data hasil pengamatan organ generatif empat populasi krisan hasil mutasi sinar gamma dan tanaman kontrol

Organ Generatif	FP (15Gy)	FP (0 Gy)	FK (20 Gy)	FK (0 Gy)	JL (5 Gy)	JL (0 Gy)	SN (45 Gy)	SN (0 Gy)
Diameter bunga (cm)	9–15	9–11	9–15	9–12	9–13	9–11	8–13,5	9–11
Panjang tangkai bunga (cm)	2–9	4–6	2–9	4–6	3–9	4–6	3–9	4–6
Jumlah bunga pita (helai)	210–470	300–350	230–485	300–340	180–330	220–280	120–290	190–210
Jumlah bunga tabung (butir)	5–190	2–25	9–170	0–23	0–50	0–16	10–205	12–35
Diameter bunga tabung (cm)	0–2,0	0–0,3	0,2–1,8	0–0,5	0–0,7	0–0,3	0,2–2,1	0,2–0,5

Keterangan: FP (15Gy): populasi krisan Fiji Putih dosis 15Gy; FK (20Gy): populasi krisan Fiji Kuning dosis 20Gy; JL (5Gy): populasi krisan Jimla dosis 5Gy; SN (45Gy): populasi krisan Sunny dosis 45Gy. FP (0Gy): Tanaman Fiji Putih Kontrol; FK (0Gy): Tanaman Fiji Kuning Kontrol; JM (0Gy): Tanaman Jimla Kontrol; SN (0Gy): Tanaman Sunny Kontrol.

Dalam Gambar 3, terlihat adanya variasi bentuk kuntum bunga pada populasi krisan hasil mutasi dari varietas Fiji Putih (baris atas), varietas Fiji Kuning (baris tengah), dan varietas Sunny (baris bawah). Semua varietas asal Fiji Putih (Gambar 3E), Fiji Kuning (Gambar 3J) dan Sunny (Gambar 3O) memiliki bentuk kuntum bunga dekoratif. Dikatakan sebagai bentuk kuntum bunga dekoratif karena baris terluar maupun baris terdalam kuntum dipenuhi oleh bunga pita (*ray floret*). Kumpulan bunga tabung (*disc floret*) tidak terlihat karena tertutupi oleh bunga pita. Pada populasi krisan hasil mutasi, terdapat bentuk kuntum bunga semidekoratif di samping bentuk dekoratif. Pada kuntum bunga yang berbentuk semidekoratif, kumpulan bunga tabung (*disc floret*) terlihat jelas di pusat kuntum dan tidak tertutupi oleh bunga pita. Bentuk kuntum bunga semidekoratif merupakan variasi baru dari semula yang bentuknya dekoratif. Bentuk kuntum bunga semidekoratif pada mutan Fiji Putih terlihat dalam Gambar 3C. Sementara itu, mutan varietas Fiji Kuning terdapat pada Gambar 3G, walaupun bunga tabungnya kurang terlihat jelas karena pengambilan fotonya dari arah depan. Pada populasi krisan hasil mutasi varietas Sunny, juga terdapat bentuk kuntum ganda (Gambar 3M), selain semidekoratif (Gambar 3L) dan dekoratif (Gambar 3K dan 3N). Bentuk kuntum ganda berbeda dengan bentuk kuntum semidekoratif berdasarkan jumlah baris bunga pita. Pada bentuk kuntum bunga ganda, terdapat sekitar 5–6 baris bunga pita. Sementara itu, pada bentuk kuntum bunga semidekoratif terdapat lebih dari 6 baris bunga pita.



**Gambar 3.** Keragaan kuntum bunga pada populasi krisan hasil mutasi varietas Fiji Putih (baris teratas), varietas Fiji Kuning (baris tengah), dan varietas sunny (baris terbawah).

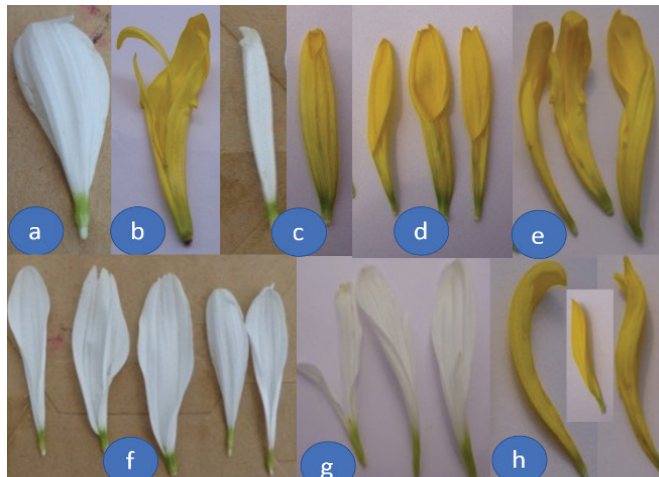
Varietas asal Fiji Kuning memiliki warna bunga kuning muda (Yellow 5A, Gambar 3J), sedangkan populasi krisan hasil mutasi memiliki warna kuning yang lebih tua (Yellow 7A, Gambar 3H; Yellow 9A, Gambar 3F dan 3G; dan Yellow 12A, Gambar 3I). Sebaliknya, pada populasi krisan hasil mutasi varietas Sunny terdapat warna kuning sedang (Yellow 7A, Gambar 3M) dibandingkan warna kuning varietas asal yang lebih tua (Yellow 12A, Gambar 3O). Warna kuning merupakan warna akhir dari peristiwa mutasi dan tidak mungkin berubah lagi menjadi warna lain [24]. Hasil penelitian ini menunjukkan, meskipun tidak terdapat perubahan warna kuning menjadi warna lain, namun telah terjadi perubahan pada intensitas warna kuningnya. Dari semula berwarna kuning muda, berubah menjadi kuning tua dan berlaku sebaliknya. Intensitas warna kuning yang lebih lemah atau lebih kuat mungkin terkait dengan jumlah antosianin, Xanthin yang terkandung dalam vakuola sel petala bunga krisan hasil mutasi [24].

Bentuk kuntum bunga dekoratif terdapat pada populasi krisan hasil mutasi Fiji Putih (Gambar 3A, 3B, dan 3D). Meskipun, Fiji Putih memiliki bentuk kuntum bunga dalam kategori yang sama dengan varietas asalnya (Gambar 3E), namun keragaan bunganya berbeda. Perbedaan ini dikarenakan ketidaksamaan bentuk organ petala yang tersusun pada masing-masing kuntum bunga. Organ petala yang menyusun kuntum bunga krisan varietas asal Fiji Putih (Gambar 3E) berbentuk pita agak melekok ke dalam dan ujungnya agak meruncing. Sementara itu, organ petala yang menyusun kuntum bunga krisan populasi Fiji Putih hasil mutasi berbentuk pita yang melebar dan ujungnya membulat (Gambar 3A). Pada krisan mutan Fiji Putih lainnya, terlihat organ petala menyerupai pita agak melekok keluar dengan bentuk ujungnya membulat (Gambar 3B) atau meruncing (Gambar 3D). Selain perbedaan bentuk petala, juga terdapat perbedaan warna bunga pita baris terdalam. Bunga pita baris terdalam pada varietas asal Fiji Putih berwarna kuning (Gambar 3E). Sementara

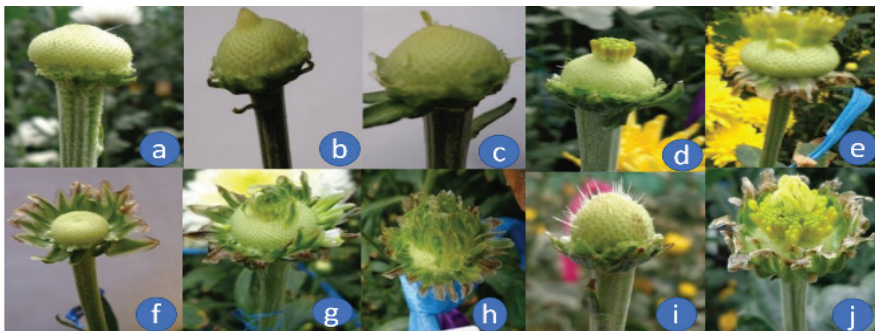


itu, baris terdalam bunga pita pada populasi krisan Fiji Putih hasil mutasi berwarna hijau (Gambar 3B) atau hijau kekuningan (Gambar 3D). Perubahan warna kuning menjadi hijau dalam penelitian ini sejalan dengan pernyataan Maluszynski [26], dan kerap terjadi pada populasi krisan hasil mutasi.

Fenomena perbedaan bentuk bunga pita pada kuntum bunga krisan mutan Fiji Putih juga terjadi pada populasi krisan hasil mutasi varietas Fiji Kuning dan Sunny. Bahkan, pada populasi krisan hasil mutasi varietas Sunny, selain bentuk bunga pita yang membentang (tanpa tabung atau bertabung pendek), juga terdapat bunga pita yang bertabung sedang (Gambar 4D) dan panjang (Gambar 4C). Berbagai variasi bentuk bunga pita pada populasi krisan hasil mutasi varietas Fiji Putih, Fiji Kuning, dan Sunny dapat dilihat dalam Gambar 4.



**Gambar 4.** Keragaan Bunga Pita pada Populasi Krisan Hasil Mutasi



**Gambar 5.** Keragaan Cakram Bunga pada Populasi Krisan Hasil Mutasi

Cakram bunga varietas Fiji Putih, Fiji Kuning, Sunny, dan Jimla berbentuk kubah (Gambar 5A) dengan sedikit kumpulan bunga tabung di pusat cakram (Gambar 5D). Iradiasi sinar gamma mengakibatkan perubahan bentuk cakram, di antaranya kubah berputing (Gambar 5B), kerucut (Gambar 5C), dekok (Gambar 5F), dan



kubah tinggi (Gambar 5I). Selain itu, ditemukan pula cakram bunga krisan hasil mutasi yang mengandung satu bunga tabung (Gambar 5C) atau banyak bunga tabung (Gambar 5E). Kadang ditemukan sedikit kelopak bunga (Gambar 5G) atau banyak kelopak bunga (Gambar 5H) di atas cakram. Selain kelopak bunga, sering pula ditemukan bulu (Gambar 5I) di atas cakram bunga krisan hasil mutasi. Variasi bentuk cakram lebih banyak ditemukan pada populasi krisan varietas Jimla hasil mutasi sinar gamma daripada varietas lainnya. Hal ini mungkin terkait dengan asal eksplan yang diiradiasi. Pada varietas Jimla, eksplan yang diiradiasi berasal dari kalus, sedangkan pada ketiga varietas lainnya berasal dari planlet. Meskipun, tingkat dosis sinar gamma pada eksplan kalus hanya 5 Gy, namun sudah dapat mengubah karakter bentuk cakram. Hal ini memperjelas hasil penelitian sebelumnya bahwa radiosensitivitas eksplan asal kalus lebih tinggi dibandingkan eksplan asal planlet [30].

Induksi mutasi dengan sinar gamma menyebabkan perubahan genetik pada tanaman, di antaranya hasil panen lebih tinggi, warna bunga lebih beragam, lebih tahan penyakit, dan umur panen lebih genjah [31],[32]. Apabila individu mutan belum solid, yaitu ditemukan efek khimera pada petal bunga, organ daun, dan pedisel maka organ tersebut masih mungkin diregenerasikan melalui teknologi kultur jaringan. Oleh karena itu, keragaman genetik untuk perbaikan karakter dapat lebih ditingkatkan melalui kombinasi teknik kultur jaringan dan induksi mutasi [33],[34],[35]. Sementara itu, perbanyakkan secara konvensional pada organ-organ yang mengalami khimera tersebut tidak mungkin dapat dilakukan [35],[37],[38].

Semua individu tanaman mutan yang dihasilkan dalam penelitian ini bersifat unik. Namun, untuk dapat didaftarkan, harus memenuhi unsur BUSS, di antaranya seragam dan stabil. Meskipun tanaman telah “solid”, yaitu sel-sel yang membentuk tanaman mutan semuanya tidak tercampur lagi oleh sel tanaman asal, namun perlu diuji kestabilan karakter yang menjadi keunikannya. Oleh karena itu, individu tanaman yang potensial perlu diperbanyak terbatas untuk pengujian BUSS (Baru, Unik, Seragam, dan Stabil).

## KESIMPULAN

1. Perbaikan karakter ketahanan penyakit karat pada krisan dapat dilakukan melalui iradiasi sinar gamma. Namun, perubahan gen rentan menjadi gen resisten pada tanaman mutan tidak dipengaruhi oleh dosis sinar gamma dan terjadi secara acak pada setiap varietas.
2. Karakter unik terhadap morfologi bunga dan bagian-bagiannya terjadi pada 4 varietas krisan hasil mutasi.
3. Jika eksplan planlet yang diiradiasi, perubahan terjadi pada bentuk kuntum bunga, bentuk bunga pita, dan degradasi intensitas warna bunga
4. Jika eksplan kalus yang diiradiasi maka perubahan terjadi pada bentuk cakram bunga dan variasi organ lainnya pada permukaan cakram bunga



## DAFTAR PUSTAKA

- [01] Badan Pusat Statistik, "Statistik tanaman hias," Jakarta, 2019 [Online]. Tersedia: <https://www.bps.go.id/publication/2019/10/07/2f13c3a740d6d5b9f56e088b/statistik-tanaman-hias-indonesia-2018.html>
- [02] F. A. Langton dan K. E. Cockshull, "An Ideotype of Chrysanthemum (*C. Morifolium* Ramat.), dalam *Acta Horticulturae: 63.I International Symposium on Floriculture Plant Breeding and Genetics*, 2009.
- [03] S. Nagatomi, E. Miyahira, dan K. Degi, "Induction of flower mutation compared with chronic and acute gamma irradiation using tissue culture techniques in Chrysanthemum morifolium RAMAT," (*Ed. A Cadic.*) dalam *Proc. 19th Int' I Symposium improvement Ornamental Plants, Acta Hort*, 2000, doi: 10.17660/ActaHortic.2000.508.8.
- [04] M. De Backer dkk., "Identification and characterization of pathotypes in *Puccinia horiana*, a rust pathogen of Chrysanthemum X morifolium," *Eur. J. Plant Pathol*, vol. 130, pp. 325–338, Mar. 2011, doi: 10.1007/s10658-011-9756-8.
- [05] B. Marwoto dkk., "Pengendalian penyakit karat (*Puccinia horiana*) secara terpadu pada pembibitan krisan (*Dendranthema grandiflora*)," Kumpulan Laporan Hasil Penelitian Tanaman Hias. Balai Penelitian Tanaman Hias, Jakarta, pp. 111–122, 1999.
- [06] PVTTP, "Panduan umum pengujian kebaruan, keunikan, keseragaman dan kestabilan," Departemen Pertanian, Pusat Perlindungan varietas Tanaman, Dokumen PVT/PP/1/1, 21 Januari 2006, 34 halaman.
- [07] PVTTP, "Panduan pengujian individual (PPI) untuk krisan," Departemen Pertanian, Pusat Perlindungan varietas Tanaman, Dokumen PVT/PP/2/1, 21 Januari 2006, 20 halaman.
- [08] L. Sanjaya dkk., "Induksi mutasi sinar gamma pada krisan Puspita Nusantara," Laporan Tahunan, Balai Penelitian Tanaman Hias, [tidak dipublikasikan], 2015.
- [09] J. Glazebrook, "Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens," *Annu. Rev. Phytopathol.* vol. 43, no.1, pp. 205–227, Sep. 2005, doi: 10.1146/annurev.phyto.43.040204.135923.
- [10] C. Sumardiyono, "Ketahanan terimbas, kendala dan prospeknya dalam pengendalian penyakit tumbuhan," Pidato pengukuhan jabatan guru besar pada fakultas pertanian Universitas Gadjah Mada, Maret. 11, 2000.
- [11] B. C. Freeman dan G. A. Beattie, "An overview of plant defenses against pathogens and herbivores," *The Plant Health Instructor*, 2008, doi: 10.1094/PHI-I-2008-0226-01.
- [12] B. K. Banerji dan S. K. Datta, "Varietal differences in radiosensitivity of garden chrysanthemum," *The Nucleus*, vol. 36, no. 3, pp.114–117, 1993.
- [13] V. Lattazio, M. T. V. Lattazio, dan A. Cardinali "Role of phenolics in the resistance mechanisms of plants against fungal pathogens & Insects, dalam *Phytochemistry advances in Research, F. Imperato*, Ed., Kerala, India: Research Sign Post, pp. 23–67.
- [14] M. P. Filippone dkk., "Isolation and purification of a 316 Da preformed compound from strawberry (*Fragaria ananassa*) leaves active against plant pathogens," *FEBS Lett*, vol. 459, pp. 115–118, 1999.
- [15] H. J. Gooding, R. J. McNicol & D. Macintyre, "Methods of screening strawberries for resistance to *Sphaerotheca macularis* (wall ex Frier) and *Phytophthora cactorum* (Leb. and Cohn)," *J. Hort. Sci. Biotechnol*, vol. 56, no. 3, pp. 239–245, Jan. 1981, doi: 10.1080/00221589.1981.11514995.



- [16] R. R. C. Espino dan W. B. Nesbitt, "Phenolic compounds in downy mildew resistant and susceptible grapevines (*Vitis* sp.)," *Philipp. J. Crop Sci*, vol. 8, no.1, pp. 33–40, 1983.
- [17] H. Shahbazi dkk., "Biochemical evaluation of resistance responses of potato to different isolates of *Alternaria solani*," *Phytopathology*, vol. 100, no. 5, pp. 454–459, Mei 2010, doi: 10.1094/PHYTO-100-5-0454.
- [18] M. Thakur, D. R. Sharma dan S. K. Sharma, "In-vitro selection and regeneration of carnation (*Dianthus caryo-phyllus* L.) plants resistant to culture filtrate of *Fusarium oxysporum* f. sp. Dianthi," *Plant Cell Rep.*, vol. 20, no. 9, pp. 825–828, Feb. 2002, doi: 10.1007/s00299-001-0412-1.
- [19] R. Voorrips dkk., "QTL mapping of anthracnose (*Colletotrichum* spp.) resistance in a cross between *Capsicum annuum* and *C. chinense*," *Theor. Appl. Genet.*, vol. 109, *Plant Cell Rep.*, vol. 20, no. 9, pp. 825–828, Feb. 2002, doi: 10.1007/s00299-001-0412-1.
- [20] B. Kumar, S. Kumar, dan M. Thakur, "In vitro mutation induction and selection of *Chrysanthemum* (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev) Lines with improved resistance to *Septoria Obesa* Syd.," *Int. J. Plant Res.*, vol. 2, no. 4, pp. 103–107, 2012. doi:10.5923/J.Plant.20120204.01.
- [21] D. I. Guest, J. F. brown, dan H. J. Ogle, Eds., *Plant Pathogens and plant diseases*, Australia: Rockvale, 1997, pp. 263–286.
- [22] M. M. Saber, M. H. Hussein, dan S. H. Ahmed. "Pathological and biochemical assessment of gamma-rays induced mutants for resistance to yellow rust in wheat," *Arab J. Of Biotechnology*, vol. 1, no. 1, pp. 59–68, 1998 (Abstracts.).
- [23] A. T. Neto dkk., "Plant height reduction and disease resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar IAC-18 by gamma radiation-induced mutations," *Brazillian J. Of Genetics*, vol. 19, no. 2, pp. 275–281, 1996.
- [24] A. Schum dan W. Preil, "Induced mutations in ornamental plants, dalam *Somaclonal and Induced mutations in Crop improvement*," Dordrecht: Springer, 1998, pp. 333–366.
- [25] S. M. Jain dan M. M. Spencer, "Biotechnology and mutagenesis in improving ornamental plants," dalam *Floriculture, ornamental, and plant biotechnology*, J. A. Teixeira da Silvae Eds., UK: Global Science Books, 2006, pp 589–600.
- [26] M. Maluszynski, B. S. Ahloowalia dan B. Sigurbjornsson, "Application of in vivo and in vitro mutation techniques for crop improvement," *Euphytica*, vol. 85, no. 1–3, pp. 303–315, Feb. 1995, doi: 10.1007/BF00023960.
- [27] T. B. Dao dkk., "In vitro mutagenesis of *Chrysanthemum* for breeding. (Short communication)," *Plant Mutat. Rep.*, vol 1, no. 2, Des. 2006,
- [28] S. Jain, "Mutagenesis in crop improvement under the climate change," *Romanian Biotechnological Letters*, vol. 15, no. 2, pp. 88–106, 2010.
- [29] Nagatomi dan Degi, "Mutation breeding of chrysanthemum by gamma field irradiation and in vitro culture, dalam *Induced plant mutations in the genomics Era*, Y. Shu, Ed., Rome, FAO of the United nations, 2008.
- [30] Sanjaya dkk., "Pengaruh berbagai dosis sinar gamma terhadap pertumbuhan planlet krisan *Fiji Yellow* dan *Sakuntala* serta informasi LD<sub>50</sub>," Makalah poster dalam *Induced*



## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

*plant mutations in the genomics Era*, Y. Shu, Ed., Rome, FAO of the United nations, 2008. Malang, 5–7 November 2014.

- [31] A. Micke, B. Donini, dan M. Maluszynski, “Induced mutations for crop improvement,” *Mutation. Breed Rev., FAO/IAEA*, Vienna, no. 7, pp 1–41, 1990.
- [32] P. Crino dkk., “Genetic variability in tomato plants regenerated from irradiated cotyledons,” *J. Genet. Breed*, vol. 48, pp. 281–290, 1994.
- [33] S. M. Jain, “Creation of variability by mutation and tissue culture in improving plants,” *Acta Hort*, vol. 447, pp. 69–78, 1997.
- [34] Sanjaya, L. R. Kurniati, dan E. Febrianty, “Isolasi mutan khimer dari petal bunga krisan (*Chrysanthemum morifolium* RAMAT) varietas komersial, dalam Pros. Seminar Nasional Florikultura, Bogor, 4–5 Agustus 2004.
- [35] W. A. Qosim dkk., “Stabilitas parameter genetik mutan-mutan krisan generasi MV<sub>3</sub>,” Lembaga Penelitian Universitas Padjadjaran Bekerjasama dengan Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Bagian Proyek Pengkajian Teknologi Pertanian Partisipatif Pusat, 53 hlm, 2000.
- [36] S. M. Jain, “Mutation-assisted breeding in ornamental plant improvement,” *Acta Hort*, vol. 714, pp. 85–98, 2006.
- [37] S. M. Jain, “Recent advances in plant tissue culture and mutagenesis,” *Acta Hort*, vol. 736, pp. 205–211, Mar. 2007, doi: 10.17660/ActaHortic.2007.736.18.
- [38] S. K. Datta dan D. Chakrabarty, “Management of chimera and in vitro mutagenesis for development of new flower color/shape and chlorophyll variegated mutants in *Chrysanthemum*, dalam *Induced Plant Mutations in the Genomics Era*, Y. Shu, Ed. 2009, pp. 303–305.



PN-007

## DISTRIBUSI KELEMBAPAN TANAH AKIBAT APLIKASI BIOCHAR PADA TANAH PODSOLIK YANG DITENTUKAN DENGAN NEUTRON PROBE

### *SOIL MOISTURE DISTRIBUTION DUE TO BIOCHAR APPLICATION ON PODZOLIC SOIL DETERMINED BY NEUTRON PROBE*

Mario Rahmat Akbar, Riefki Chiesa Athella, Taufiq Bachtiar,  
dan Ania Citraresmini

#### ABSTRAK

Pengukuran kelembapan tanah diperlukan untuk manajemen kebutuhan air tanaman pada tanah dengan kandungan liat tinggi dan kandungan bahan organik rendah, seperti Podsolik Merah Kuning (PMK). Penelitian mengenai kelembapan tanah akibat aplikasi biochar dilakukan pada September–Oktober 2021 di Kebun Percobaan Kawasan Nuklir Pasar Jumat PRTPR-BRIN, Cilandak, Lebak Bulus, Jakarta Selatan yang memiliki karakteristik tanah PMK. Penelitian ini bertujuan untuk melihat distribusi kelembapan tanah pada lapisan olah (10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, dan 50 cm) pada tanah PMK Pasar Jumat akibat dari aplikasi biochar dengan dosis 10 t ha<sup>-1</sup> dan 20 t ha<sup>-1</sup>. Tanah tanpa olah tanah dan tanah dengan pengolahan ditentukan sebagai kontrol. Pengukuran kadar air tanah dilakukan secara aktual dengan menggunakan neutron *probe* dengan sumber Americium-241/Beryllium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah PMK yang menggunakan aplikasi biochar sebanyak 10 t ha<sup>-1</sup> menunjukkan kelembapan tanah lebih tinggi pada kedalaman lapisan olah 30 cm dan juga 40 cm bila dibandingkan perlakuan tanpa olah tanah, olah tanah, dan biochar 20 t ha<sup>-1</sup>. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa biochar dapat berfungsi dalam mempertahankan kelembapan tanah lebih lama di dalam lapisan olah tanah PMK dan berpotensi untuk penghematan pemberian air untuk tanaman.

**Kata Kunci:** Kelembapan Tanah; Biochar; Podsolik; Neutron Probe; Lapisan Olah.

#### ABSTRACT

*Soil moisture measurement is an important factor for the management of plant water needs in soils with high clay and low organic matter such as Red Yellow Podzolic (RYP). A study was conducted in September 2021 at the Experimental Field of Pasar Jumat Nuclear Area, KPRTPR-BRIN, Cilandak,*

M. R. Akbar, R. C. Athella, T. Bachtiar, & A. Citraresmini

\*Universitas Al-Azhar Indonesia, dan Pusat Riset Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi BRIN e-mail: marioakbar331@gmail.com

@ 2023 Penerbit BRIN

M. R. Akbar, R. C. Athella, T. Bachtiar, dan A. Citraresmini, "Distribusi kelembapan tanah akibat aplikasi biochar pada tanah podsolik yang ditentukan dengan neutron probe," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 6, pp. 63–74, DOI: 10.55981/brin.690.c647, E-ISBN: 978-623-8372-02-7



*Lebak Bulus, South Jakarta, which has soil characteristics of RYP. This study aims to determine the distribution of soil moisture in the tillage depth (10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm) of RYP Pasar Jumat as a result of the application of biochar at a dose of 10 t ha<sup>-1</sup> and 20 t ha<sup>-1</sup>. Soil with no tillage and soil with tillage were determined as controls. Measurement of soil moisture content was carried out in actual use by using a neutron probe with Americium-241/beryllium as a source. The results showed that RYP soil using 10 t ha<sup>-1</sup> of biochar application showed higher soil moisture at a depth of 30 cm and 40 cm when compared to the treatment without tillage, tillage, and biochar 20 t ha<sup>-1</sup>. The results of this study concluded that biochar can function in retaining soil moisture for longer in the RYP tillage layer and has the potential to save water supply for plants.*

**Keywords:** Soil Moisture; Biochar; Podzolic; Neutron Probe; Tillage.

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris dengan jumlah permintaan terhadap produk pangan pertanian yang sangat tinggi. Untuk meningkatkan produksi pertanian, intensifikasi terutama di sektor pangan terus dilakukan sehingga mengakibatkan kualitas tanah menurun, baik dari segi fisika, kimia, maupun biologi. Menurunnya kualitas tanah-tanah pertanian mengakibatkan penurunan produksi pertanian. Lahan pertanian dengan kualitas yang buruk dapat dikembalikan kesuburannya, salah satunya dengan pengelolaan tanah atau pemberian unsur pembenah tanah. Salah satu upaya untuk memperbaiki sifat fisik kimia tanah agar layak digunakan sebagai lahan pertanian adalah dengan penambahan biochar. Penambahan biochar pada lahan pertanian dapat meningkatkan sifat kimia tanah, seperti pH, dan senyawa organik, seperti C-organik, N-total, dan P-tersedia [1], [2].

Biochar merupakan bahan padat yang diperoleh dari proses karbonisasi biomassa. Biochar merupakan substansi arang berpori yang berasal dari makhluk hidup khususnya tanaman. Tanah yang mengandung biochar dapat memberikan habitat yang baik bagi mikroorganisme tanah, misalnya menyediakan habitat yang baik bagi bakteri yang berperan dalam perombakan unsur hara sehingga unsur hara tersebut dapat diserap tanaman secara optimal [3]. Salah satu fungsi utama biochar adalah kemampuannya untuk menahan air lebih lama di dalam tanah. Dengan adanya kemampuan ini, biochar juga dapat menahan unsur hara yang larut air agar tidak mudah tercuci.

Jika dibandingkan bahan organik, seperti kompos dan pupuk kandang, aplikasi biochar pada lahan pertanian lebih efektif dalam retensi hara dan ketersediaannya untuk tanaman. Biochar mengandung karbon yang bersifat stabil dan dapat disimpan lebih lama dibandingkan bahan organik lain sehingga retensi hara dan kesuburan tanah dapat berjalan lebih lama. Biochar yang diaplikasikan pada tanah dapat meningkatkan Kapasitas Tukar Kation (KTK) dan pH hingga 40%. Ketersediaan unsur hara yang tinggi merupakan hasil bertambahnya nutrisi dan retensi hara yang didapatkan dari penambahan biochar [4]. Selain aplikasinya yang efektif, biochar juga memiliki keunggulan lain, yaitu berupa cara pembuatannya yang relatif lebih singkat



daripada kompos atau pupuk kandang. Penambahan biochar ke dalam tanah memicu perubahan pH, konduktivitas listrik (EC), dan kandungan hara. Penambahan biochar berdampak positif untuk pertumbuhan dan hasil tanaman. Peningkatan pertumbuhan disebabkan oleh perbaikan sifat kimia tanah di antaranya adalah meningkatkan kadar N, P, dan tanah. Penambahan biochar nyata meningkatkan serapan N, P, K, Ca, Zn, dan Cu. Oleh karena itu, penambahan biochar pada tanah-tanah yang memiliki karakteristik kesuburan yang rendah menjadi penting [5].

Kemampuan biochar untuk mempertahankan kapasitas air di dalam tanah yang cukup tinggi sehingga memungkinkan terjaganya kelembapan tanah penting untuk diteliti lebih lanjut. Penelitian kemampuan biochar yang berguna untuk menahan air ini dapat membantu tanaman pada masa-masa kekeringan di mana biochar dapat berperan sebagai pemacu pertumbuhan tanaman serta mempertahankan unsur hara di dalam tanah sehingga unsur hara tidak mudah hilang pada saat proses pencucian dalam tanah, dan pada akhirnya berdampak pada peningkatan hasil panen [3].

Berdasarkan beberapa uraian tersebut, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mempelajari pengaruh biochar pada tanah dalam mempertahankan kelembapan tanah. Selain itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan dosis biochar yang paling efektif dalam mempertahankan dan menjaga kapasitas air tanah. Kadar air dalam tanah pada umumnya dihitung dengan mengukur persen air dalam cuplikan tanah langsung dengan cara penimbangan atau gravimetri. Cara ini merupakan cara yang paling akurat dalam menentukan kadar air. Namun, apabila di lapangan pengukuran ini tidak bisa langsung dilakukan dikarenakan keterbatasan pada penggunaan sumber daya alat, seperti oven dan alat timbangan dan adanya jarak antara waktu pengambilan dengan analisis di laboratorium. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan neutron *probe* dalam pengukuran air dalam tanah sehingga dapat dilakukan pengukuran kadar air dalam tanah secara aktual.

## METODE PERCOBAAN

### Bahan dan Alat

Penelitian ini dilakukan pada September–Oktober 2021 di Pusat Riset Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Riset dan Inovasi Nasional. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah PMK Pasar Jumat, Jakarta Selatan dan Biochar yang berbahan dasar sekam padi yang dipirolisis dengan suhu 400°C. Pengukuran dengan neutron *probe* memerlukan kalibrasi dikarenakan sifat dan tekstur setiap tanah berbeda. Oleh karena itu, perlu dibuat kurva hubungan antara jenis tanah PMKI (atau juga disebut tanah Latosol) dan pengukuran neutron *probe* dan gravimetri modifikasi yang terdapat pada metode dari Kurnia dkk. (2009) [6].





## Tata Kerja

Tanah yang digunakan merupakan tanah Latosol dengan kedalaman lapisan olah 30 cm, tanah kemudian diayak sehingga lolos saringan 2 mm. Tanah Latosol kemudian dimasukkan ke dalam ember besar dengan tinggi 1 meter dan diameter 60 cm. Namun, sebelumnya diberikan pipa diameter 2 inchi dan panjang 1 meter untuk memasukkan probe. Neutron *probe* diletakan di atas pipa, kemudian dicatat persentase kadar air yang ditunjukkan oleh alat pada kedalaman 20 cm, 40 cm, dan 60 cm. Pada saat yang sama, cuplikan tanah diambil pada kedalaman 20 cm, 40 cm, dan 50 cm (Gambar 1).



**Gambar 1.** Pembuatan kurva kadar air tanah latosol dengan neutron *probe* (kanan), pengukuran kelembapan tanah di petak percobaan (kiri).

Tanah Latosol asal Pasar Jumat digunakan dalam penelitian ini, tanah Latosol yang digunakan diberikan perlakuan tanpa olah tanah (TOT), olah tanah (OT), olah tanah dengan biochar 10 t ha<sup>-1</sup>(B10), dan olah tanah dengan biochar 20 t ha<sup>-1</sup>(B20). Tanah dibuat petakan dengan luas 1 m<sup>2</sup>, kemudian tanah dengan perlakuan OT, B10, dan B20 tanahnya diolah dengan menggunakan cangkul sedalam lapisan olah 30 cm. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Neutron *Probe* dengan sumber *Americium-241*, bor tanah, pipa PVC dengan diameter 2 inchi dan panjang 50 cm. Stasiun cuaca i-metos untuk pengukuran keadaan lingkungan juga digunakan untuk melihat seberapa banyak air yang masuk ke dalam tanah dari curah hujan. Pengukuran kelembapan tanah dilakukan setiap hari pada pagi menjelang siang pada pukul 10.00 WIB.

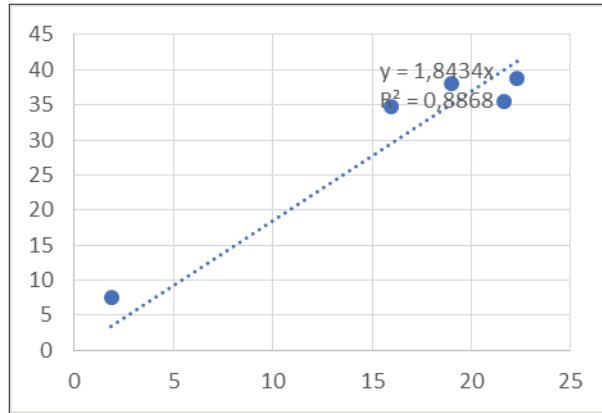
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kalibrasi Neutron Probe

Pembuatan kurva kadar air di lapangan pada tanah bertujuan untuk memudahkan pengukuran secara aktual (Gambar 2). Kurva kalibrasi terhadap tanah harus dilakukan sebelum penggunaan neutron *probe* di lapangan. Hal ini dikarenakan setiap tanah memiliki karakteristik yang berbeda yang akan memengaruhi kadar air di dalam tanah. Umumnya, pengukuran kadar air di lapangan dilakukan menggunakan metode gravimetri. Namun, dengan menggunakan neutron probe, kadar air dapat diukur langsung dengan mudah. Hal ini penting mengingat pengukuran air dengan gravimetri tidak selalu bisa dilakukan secara cepat dan akurat dikarenakan adanya



keterbatasan di lokasi tempat pengambilan sampel (lapangan) dengan laboratorium, baik dari segi jarak maupun alat-alat pengukuran. Hasil menunjukkan bahwa hubungan pengukuran kadar air di lapangan dengan kadar air pada neutron *probe* memiliki koefisien determinasi ( $R^2$ ) sama dengan 0,9857. Regresi linear yang ditunjukkan pada gambar dapat digunakan untuk aplikasi pengairan di lapangan dengan mencocokkan dengan pengukuran neutron *probe* di lapangan.



**Gambar 2.** Grafik hubungan antara kadar air lapangan dengan neutron probe.

**Tabel 1.** Rata-rata nilai kelembapan tanah (%) pada berbagai kedalaman selama 14 hari pengamatan.

Perlakuan	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	Total
TOT	17,81	21,71	22,75	23,18	25,48	110,93
OT	16,46	20,32	22,34	23,55	26,72	109,39
B10	17,94	21,56	23,08	24,85	26,48	113,91
B20	16,84	20,39	22,24	23,96	26,17	109,6

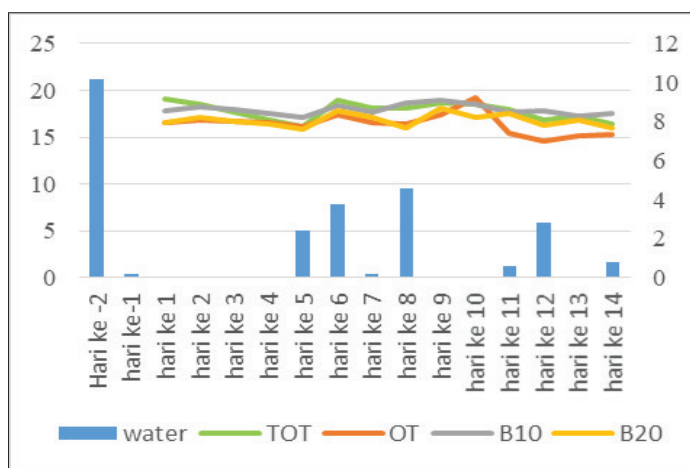
Hasil pengamatan Tabel 1 menunjukkan bahwa rata-rata kelembapan tanah Latosol Pasar Jumat selama 14 hari pengamatan, nilainya bervariasi dari kisaran yang terendah 16,46% sampai dengan yang tertinggi 26,72%. Kisaran kelembapan tanah terendah diperoleh perlakuan olah tanah (OT) pada kedalaman 10 cm dengan yang tertinggi masih dalam perlakuan yang sama dengan kedalaman 50 cm. Adanya perbedaan kadar air tanah dalam setiap kedalaman tanah yang diamati diduga pada dasarnya air dalam tanah bersifat dinamis dan bergerak dari satu kedalaman ke kedalaman yang lain. Oleh karena itu, kelembapan tanah idealnya diamati dalam kondisi aktual dengan selang interval waktu yang berkelanjutan. Tinggi rendahnya kelembapan tanah pada suatu jenis tanah sangat dipengaruhi oleh sifat fisik tanah tersebut dan juga bahan organik yang terkandung di dalamnya. Meskipun secara rata-rata, kadar kelembapan tanah yang tertinggi terdapat pada perlakuan



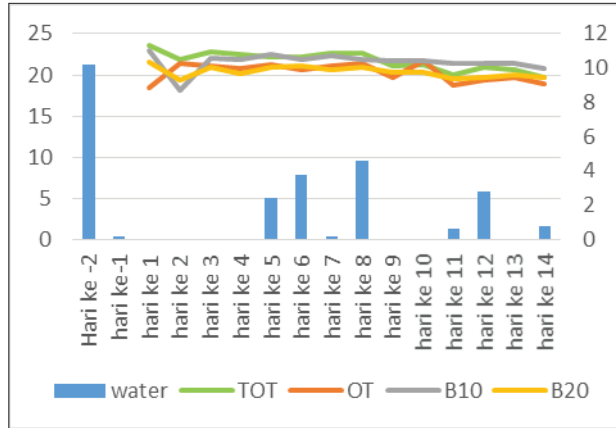
OT. Namun, jika dilihat dari total kadar air tanah maka perlakuan OT memiliki kandungan kadar air tanah terendah dibandingkan perlakuan lainnya. Perlakuan yang tertinggi diperoleh oleh perlakuan biochar 10 t ha<sup>-1</sup> (B10), tanpa olah tanah (TOT), dan biochar 20 t ha<sup>-1</sup> (B20).

Kadar air tanah yang lebih rendah akibat pemberian biochar 20 t ha<sup>-1</sup> bila dibanding dengan kontrol pernah dilaporkan oleh Vitkova dkk. [7]. Namun, penelitian Vitkova dkk. [7] dilakukan dengan adanya tambahan tanaman uji di atas tanah sehingga kadar air tanah sangat dipengaruhi oleh evapotranspirasi tanaman. Pada penelitian ini, tanah tidak menggunakan tanaman uji di atasnya, kecuali untuk TOT yang membiarkan vegetasi rumput tetap tumbuh sehingga lebih melihat bagaimana biochar memberikan pengaruh pada kadar air tanah. Tanah Latosol memiliki karakteristik dan sifat yang sangat kompleks dengan berbagai interaksinya antara air dan udara di dalamnya sehingga dinamika kadar air dalam tanah sangat dipengaruhi oleh bahan-bahan dalam tanah dan juga faktor lingkungan. Kadar air tanah secara lebih baik akan terlihat dalam berbagai kedalaman tanah sehingga distribusinya akan terlihat secara jelas. Pengaruh biochar dalam mempertahankan air di dalam tanah ditunjukkan oleh perlakuan 10 t ha<sup>-1</sup>, yang memiliki total kadar air paling tinggi di atas perlakuan OT, TOT, dan B20 [7].

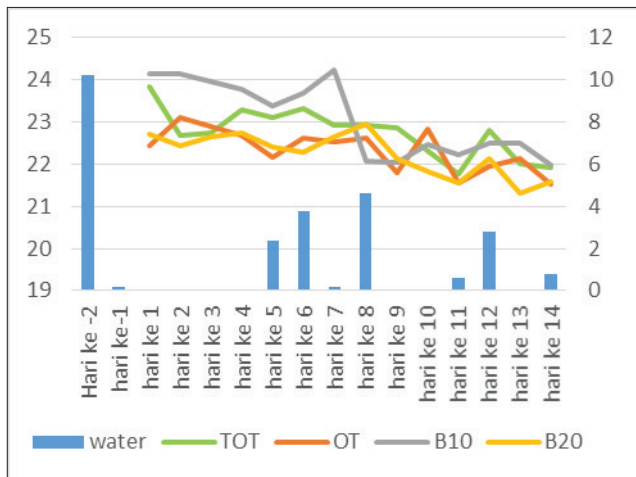
### Kadar Air Tanah pada Berbagai Kedalaman Tanah



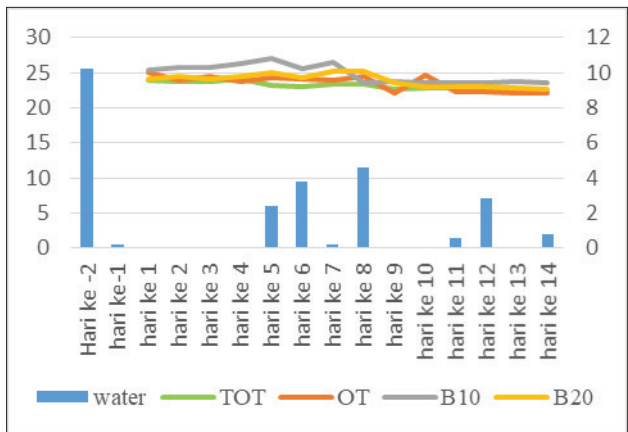
Gambar 3. Distribusi Kadar Air Tanah pada Kedalaman 10 cm



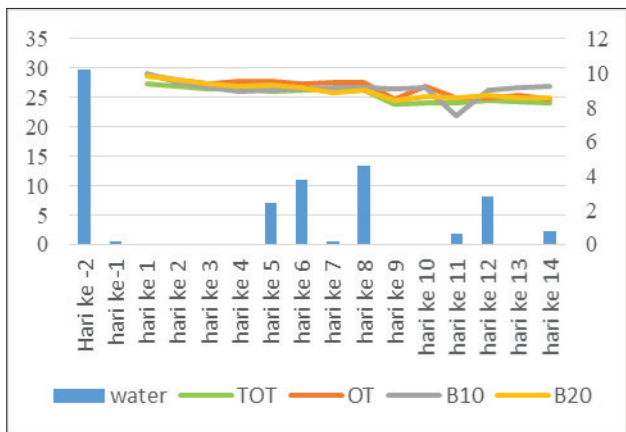
Gambar 4. Distribusi Kadar Air Tanah pada Kedalaman 20



Gambar 5. Distribusi Kadar Air Tanah pada Kedalaman 30 cm



Gambar 6. Distribusi Kadar Air Tanah pada Kedalaman 40 cm



Gambar 7. Distribusi Kadar Air Tanah pada Kedalaman 50 cm

Hasil pengamatan pada kedalaman 10 cm (Gambar 3), memperlihatkan bahwa selama 14 hari pengamatan, perlakuan dosis aplikasi biochar sebesar 10 t ha<sup>-1</sup> menunjukkan kadar air tanah yang relatif stabil dan berada di atas dari perlakuan lainnya. Hal ini diduga pada kedalaman 10 cm dosis aplikasi biochar 10 t ha<sup>-1</sup>, terjadi keseimbangan antara interaksi air yang ada di dalam tanah dan porositas yang tercipta. Air tidak mudah menguap karena tidak terlalu banyak porositas terbentuk sehingga air masih dapat disimpan dengan baik. Pada kedalaman 20 cm, sampai pengamatan hari ke-8, perlakuan TOT menunjukkan kadar air yang relatif lebih tinggi jika dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini diduga karena pada TOT tersebut tanahnya terdapat vegetasi berupa rumput teki. Akar-akar dari rumput teki diduga mampu menahan air lebih lama di dalam tanah. Namun, keadaan ini menurun pada hari ke-9 sampai dengan hari ke 14. Kadar air tanah yang tertinggi pada hari



ke 9 sampai dengan hari ke-14 didapatkan pada perlakuan biochar 10 t ha<sup>-1</sup>, dan tetap stabil dalam mempertahankan kadar air tanah. Kadar air tanah terendah pada kedalaman 10 cm diperoleh pada perlakuan OT, hal ini dapat diduga karena tingkat penguapan dari tanah dengan olah tanah mungkin lebih tinggi daripada plot yang lain yang telah diberikan perlakuan sehingga kehilangan air tidak dilindungi oleh biochar atau vegetasi di atasnya.

Pada kedalaman 30 cm, 40 cm, dan 50 cm, perlakuan aplikasi biochar dosis 10 t ha<sup>-1</sup> masih menunjukkan kadar air tertinggi di dalam tanah sampai dengan pengamatan hari ke 14. Kedalaman 30 cm ini merupakan batas pengolahan tanah yang digunakan dalam penelitian ini. Fluktuasi kadar air tanah tertinggi terjadi di kedalaman 30 cm ini, hal ini dikarenakan terdapat batas antara lapisan olah dan lapisan tanpa olah dan juga adanya pengaruh dari aplikasi biochar dari petakan yang diberi perlakuan. Pada kedalaman 30 cm, perlakuan 20 t ha<sup>-1</sup> menunjukkan kadar air yang lebih rendah daripada perlakuan lainnya karena interaksi antara air dan udara terjadi lebih baik pada dosis biochar 20 t ha<sup>-1</sup>. Porositas tanah yang meningkat menyebabkan udara lebih cepat masuk ke dalam tanah, namun hal ini tidak diimbangi oleh kemampuan biochar dalam memegang air. Akibatnya, ketika suhu tinggi, terjadi penguapan air yang lebih cepat. Menurut Verheijen [8], ketika ditambahkan ke tanah, biochar memiliki potensi untuk meningkatkan pori-pori pada kisaran diameter 30 hingga 0,3 nm. Selain itu, kemampuan biochar dalam memegang air sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor karena kualitas biochar yang bervariasi, efeknya pada tanah dan tanaman cenderung berbeda [8],[9].

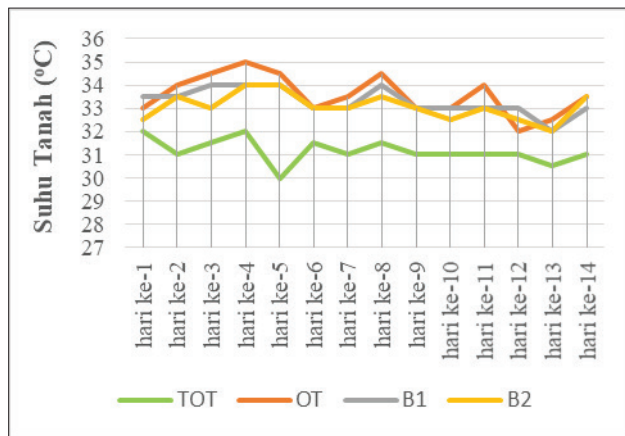
Berdasarkan penelitian ini, pengaruh positif dari biochar dalam kemampuannya mempertahankan kadar air tanah hanya sebagian yang dapat dibuktikan, yaitu pada dosis 10 t ha<sup>-1</sup>. Oleh karena itu, pada aplikasi dosis biochar 20 t ha<sup>-1</sup> ternyata kadar air tanah tidak menunjukkan tingkat kadar air tanah tertinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi 20 t ha<sup>-1</sup> biochar tidak memengaruhi kadar air tanah di dalam lapisan olah tanah (kedalaman 10–30 cm). Chan dkk. [10] menunjukkan bahwa biochar dapat meningkatkan kadar air tanah dengan aplikasi >50 t ha<sup>-1</sup> sehingga mungkin perlu penambahan dosis biochar untuk memperlihatkan pengaruh biochar lebih jelas. Penambahan biochar dapat menemui permasalahan yang agak kompleks dalam menggambarkan hubungan dan interaksi antara tanah-tanaman-atmosfer, terutama dalam menentukan dosis yang tepat dalam efektivitas biochar dalam menahan laju kehilangan air dalam tanah. Dalam menentukan pengaruh dari penambahan biochar terhadap kadar air tanah, membutuhkan pengujian lebih lanjut dalam kondisi lapangan dalam penelitian dengan waktu panjang dan tidak bisa digantikan dengan pengukuran dalam kondisi laboratorium. Taraf lebih banyak dapat digunakan dalam penentuan dosis biochar yang diaplikasikan ke dalam tanah. Penggunaan neutron *probe* dalam penelitian ini dinilai efektif karena dapat menilai langsung kondisi kadar air tanah teraktual pada waktu yang ditentukan. Adanya air yang tersimpan dengan baik pada kedalaman 10 cm dalam jangka waktu tertentu



dapat berpengaruh positif bagi tanaman, terutama tanaman dengan umur tanam yang masih relatif muda [10].

### Suhu Tanah

Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu tanah terendah diperoleh pada perlakuan tanpa pengolahan tanah (TOT), sementara suhu tanah yang tertinggi diperoleh pada perlakuan olah tanah (OT) (Gambar 8). Penambahan biochar sebanyak  $10 \text{ t ha}^{-1}$  dan  $20 \text{ t ha}^{-1}$  dapat menurunkan suhu tanah lebih rendah dibanding dengan tanah yang telah diolah (OT). Sementara itu, aplikasi biochar mampu meningkatkan suhu tanah dari kontrol (TOT) sebanyak rata-rata  $1,5\text{--}4^\circ\text{C}$ . Penelitian ini sesuai dengan penelitian Yang dkk. [11] yang menyatakan bahwa biochar mampu meningkatkan suhu tanah dari suhu tanah kontrol atau tanpa pengolahan. Dalam penelitian ini, kontrol yang digunakan merupakan tanah dengan tanpa perlakuan pengolahan tanah (TOT) sehingga kondisinya didesain alami dan tanah masih ditumbuhi vegetasi rumput. TOT memiliki suhu yang lebih rendah karena diduga vegetasi mampu menyerap panas lebih baik ke dalam tanah. Selain itu, vegetasi mampu menahan suhu udara dingin lebih lama di dalam tanah sebagai sisa dari suhu tanah waktu malam hari yang cenderung lebih rendah. Hal ini berbeda dengan perlakuan olah Tanah (OT) yang suhu udaranya lebih tinggi dari perlakuan lainnya, di mana suhu dingin sisa penyerapan di malam hari yang lebih rendah cenderung lebih cepat dirilis ke udara sehingga digantikan suhu udara pada siang hari saat pengukuran.



Gambar 8. Pengaruh Aplikasi Biochar pada Suhu Tanah

Pada perlakuan  $10 \text{ t ha}^{-1}$  dan  $20 \text{ t ha}^{-1}$  suhu tanah lebih rendah daripada suhu tanah dengan perlakuan olah tanah (OT). Hal ini diduga karena udara pada saat malam hari yang memasuki pori tanah yang terbentuk ditahan oleh partikel air yang terdapat dalam biochar dalam tanah sehingga mengakibatkan suhu tanah menjadi turun dan lebih rendah dibanding dengan OT. Penelitian ini membuktikan bahwa biochar



berpengaruh dalam menurunkan suhu tanah dan menjaga kadar air tanah pada lahan-lahan pertanian yang pada umumnya telah mengalami pengolahan. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk melihat seberapa besar biochar ini memengaruhi suhu tanah dan kadar air tanah dengan rentang pengamatan suhu tanah yang lebih rapat.

## KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kelembapan tanah Latosol Pasar Jumat selama 14 hari pengamatan, nilainya bervariasi dari kisaran yang terendah 16,46% sampai dengan yang tertinggi 26,72%. Hasil pengamatan pada kedalaman 10–50 cm, memperlihatkan bahwa selama 14 hari pengamatan menunjukkan kadar air tanah yang relatif stabil dan berada di atas dari perlakuan lainnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu tanah terendah diperoleh pada perlakuan tanpa pengolahan tanah (TOT), sementara suhu tanah yang tertinggi diperoleh pada perlakuan olah tanah (OT). Pada perlakuan perlakuan 10 t ha<sup>-1</sup> dan 20 t ha<sup>-1</sup>, suhu tanah lebih rendah daripada suhu tanah dengan perlakuan olah tanah (OT). Penelitian ini membuktikan bahwa biochar berpengaruh dalam menurunkan suhu tanah dan menjaga kadar air tanah pada lahan-lahan pertanian yang pada umumnya telah mengalami pengolahan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Setiawan, K. Khairil, dan S. R. Hermanto, "Aplikasi biochar sekam padi dan tepung cangkang kerang ale-ale untuk memperbaiki sifat kimia tanah sulfat masam," *Agrovigor J. Agroekoteknologi*, vol. 14, no. 1, pp. 55–60, Mar. 2021, doi: 10.21107/agrovigor.v14i1.8881.
- [2] T. Bachtiar, dkk., "Pengaruh bahan pembenah tanah pada pH dan P tersedia tanah sub-optimal ultisols asal Jasinga Kabupaten Bogor," dalam Seminar Nasional Membangun Sinergi antar Perguruan Tinggi dan Industri Pertanian dalam Rangka Implementasi Merdeka Belajar Kampus Merdeka, vol. 5, no. 1, pp. 648–659, 2021.
- [3] A. Kurniawan, dkk., "Pengaruh penggunaan biochar pada media tanam terhadap pertumbuhan bibit tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.)," *J. Produksi Tanam.*, vol. 4, no. 2, pp. 153–160, 2016, doi: 10.21176/protan.v4i2.273.
- [4] D. Zulfitra, Surachman, dan E. Santoso, "Aplikasi biochar sekam padi dan pupuk NPK terhadap serapan N, P, K dan komponen hasil jagung manis di lahan gambut," *J. Ilm. Hijau Cendekia*, vol. 5, pp. 42–49, 2020, doi: 10.32503/hijau.v5i1.896.
- [5] E. Tando dan M. Asaad, "Respon aplikasi biochar ampas sagu, pupuk kandang dan jerami padi terhadap serapan hara N, P, K dan C pada tanaman kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.)," *J. Pengkaj. dan Pengemb. Teknol. Pertan.*, vol. 21, no. 3, pp. 189–200, Nov. 2018.
- [6] F. Agus dkk., "Sifat fisik tanah dan metode analisisnya," Bogor, 2006. [Online]. Tersedia: <https://repository.pertanian.go.id/server/api/core/bitstreams/0801f424-c383-4ab9-b887-f95baa010d5e/content>
- [7] J. Vitkova dkk., "Analysis of soil water content and crop yield after biochar application in field conditions," *Plant, Soil Environ.*, vol. 63, no. 12, pp. 569–573, 2017, doi: 10.17221/564/2017-PSE.





## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

- [8] F. Verheijen dkk., “Biochar application to soils: a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions,” vol. 8, no. 4, 2010.
- [9] M. Hagner dkk., “The effects of birch (*Betula* spp.) biochar and pyrolysis temperature on soil properties and plant growth,” *Soil Tillage Res.*, vol. 163, pp. 224–234, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.still.2016.06.006.
- [10] K. Y. Chan dkk., “Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment,” *Aust. J. Soil Res.*, vol. 45, no. 8, pp. 629–634, 2007, doi: 10.1071/SR07109.
- [11] R. Yang dkk., “Effect of biochar application on phreatic water evaporation and water-salt distribution in coastal saline soil,” *J. Plant Nutr.*, vol. 42, no. 10, pp. 1243–1253, Jun. 2019, doi: 10.1080/01904167.2019.1605379.



NS-001

## PENENTUAN KADAR LOGAM BERAT (CR, FE, SR, DAN ZN) DALAM KERANGKA KARANG *PORITES. SP.* DENGAN METODE ANALISIS PENGAKTIFAN NEUTRON

### *DETERMINATION OF CONCENTRATION OF HEAVY METALS (CR, FE, SR, DAN ZN) IN CORAL SKELETON PORITES. SP. USING NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS*

U. Sugiharto, A. D. P. Putra, D. Shintianata, F. P. Andini, dan A. A. Lubis

#### ABSTRAK

Telah dilakukan penentuan kadar logam berat Cr, Fe, Sr, dan Zn dalam Kerangka Karang *Porites Sp.* menggunakan Metode Analisis Pengaktifan Neutron (APN). Karang *Porites Sp.* diambil dari lokasi penelitian di Pulau Pari, Kepulauan Seribu, menggunakan alat bor dengan penggerak tabung selam. Diperoleh panjang kerangka karang 40 cm. Sampel dibersihkan dari *tissue* karang menggunakan air Milli-Q dalam bejana ultrasonik. Selanjutnya, dikeringkan dalam oven selama 5 hari pada suhu 60°C. Kemudian digerus di dalam cawan porselin untuk homogenisasi. Penentuan kuantitatif dan kualitas pengukuran digunakan *Certified Reference Material (CRM) Japan coral porites (Jcp)*. Sampel dan CRM masing-masing ditimbang sebanyak 0,2 gr dan ditempatkan dalam vial polyetilen. Selanjutnya, diiradiasi selama 30 menit pada fasilitas rabbit sistem di reaktor G.A. Siwabessy di Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir, ORTN, BRIN (sebelumnya Pusat Reaktor Serba Guna – BATAN) dengan fluks neutron  $\sim 10^{13}$  n.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>. Setelah dilakukan waktu pendinginan selama 3 minggu, sampel dicacah selama 1 jam menggunakan spektrometer gamma *Multi Channel Analyzer (MCA)* dengan detektor *High Pure Germanium (HPGe)* efisiensi 10%. Karakteristik energi gamma yang digunakan adalah 320,1 keV, 1099,3 keV, 514,1 keV dan 1115,5 keV untuk masing-masing logam Cr, Fe, Sr, dan Zn. Rata-rata konsentrasi logam yang diperoleh dari Pulau Pari adalah Cr = 15,92±1,82 ppm; Fe = 18,47±2,06 ppm; Sr = 4314,62±301,02 ppm; dan Zn = 19,81±2,94 ppm.

**Kata kunci:** Analisis Pengaktifan Neutron, Iradiasi, Kerangka Karang, Logam Berat, *Porites Sp.*

#### ABSTRACT

*The determination of concentration of heavy metals in coral skeleton Porites Sp. has been done using Neutron Activation Analysis (NAA). Coral Porites Sp. was collected from a study site in Pari Island, Kepulauan Seribu using a pneumatic drill powered by scuba air pressure. The length of skeleton was 40*

U. Sugiharto, A. D. P. Putra, D. Shintianata, F. P. Andini, & A. Arman

\*Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi BRIN, e-mail: untu007@brin.go.id atau untungs@batan.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

U. Sugiharto, A. D. P. Putra, D. Shintianata, F. P. Andini, dan A. Arman, "Penentuan kadar logam berat (Cr, Fe, Sr, dan Zn) dalam kerangka karang *Porites. Sp.* dengan metode analisis pengaktifan neutron," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citrarsmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 7, pp. 75–82, DOI: 10.55981/brin.690.c648, E-ISBN: 978-623-8372-02-7



*cm. The tissue was removed from the coral by rinsed in an ultrasonic bath filled with Milli-Q water. The sample was dried in the oven at 60°C for five days. The sample was then pulverized in porcelain pestle for homogenizing. For the determination of quantitative and quality control of the measurement, CRM Jcp was used. Both sample and CRM were weighed 0,2 gr and placed on polyethylene vial. The sample was irradiated for 30 minutes using rabbit system facilities in G.A Siwabessy reactor in Research Center for Nuclear Reactor Technology, Research Organization for Nuclear Energy, neutron flux  $\sim 10^{13} \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Upon three weeks cooling time, the sample was counted for 1 hour using MCA Gamma Spectrometer connected with HPGe detector, 10% efficiency. Energy characteristic of gamma emitter: 320.1 keV, 1099.3 keV, 514.1 keV, and 1115.5 keV for Cr, Fe, Sr, and Zn, respectively. The average concentration of heavy metals from Pari Island are Cr =  $15.92 \pm 1.82 \text{ ppm}$ ; Fe =  $18.47 \pm 2.06 \text{ ppm}$ ; Sr =  $4314.62 \pm 301.02 \text{ ppm}$ ; and Zn =  $19.81 \pm 2.94 \text{ ppm}$ .*

**Keywords:** Neutron Activation Analysis, Irradiation, Skeleton, Heavy Metal, Porites Sp.

## PENDAHULUAN

Teknologi nuklir telah banyak digunakan baik untuk penelitian maupun komersial. Hal ini menarik perhatian dalam kaitannya untuk memajukan ilmu pengetahuan dan teknologi di seluruh penjuru dunia. Di Indonesia sendiri, pemanfaatan teknologi nuklir telah digunakan dalam bidang industri, hidrologi, arkeologi, kedokteran, pertanian, dan lingkungan [1].

Dalam mendukung suatu penelitian, salah satu pemanfaatan teknologi nuklir adalah untuk penentuan kandungan logam berat dalam suatu matrik/sampel, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Metode yang dapat digunakan, yaitu APN, merupakan metode analisis multielemen/banyak unsur yang diukur secara serentak dengan konsentrasi yang sangat kecil (orde ppb) tanpa merusak sampel itu sendiri dan didapatkan hasilnya dalam waktu yang relatif singkat tergantung dari unsurnya [2]. Selanjutnya, metode ini mempunyai sensitivitas tinggi, gangguan matriks relatif kecil dan kemungkinan kontaminasi yang relatif rendah. Sampel diiradiasi dengan sumber neutron yang kuat dalam suatu reaktor nuklir ataupun sumber neutron lain dan pengukurannya pada kondisi radioaktivitas secara spektrometri- $\gamma$  [3]. Reaksi antara neutron termal dan suatu inti sasaran melalui reaksi (n,  $\gamma$ ). Inti sasaran yang terinduksi, akan menjadi aktif dan dalam keadaan tidak stabil. Dalam menuju kestabilan, inti tersebut akan melepaskan energi berlebihnya melalui peluruhan  $\beta^-$  atau  $\beta^+$  yang diikuti pula dengan memancarkan sinar- $\gamma$ . Berdasarkan kondisi tersebut, sinar- $\gamma$  yang dipancarkan akan bersifat karakteristik untuk suatu radionuklida tertentu, dan sifat ini yang nanti akan digunakan untuk mengidentifikasi suatu radionuklida hasil aktivasi secara kualitatif maupun kuantitatif, secara simultan tanpa dipengaruhi oleh sifat-sifat kimia dari sampel [4].

Analisis kuantitatif dari suatu unsur/nuklida pada metode ini dilakukan dengan metode relatif, di mana sampel dan standar diperlakukan sama dalam proses dan tahapan hingga diperoleh konsentrasi dari sampel tersebut [3]. Penentuan kandungan



unsur dalam sampel dihitung dengan membandingkan laju cacah sampel dan standar menurut persamaan berikut.

$$C_{\text{unsur}} = \frac{Cps_{\text{Sampel}}}{Cps_{\text{Standar}}} \cdot \frac{W_{\text{Standar}}}{W_{\text{Sampel}}}$$

Di mana:

$C_{\text{unsur}}$  : Kadar unsur dalam sampel ( $\mu\text{g/g}$ )

$W_{\text{standar}}$  : Bobot unsur dalam standar ( $\mu\text{g}$ )

$W_{\text{sampel}}$  : Bobot unsur dalam sampel (g)

$Cps$  : Laju cacah

Terumbu karang adalah suatu ekosistem yang hidup di daerah tropis dan subtropis di dasar perairan yang dangkal di mana binatang karang (*reef coral*) merupakan komponen utamanya [5]. Senyawa utama pembentuk kerangka karang adalah kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Komposisi kimia karbonat air laut pada lautan berubah dengan cepat merespons perubahan  $\text{CO}_2$  di atmosfer memengaruhi pembentukan dan penguraian kalsium karbonat, reaksi biokalsifikasi sementasi yang terekam pada terumbu karang ini dapat digunakan sebagai prediksi keadaan lingkungan yang akurat [6].

Karang adalah salah satu jenis organisme di perairan laut yang dapat menyimpan logam berat di dalam kerangkanya [7]. Mekanisme terkontaminasinya karang oleh logam berat ialah substitusi unsur kalsium oleh logam-logam tertentu yang masuk ke dalam pori-pori karang ataupun melalui makanannya, yaitu zooplankton yang telah terkontaminasi oleh logam berat [8]. Penelitian ini bertujuan untuk penggunaan metode analisis pengaktifan neutron dalam menentukan konsentrasi logam berat dalam sampel kerangka karang.

## METODE PERCOBAAN

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah cuplikan kerangka dari karang *porites*, sedangkan *reference material* yang digunakan untuk analisis kuantitatif, yaitu CRM Jcp, air demin mili-Q dengan resistifitas  $18,2 \text{ m}\Omega/\text{cm}^2$ , vial polietilen, *aluminium foil*, serta bahan umum lainnya.

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah spektrometer gamma MCA dengan detektor HPGe efisiensi 10%, fasilitas rabbit sistem reaktor G.A. Siwabessy



BRIN (sebelumnya G.A. Siwabessy BATAN), bejana ultrasonik, neraca analitik, oven 105°C, desikator vakum, serta peralatan penunjang lainnya.

### Tata Kerja

Karang *Porites* Sp. diambil dari lokasi penelitian di Pulau Pari, Kepulauan Seribu, menggunakan alat bor karang yang terhubung dengan tabung selam. Sampel dibersihkan dari *tissue* karang menggunakan air Milli-Q dalam bejana ultrasonik. Selanjutnya, dikeringkan dalam oven selama 5 hari pada suhu 60°C. Sub sampel diambil pada interval 5 cm sehingga diperoleh 8 sub sampel. Masing-masing sub sampel digerus di dalam cawan porselin untuk homogenisasi.

Sampel kerangka karang kemudian ditimbang 0,20 gr, dimasukkan ke dalam vial polyethylene berukuran 0,3 mL, lalu direkatkan penutupnya menggunakan alat pemanas. Vial polyethylene kemudian dibungkus dengan *aluminium foil*. Preparasi yang sama dilakukan terhadap CRM Jcp.

Sampel kerangka karang beserta standar diiradiasi pada fasilitas rabbit system reaktor G.A. Siwabessy Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir, ORTN, BRIN, Serpong dengan fluks neutron  $\sim 10^{13} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$  dan daya 15 MW selama 30 menit. Sampel dan standar yang telah diiradiasi kemudian didinginkan kurang lebih 3 minggu untuk mengurangi gangguan dari energi radionuklida yang mempunyai waktu paro pendek, seperti Na. Pencacahan dilakukan selama 1 jam menggunakan spektrometer sinar gamma dengan detektor koaksial HPGe yang memiliki efisiensi 10% dan resolusi 1,89 keV pada energi  $^{60}\text{Co}$  1332 keV. Spektrometer dikalibrasi untuk analisis kualitatif menggunakan sumber standar multi sinar gamma  $^{152}\text{Eu}$ . Sementara itu, analisis kuantitatif dilakukan dengan membandingkan sampel standar CRM Jcp. Sampel dan standar pasca-pencacahan disimpan di tempat penyimpanan sampel pascairadiasi.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Tabel 1, dicantumkan karakteristik unsur-unsur yang dianalisis (dalam bentuk radionuklida), energi gamma, dan waktu paro.

**Tabel 1.** Karakteristik Unsur Yang Dianalisis dengan Metode APN [9].

Unsur	Radionuklida	Energi gamma (keV)	Waktu paro (hari)
Cr	$^{51}\text{Cr}$	320,1	27,7
Fe	$^{59}\text{Fe}$	1099,3	44,5
Sr	$^{85}\text{Sr}$	514,1	64,84
Zn	$^{65}\text{Zn}$	1115,5	224,1

Keberadaan logam-logam di perairan dapat berasal dari berbagai aktivitas, di antaranya dari buangan limbah industri, sedimentasi, dan pertanian. Logam yang masuk ke perairan tersebut terdeposit dalam kerangka karang [9]. Hasil analisis



kandungan logam berat dengan menggunakan metode APN pada sampel kerangka karang dapat dilihat pada Tabel 2. Konsentrasi rata-rata dari logam Cr adalah 15,92 ppm dengan standar deviasi 1,82 ppm. Logam Fe mempunyai rata-rata konsentrasi sebesar 18,48 ppm dan logam Zn sebesar 19,81 ppm. Rata-rata konsentrasi dari 3 logam Cr, Fe, dan Zn tidak jauh berbeda. Sementara itu, logam Sr mempunyai rata-rata konsentrasi yang sangat tinggi, yaitu sebesar 4314,62 ppm, termasuk kategori logam mayor di terumbu karang karena Sr merupakan unsur utama pembentuk karang setelah Ca.

Konsentrasi Cr di masing-masing bagian setiap interval 5 cm menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda satu sama lain. Logam Cr termasuk logam antropogenik yang ditemukan di perairan, berasal dari proses pelapukan mineral yang terbawa oleh aliran sungai dan juga dari udara. Senyawa Cr digunakan untuk pigmen dan pewarna buatan dalam industri tekstil dan juga untuk electroplating krom dan katalis [10].

Logam Zn dan Fe adalah jenis logam yang dibutuhkan oleh makhluk hidup organisme untuk pertumbuhan. Keberadaan Fe dalam lingkungan perairan dan laut berasal dari sedimen suspensi dan debu udara. Sementara itu, Zn utamanya berasal dari aliran *run-off* dan tanah [11]. Logam Fe dan Zn masing-masing menunjukkan fluktuasi yang kecil pada setiap lapisan kerangka karang dalam interval 5 cm.

Sr salah satu unsur pembentuk aragonite ( $\text{CaCO}_3$ ) dan telah banyak digunakan sebagai proksi suhu permukaan laut berdasarkan rasio Sr/Ca [12]. Sr terdapat di kerangka karang karena proses substitusi terhadap Ca [13]. Berdasarkan konsentrasi yang didapatkan dari analisis, terlihat bahwa Sr dominan dibanding logam Cr, Fe, dan Zn. Fluktuasi konsentrasi dari Sr menunjukkan variasi yang tidak jauh berbeda pada setiap interval 5 cm dari kerangka karang.

**Tabel 2.** Hasil analisis kandungan logam berat pada sampel kerangka karang.

Sampel	Cr (ppm)	Fe (ppm)	Sr (ppm)	Zn (ppm)
(0–5) cm	14,08	17,69	4169,21	24,01
(5–10) cm	15,81	15,86	4505,95	21,89
(10–15) cm	18,18	20,05	4202,11	23,22
(15–20) cm	16,12	18,16	4297,93	19,11
(20–25) cm	19,08	20,61	4576,92	18,76
(25–30) cm	14,43	20,07	4343,79	16,42
(30–35) cm	14,59	15,28	4696,47	18,78
(35–40) cm	15,05	20,04	3724,58	16,25
Rata-rata	15,92±1,82	18,47 ±2,06	4314,62 ±301,02	19,81±2,94

Kandungan logam berat dalam sampel kerangka karang *Porites* pada penelitian ini dan hasil dari *Great Barrier Reef*, Australia dan Pantai Jepara, Jawa Tengah, seperti terlihat di Tabel 3. Konsentrasi logam berat yang diperoleh berdasarkan metode APN. Berdasarkan Tabel 3, dapat dilihat bahwa perbandingan hanya logam Fe dan Zn berdasarkan ketersediaan data yang ada. Logam Fe yang diperoleh dari penelitian



ini menunjukkan konsentrasi yang hampir sama dengan yang diperoleh dari *Great Barrier Reef* walaupun spesies nya berbeda. Namun, kondisi dari logam Fe berbeda dengan logam Zn. Hasil dari *Great Barrier Reef* dan Jepara menunjukkan konsentrasi yang tidak jauh berbeda walaupun spesies nya berbeda, akan tetapi keduanya termasuk jenis karang bercabang. Sementara itu, hasil dari Pulau Pari menunjukkan konsentrasi Zn yang sangat tinggi dibanding dengan *Great Barrier Reef* dan Jepara, hal ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan jenis karang di mana karang *Porites* adalah karang masif. Secara umum, perbedaan hasil analisis yang diperoleh dapat juga diakibatkan banyak faktor seperti geografis yang berkaitan dengan sumber polutan yang masuk ke perairan. Faktor lainnya adalah karena perbedaan proses biologi yang memengaruhi proses masuknya logam ke dalam kerangka karang. Sementara itu, faktor lingkungan, antara lain polutan yang berasal dari limbah kegiatan industri dan domestik serta faktor lingkungan lainnya.

**Tabel 3.** Hasil beberapa penelitian tentang logam berat dalam kerangka karang menggunakan teknik APN.

	Crn(ppm)	Fen(ppm)	Sr (ppm)	Zn (ppm)
<i>Acropora tenuis</i> Magnetic Island, Great Barrier Reef, Australia [14]	-	19 ± 6	-	1.8
<i>Acropora tenuis</i> , One Tree Island, Great Barrier Reef, Australia [14]	-	20 ± 3	-	0.3
<i>Pocillopora damicornis</i> , Jepara [15]	-	-	-	0,7 – 3,6
Hasil penelitian ini <i>Porites. Sp</i> , Pulau Pari	15,92 ± 1,82	18,47 ± 2,06	4314,62 301,02	± 19,81 ± 2,94

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode APN dapat digunakan untuk menentukan logam berat Cr, Fe, Sr, dan Zn dalam cuplikan kerangka karang. Penggunaan metode APN sangat penting dalam menentukan logam berat pada terumbu karang karena hanya memerlukan jumlah/kuantitas sampel yang sedikit dibanding dengan metode analisis yang lain. Hal ini untuk mengurangi pengambilan sampel karang dalam jumlah besar sehingga tetap menjaga kelestarian ekosistem terumbu karang. Konsentrasi logam Cr, Fe, Sr, dan Zn mempunyai nilai yang tidak terlalu jauh berbeda pada setiap interval dari permukaan hingga bagian bawah dari kerangka karang. Kandungan unsur Sr menunjukkan nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan unsur yang lain, hal ini dikarenakan unsur Sr merupakan unsur utama pembentuk terumbu karang (aragonite  $\text{CaCO}_3$ ).

Pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran unsur logam dengan waktu paro panjang, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk unsur-unsur logam dengan waktu paro pendek dan menengah agar diperoleh lebih banyak lagi unsur-unsur yang terkandung dalam kerangka karang.



## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Instalasi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy BRIN untuk iradiasi sampel.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Dwijananti, "Penentuan kadar radionuklida pada limbah cair pabrik galvanis dengan metode analisis aktivasi neutron thermal reaktor kartini," *J. Pendidik. Fis. Indones.*, vol. 6, no. 1, pp. 30–34, 2016, doi: 10.15294/jpfi.v6i1.1099.
- [2] V. Zaichick dan S. Zaichick, "Use of neutron activation analysis and inductively coupled plasma mass spectrometry for the determination of trace elements in pediatric and young adult prostate," *Am. J. Anal. Chem.*, vol. 04, no. 12, pp. 696–706, 2013, doi: 10.4236/ajac.2013.412084.
- [3] J. R. Budahn, "Neutron activation analysis," *Encycl. Earth Sci. Ser.*, pp. 978–980, 2018.
- [4] M. Nandy, "Neutron activation analysis: application in geology and medicine," *Adv. Technol. Appl. Neutron Act. Anal.*, Apr. 2019, doi: 10.5772/intechopen.76726.
- [5] M. Shabib dkk., "Assessment of heavy metals and rare earth elements of coral reefs in the Safaga harbor by neutron activation analysis," *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, vol. 188, no. 2, pp. 181–188, 2021, doi: 10.18576/jrna/060212.
- [6] D. M. Thompson, "Environmental records from coral skeletons: a decade of novel insights and innovation," *WIREs Clim. Chang.*, pp. 1–40, Okt. 2021, doi: 10.1002/wcc.745.
- [7] Riska dkk., "Plumbum (Pb) concentration in annual bands of coral porites lutea at Tunda Island, Banten," *J. Ilmu dan Teknol. Kelaut. Trop.*, vol. 7, no. 1, pp. 235–246, Agt. 2015, doi: 10.29244/jitkt.v7i1.9809.
- [8] K. L. E. Berry dkk., "Sources and spatial distribution of heavy metals in scleractinian coral tissues and sediments from the Bocas del Toro Archipelago, Panama," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 185, no. 11, pp. 9089–9099, Nov. 2013, doi: 10.1007/s10661-013-3238-8.
- [9] M. A. Bakr dkk., "NAA for trace elemental analysis of sludge samples from different oil sites in the Egyptian Eastern Desert," *J. Radiat. Nucl. Appl.*, vol. 3, no. 3, pp. 163–170, Sep. 2018, doi: 10.18576/jrna/030306.
- [10] A. Bakshi dan A. K. Panigrahi, "A comprehensive review on chromium induced alterations in fresh water fishes," *Toxicol. Reports*, vol. 5, March, pp. 440–447, 2018, doi: 10.1016/j.toxrep.2018.03.007.
- [11] I. B. Rodriguez, S. Lin, J. Ho, dan T. Y. Ho, "Effects of trace metal concentrations on the growth of the coral endosymbiont *Symbiodinium kawagutii*," *Front. Microbiol.*, vol. 7, pp. 1–10, Feb. 2016, doi: 10.3389/fmicb.2016.00082.
- [12] C. L. Pederson dkk., "Significance of fluid chemistry throughout diagenesis of aragonitic Porites corals – An experimental approach," *The Depositional Record*, vol. 5, no. 3, pp. 592–612, Sep. 2019, doi: 10.1002/dep2.82.
- [13] S. J. Giri and P. K. Swart, "The influence of seawater chemistry on carbonate-associated sulfate derived from coral skeletons," *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, vol. 521, pp. 72–81, Mei 2019, doi: 10.1016/j.palaeo.2019.02.011.
- [14] G. Esslemont, "Heavy metals in seawater, marine sediments and corals from the Townsville





## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

section, Great Barrier Reef Marine Park, Queensland,” *Mar. Chem.*, vol. 71, no. 3–4, pp. 215–231, Agt. 2000, doi: 10.1016/S0304-4203(00)00050-5.

- [15] H. Susiati dkk., “Kandungan logam berat ( Cu , Cr , Zn , dan Fe ) pada terumbu karang di perairan Pulau Panjang, Jepara,” *J. Pengemb. Energi Nukl.*, vol. 10, no. 51, pp. 25–30, 2008.



NS-002

## PENENTUAN UMUR DAN LAJU PERTUMBUHAN KARANG *PORITES LOBATA* DI WAKATOBI DAN TELUK LAMPUNG MENGUNAKAN SINAR-X

### *DETERMINATION AGE AND EXTENSION GROWTH OF MASSIVE CORAL PORITES LOBATA AT WAKATOBI AND LAMPUNG BAY USING X-RAY*

A.D.P. Putra, U. Sugiharto, dan A.A. Lubis

#### ABSTRAK

Karang masif *Porites lobata* menyimpan informasi perubahan lingkungan di sekitarnya, penentuan lingkaran tahun pada kerangka karang akan menggambarkan umur dan laju pertumbuhan karang sebagai parameter waktu untuk mempelajari perubahan iklim yang terjadi pada masa lalu. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pertumbuhan karang *Porites lobata* menggunakan radiografi sinar-X di Wakatobi dan Teluk Lampung. Sampel karang diperoleh menggunakan bor pneumatik dengan penggerak tabung selam berdiameter 5 cm, sampel karang kemudian dipotong menjadi lempengan setebal 5 mm. Lempengan sampel karang dibersihkan dari senyawa organik dan jaringan karang dengan larutan asam peroksida dan kemudian direndam dalam bejana ultrasonik yang diisi air Mili-Q. Selanjutnya, sampel dikeringkan pada suhu 60°C selama lima hari. Lempengan sampel karang dipindai radiografi sinar-X pada energi 30 keV selama tiga detik. Hasil pindaian sinar-X dianalisis menggunakan perangkat lunak ImageJ dalam penentuan umur, arah pertumbuhan, dan laju pertumbuhan. Diperoleh hasil laju pertumbuhan pada sampel Taman Nasional Wakatobi dan Teluk Lampung, yaitu  $12,58 \pm 3,71$  mm/tahun dan  $10,38 \pm 3.78$  mm/tahun, hal ini mungkin dipengaruhi oleh kondisi alam Arus Lintas Indonesia di area Taman Nasional Wakatobi dan aktivitas antropogenik di Teluk Lampung.

**Kata Kunci:** Laju Pertumbuhan; Lingkaran Tahun; *Porites Lobata*; Sinar-X.

#### ABSTRACT

*Massive coral Porites lobata stores environment change information, the determination of its annual band and growth rate lead other parameters of past climate and environmental circumstances. The research was conducted to study the corals age and growing rate related to environment interference between Wakatobi and Lampung Bay using X-ray radiography. Porites lobata samples were collected using 5 cm diameter pneumatic drilling. Coral samples were cut in to 5 mm thick slab along the core.*

A. D. P. Putra, U. Sugiharto, & A. Arman

\*Pusat Riset Bahan Baku Obat dan Obat Tradisional BRIN, e-mail: adit005@brin.go.id, apermana@batan.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

Putra, A. D. P., Sugiharto, U., dan Arman, A, "Penentuan umur dan laju pertumbuhan karang *Porites lobata* di Wakatobi dan Teluk Lampung menggunakan sinar-x," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 8, pp. 83–92, DOI: 10.55981/brin.690.c649, E-ISBN: 978-623-8372-02-7



*Peroxide acid was used, and the coral slab then were soaked in ultrasonic instrument with milli-Q water removing attached material and coral tissue on the coral surface. The clean coral slab was dried at 60°C for five days. Slab corals were scanned through X-ray radiograph at 30 keV for 3 seconds. ImageJ software was used to determine age, growth direction, and linear growth rate. The results show that the growth rates in Wakatobi and Lampung Bay sample are  $12,58 \pm 3,71$  mm/year and  $10,38 \pm 3,78$  mm/year, this might be generated by natural condition of Indonesian Throughflow in Wakatobi National Park and anthropogenic activities in Lampung Bay.*

**Keywords:** Annual Band; Growth Rate; *Porites Lobata*; X-ray.

## PENDAHULUAN

Terumbu karang masif berkembang sebagai komponen utama di ekosistem pesisir [1], [2] dan dapat mempresentasikan kondisi lingkungan di sekitarnya [3]–[7]. Karang masif memiliki kerangka (skeleton) yang terbentuk dari pengendapan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dari skala milimeter hingga centimeter per tahun [8]. Karang masif *Porites lobata* dapat menyimpan informasi perubahan iklim dan keadaan lingkungan di masa lampau [5], [6], [9], [10]. Penentuan lingkaran tahun dan laju pertumbuhan akan melengkapi parameter penting, seperti perubahan kimia air laut, kandungan nutrisi, dan bahkan juga polutan yang masuk ke lingkungan perairan [11], [12], [13]. Informasi keadaan lingkungan di masa lampau menyajikan data yang dibutuhkan dalam studi perubahan iklim mengingat terbatasnya data satelit yang dapat diakses.

Radiografi sinar-X merupakan salah satu pemanfaatan radiasi secara luas dalam bidang industri maupun penelitian. Dalam bidang penelitian radiografi, sinar-X digunakan untuk pengukuran umur terumbu karang, laju pertumbuhan, dan kalsifikasi yang terkait dengan studi perubahan iklim [14], [15], [16]. Foto sinar-X dari kerangka karang menunjukkan pola kerapatan gelap dan terang secara bergantian sepanjang arah pertumbuhan karang yang merupakan lingkaran tahun karang [17], [18], [19]. Foto sinar-X sangat esensial untuk memulai penelitian dalam menentukan arah pertumbuhan karang sebelum melakukan analisis selanjutnya, seperti perubahan temperatur permukaan air laut (*Sea Surface Temperature SST*), dan kesetimbangan kimia air laut, serta studi siklus El-Nino [20], [21], [22].

Aktivitas manusia (antropogenik) dapat memberi dampak pada kesehatan dan kerusakan terumbu karang. Faktor lingkungan seperti salinitas, pH, laju sedimentasi, dan SST memberi kontribusi terhadap laju pertumbuhan karang [1],[23]–[26]. Ekosistem pesisir di daerah Wakatobi yang merupakan kawasan konservasi nasional di bawah pengawasan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, dengan pertimbangan ini diharapkan daerah ini memiliki pengaruh antropogenik yang rendah bila dibandingkan Teluk Lampung yang terbuka untuk aktivitas industri, seperti perikanan, pertanian, dan pelabuhan, serta aktivitas rumah tangga. Tujuan penelitian ini adalah untuk menginvestigasi umur dan laju pertumbuhan karang masif *Porites lobata* pada daerah Wakatobi dan Teluk Lampung menggunakan radiografi sinar-X.



## METODE PERCOBAAN

### Bahan dan Alat

Karang masif *Porites lobata* dikoleksi dari Kawasan Nasional Wakatobi (5°25'28.70" S; 123°35'7.07" E) pada 2016 dan lokasi Teluk Lampung tepatnya Pulau Pahawang (5°38'43.03" S; 105°14'34.02" E) pada 2017.



**Gambar 1.** Lokasi pengambilan sampel Teluk Lampung dan Kawasan Nasional Wakatobi.

Sampel karang masif diambil menggunakan peralatan bor pneumatik yang terhubung dengan tabung oksigen untuk menggerakkan pipa yang terbuat dari *stainless steel* dengan mata bor tungsten. Diameter pipa bor 5 cm dengan panjang 50 cm digunakan untuk pengeboran bagian tengah karang secara vertikal untuk memperoleh arah pertumbuhan yang berkesinambungan. Selama proses pengeboran ini selalu disertai aliran air di dalam selongsong bor yang mendorong butiran halus hasil gesekan antara karang dan mata bor sehingga mencegah pemblokiran perputaran mata bor [8].

Persiapan radiografi sinar-X diawali dengan membersihkan sampel karang dari material organik menggunakan air Milli-Q dalam bejana ultrasonik, kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C selama 6 hari.

### Tata Kerja

Sampel yang sudah kering dipotong menjadi lempengan dengan ketebalan 5 mm dengan alat gergaji potong, lempengan karang selanjutnya direndam dalam Milli-Q di bejana ultrasonik dan dikeringkan kembali pada suhu 60°C. Lempengan karang masif yang sudah kering kemudian dilakukan analisis menggunakan radiografi sinar-X (Rigaku RF-300EGM2) di Laboratorium Uji Tak Rusak NDT – Radiografi, BRIN dengan energi 30 keV selama 3 detik waktu paparan. Selanjutnya, perangkat lunak tidak berbayar ImageJ digunakan dalam penentuan umur, arah tumbuh, dan kecepatan pertumbuhan karang. Hasil analisis akan menggambarkan kronologi yang akurat apabila dikombinasikan



dengan inovasi proksi lain yang mewakili beberapa parameter lingkungan dalam mempelajari lebih dalam mengenai isu perubahan iklim.

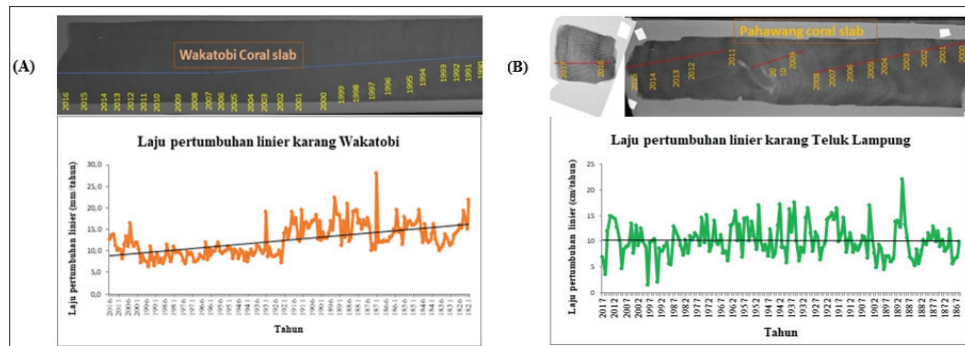
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis karang *Porites Lobata* di lokasi Taman Nasional Wakatobi dan Teluk Lampung telah berhasil dilakukan menggunakan radiografi sinar-X untuk pengukuran umur dan laju pertumbuhan linier (Tabel 1).

**Tabel 1.** Lokasi dan Informasi Sampel *Porites Lobata*

	Lokasi	
	Wakatobi	Lampung
Kedalaman (m)	$\pm 10$	$\pm 3$
Umur (tahun)	195	120
Panjang (mm)	2454	1568
Laju pertumbuhan (mm/tahun)	$12,58 \pm 3,71$	$10,38 \pm 3,78$

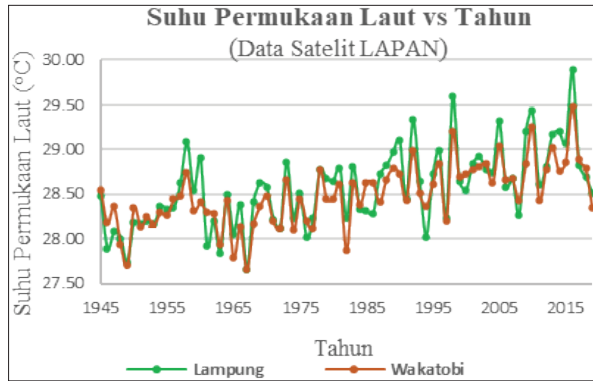
Berdasarkan Tabel 1, parameter kedalaman menggambarkan jarak permukaan air terhadap posisi karang saat dilakukannya pengambilan sampel, dan ini dapat berubah pada saat terjadinya pasang surut.



Keterangan: (A) Taman Nasional Wakatobi, (B) Teluk Lampung

**Gambar 2.** Foto Sinar-X dan Grafik Laju Pertumbuhan *Porites lobata*

Hasil pengukuran panjang sampel lokasi Wakatobi relatif lebih panjang dibandingkan sampel Lampung, dan ini berarti umur sampel karang Wakatobi lebih besar dibandingkan karang yang berasal dari Teluk Lampung. Sementara itu, terdapat perubahan arah yang cukup signifikan pada sampel Teluk Lampung dibandingkan sampel Wakatobi yang relatif stabil, hal ini mungkin dipengaruhi oleh kondisi lingkungan keadaan karang pada dua lokasi tersebut [18], [27], [28].



**Gambar 3.** Data suhu permukaan laut terhadap tahun melalui satelit LAPAN di Wakatobi dan Lampung.

Suatu perbedaan laju pertumbuhan karang dipengaruhi kondisi lingkungan sekitarnya, seperti halnya faktor tingkat kekeruhan air, arus, energi hidrolis, laju sedimentasi, dan curah hujan [29], [30], [31]. Selain faktor tersebut, suhu perairan merupakan faktor utama yang memengaruhi pertumbuhan karang dan proses klasifikasi pembentukan kerangka karang, di mana dengan kondisi ideal, yakni suhu 18–30°C, dan berada di perairan dangkal sehingga menerima sinar matahari yang cukup akan mendukung pertumbuhan karang yang baik [7], [24], [32], [33], [34]. Pada Gambar 2, terlihat signifikan terjadinya tren penurunan laju pertumbuhan karang, baik di Lampung maupun Wakatobi mulai tahun 1945 hingga tahun terkini. Sementara itu, Gambar 3 data satelit LAPAN menunjukkan suhu permukaan laut yang memiliki tren meningkat cukup signifikan pada rentang tahun tersebut.

Kedua berlawanan dengan aktivitas antropogenik cukup tinggi, Teluk Lampung memiliki keadaan alam yang menguntungkan, di mana terlindungi oleh mulut pulau dari arus dan ombak yang berasal dari Samudera Indonesia dan Laut Jawa membuat perairan ini memiliki tinggi muka air pasang di sekitar 0,3–1,4 m (BMKG Lampung) dengan arus air yang relatif tenang sehingga cocok untuk budi daya laut [35]. Minimnya aktivitas antropogenik di Taman Nasional Wakatobi tidak menutup fakta bahwa lokasinya berada di perairan terbuka dan merupakan bagian dari *Indonesian Throughflow* (ITF) atau Arus Lintas Indonesia, yakni arus antar samudera yang memiliki kontribusi dalam pergerakan iklim global, yakni mendorong perpindahan arus air hangat menuju samudera Hindia dari samudera Pasifik. Arus Lintas Indonesia ini dapat membawa kondisi ekstrem, seperti fenomena El-Nino dan La-Nina yang dapat mempercepat proses pemutihan karang (*coral bleaching*) dikarenakan ketiadaan simbiosis antara alga *zooxanthellae* dengan terumbu karang dalam pembentukan kerangka karang [3], [36]–[39].

**Tabel 2.** Laju Pertumbuhan *Porites Lobata* di Beberapa Lokasi.

Lokasi	Laju Pertumbuhan (mm/tahun)
Hawaii and Pasifik Tengah (1974) [40], [41]	6,13
Enewetak (Laut Pasifik) (1972) [42]	13,5
Australia (1977) [43]	4-13
Galapagos (1983) [44]	8,1
Filipina (1984) [45]	13,0
Oucun, South China Sea (2016) [46]	18,1
Samudera Pasifik Meksiko (2016) [5]	4,7
Penelitian ini, Indonesia (Wakatobi)	12,58
Penelitian ini, Indonesia (Lampung)	10,38

Tabel 2 menunjukkan beberapa data penelitian sebelumnya mengenai laju pertumbuhan karang masif *Porites lobata*, dapat dilihat bahwa hasil penelitian ini baik di lokasi Wakatobi maupun Teluk Lampung memiliki laju pertumbuhan mendekati lokasi negara kepulauan lain seperti Filipina (1984) dan Enewetak (1972).

## KESIMPULAN

Radiografi sinar-X menunjukkan data berupa umur, arah pertumbuhan, dan laju pertumbuhan karang masif *Porites lobata* di lokasi Taman Nasional Wakatobi dan Teluk Lampung, pada lokasi Wakatobi memiliki kondisi lingkungan yang ideal untuk pertumbuhan karang baik dari segi minimnya aktivitas antropogenik maupun kondisi perairan yang lebih natural dibandingkan lokasi Teluk Lampung.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Taman Nasional Wakatobi dan Balai Besar Perikanan Budi daya Laut Lampung dan untuk pendampingan lapangan dan pemberian akses ke lokasi pengambilan sampel karang. Serta kelompok Uji Tak Merusak Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi, ORTN, BRIN (sebelumnya PRTAIR BATAN) untuk analisis radiografi sinar-X. Kegiatan ini merupakan bagian dari kegiatan penelitian di unit kerja Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi, ORTN, BRIN yang didanai DIPA dan kegiatan kerja sama dengan IAEA melalui TC-INS7008.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. F. Precht, "Can *Porites* spp. corals be used as a bio-indicator for sediment stress on coral reefs?," *Ecol. Indic.*, vol. 106, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.ecolind.2019.105538.
- [2] D. Hopley, *Encyclopedia of Modern Coral Reefs*, no. Figure 3. Dordrecht: Springer Netherlands, 2011.
- [3] N. P. Zamani, A. Arman, dan Lalang, "The growth rate of coral *porites lutea* relating to



- the el niño phenomena at Tunda Island, Banten Bay, Indonesia,” *Procedia Environ. Sci.*, vol. 33, pp. 505–511, 2016, doi: 10.1016/j.proenv.2016.03.103.
- [4] S. J. Fallon, J. C. White, dan M. T. McCulloch, “Porites corals as recorders of mining and environmental impacts: Misima Island, Papua New Guinea,” *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 66, no. 1, pp. 45–62, Jan. 2002, doi: 10.1016/S0016-7037(01)00715-3.
- [5] J. de J. A. Tortolero-Langarica dkk., “Differences in growth and calcification rates in the reef-building coral porites lobata: the implications of morphotype and gender on coral growth,” *Front. Mar. Sci.*, vol. 3, Sep. 2016, doi: 10.3389/fmars.2016.00179.
- [6] R. M. Yoshioka dkk., “Linking sewage pollution and water quality to spatial patterns of Porites lobata growth anomalies in Puako, Hawaii,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 104, no. 1–2, pp. 313–321, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.01.002.
- [7] J. J. A. Tortolero-Langarica dkk., “Skeletal extension, density and calcification rates of massive free-living coral Porites lobata Dana, 1846,” *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, vol. 478, pp. 68–76, Mei. 2016, doi: 10.1016/j.jembe.2016.02.005.
- [8] A. Arman, N. P. Zamani, dan T. Watanabe, “Studi penentuan umur dan laju pertumbuhan terumbu karang terkait dengan perubahan iklim ekstrim menggunakan sinar-x,” *A Sci. J. Appl. Isot. Radiat.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–10, 2013, doi: 10.17146/jair.2013.9.1.850.
- [9] L. W. S. Æ. D. B. Æ. C. Birkeland, “Phenotypic plasticity for skeletal growth , density and calcification of Porites lobata in response to habitat type,” *Coral Reefs*, vol. 26, no. 3, pp. 559–567, Agt. 2007, doi: 10.1007/s00338-007-0216-z.
- [10] E. N. Edinger dkk., “Heavy metal contamination from gold mining recorded in Porites lobata skeletons, Buyat–Ratototok district, North Sulawesi, Indonesia,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 56, no. 9, pp. 1553–1569, Sep. 2008, doi: 10.1016/j.marpolbul.2008.05.028.
- [11] S. Krishnakumar dkk., “Metal concentrations in the growth bands of *Porites* sp.: a baseline record on the history of marine pollution in the Gulf of Mannar, India,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 101, no. 1, pp. 409–416, Des. 2015, doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.10.009.
- [12] T.-R. Chen dkk., “Heavy metal pollution recorded in Porites corals from Daya Bay, northern South China Sea,” *Mar. Environ. Res.*, vol. 70, no. 3–4, pp. 318–326, Sep. 2010, doi: 10.1016/j.marenvres.2010.06.004.
- [13] S. A. Al-Rousan dkk., “Heavy metal contents in growth bands of *Porites* corals: record of anthropogenic and human developments from the Jordanian Gulf of Aqaba,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 54, no. 12, pp. 1912–1922, Des. 2007, doi: 10.1016/j.marpolbul.2007.08.014.
- [14] D. J. Barnes dan J. M. Lough, “Systematic variations in the depth of skeleton occupied by coral tissue in massive colonies of *Porites* from the Great barrier reef,” *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, vol. 159, no. 1, pp. 113–128, Jul. 1992, doi: 10.1016/0022-0981(92)90261-8.
- [15] J. M. Lough dan D. J. Barnes, “Several centuries of variation in skeletal extension, density and calcification in massive *Porites* colonies from the Great Barrier Reef: a proxy for seawater temperature and a background of variability against which to identify unnatural change,” *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, vol. 211, no. 1, pp. 29–67, Apr. 1997, doi: 10.1016/S0022-0981(96)02710-4.
- [16] T. Felis dan J. Pätzold, “Climate reconstructions from annually banded corals,” *Glob. Environ. Chang. Ocean L.*, pp. 205–227, 2004.
- [17] D. W. Knutson, R. W. Buddemeier, dan S. V. Smith, “Coral chronometers: seasonal





- growth bands in reef corals,” *Science (80-.)*, vol. 177, no. 4045, pp. 270–272, Jul. 1972, doi: 10.1126/science.177.4045.270.
- [18] H. Charry, E. M. Alvarado, dan J. A. Sánchez, “Annual skeletal extension of two reef-building corals from The Colombian Caribbean Sea,” *Bull. Mar. Coast. Res.*, vol. 33, pp. 209–222, Jan. 2016, doi: 10.25268/bimc.invemar.2004.33.0.255.
- [19] H. Guzmán dan A. Tudhope, “Seasonal variation in skeletal extension rate and stable isotopic ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  and  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) composition in response to several environmental variables in the Caribbean reef coral *Siderastrea siderea*,” *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, vol. 166, pp. 109–118, 1998, doi: 10.3354/meps166109.
- [20] M. A. Cane, “The evolution of El Niño, past and future,” *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 230, no. 3–4, pp. 227–240, Feb. 2005, doi: 10.1016/j.epsl.2004.12.003.
- [21] T. Ourbak dkk., “A high-resolution investigation of temperature, salinity, and upwelling activity proxies in corals,” *Geochemistry, Geophys. Geosystems*, vol. 7, no. 3, pp. 1–13, 2006, doi: 10.1029/2005GC001064.
- [22] M. K. Gagan dkk., “Temperature and surface-ocean water balance of the mid-holocene tropical western pacific,” *Science (80-.)*, vol. 279, no. 5353, pp. 1014–1018, Feb. 1998, doi: 10.1126/science.279.5353.1014.
- [23] H. Yan dkk., “Regional coral growth responses to seawater warming in the South China Sea,” *Sci. Total Environ.*, vol. 670, no. 164, pp. 595–605, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.135.
- [24] D. J. Barshis dkk., “High-frequency temperature variability mirrors fixed differences in thermal limits of the massive coral *Porites lobata* (Dana, 1846),” *J. Exp. Biol.*, vol. 221, no. 24, Jan. 2018, doi: 10.1242/jeb.188581.
- [25] D. Storz dan E. Gischler, “Coral extension rates in the NW Indian Ocean I: reconstruction of 20th century SST variability and monsoon current strength,” *Geo-Marine Lett.*, vol. 31, no. 3, pp. 141–154, Jun. 2011, doi: 10.1007/s00367-010-0221-z.
- [26] M. J. C. Crabbe dan D. J. Smith, “Sediment impacts on growth rates of *Acropora* and *Porites* corals from fringing reefs of Sulawesi, Indonesia,” *Coral Reefs*, vol. 24, no. 3, pp. 437–441, Nov. 2005, doi: 10.1007/s00338-005-0004-6.
- [27] M. Nyström, C. Folke, dan F. Moberg, “Coral reef disturbance and resilience in a human-dominated environment,” *Trends Ecol. Evol.*, vol. 15, no. 10, pp. 413–417, Oct. 2000, doi: 10.1016/S0169-5347(00)01948-0.
- [28] J.-S. Hwang dkk., “Bioaccumulation of trace metals in octocorals depends on age and tissue compartmentalization,” *PLoS One*, vol. 13, no. 4, p. e0196222, Apr. 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0196222.
- [29] J. M. Lough dan D. J. Barnes, “Environmental controls on growth of the massive coral *Porites*,” *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, vol. 245, no. 2, pp. 225–243, Mar. 2000, doi: 10.1016/S0022-0981(99)00168-9.
- [30] O. M. Luthfi dan R. M. A. M. R. Sontodipoero, “Linear extension rate as express of growth rate coral *Porites lutea* of South Java Sea,” dalam AIP Conference Proceedings, 2019, p. 050010, doi: 10.1063/1.5061903.
- [31] M. J. C. Crabbe, M. E. J. Wilson, dan D. J. Smith, “Quaternary corals from reefs in the Wakatobi Marine National Park, SE Sulawesi, Indonesia, show similar growth rates to



- modern corals from the same area,” *J. Quat. Sci.*, vol. 21, no. 8, pp. 803–809, Des. 2006, doi: 10.1002/jqs.1001.
- [32] S. Reynaud dkk., “Light and temperature effects on Sr/Ca and Mg/Ca ratios in the scleractinian coral *Acropora* sp.,” *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 71, no. 2, pp. 354–362, Jan. 2007, doi: 10.1016/j.gca.2006.09.009.
- [33] A. Armid dkk., “Seawater temperature proxies based on DSr, DMg, and DU from culture experiments using the branching coral *Porites cylindrica*,” *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 75, no. 15, pp. 4273–4285, Agu. 2011, doi: 10.1016/j.gca.2011.05.010.
- [34] C. Corvianawatie, S. Y. Cahyarini, dan M. R. Putri, “The effect of changes in sea surface temperature on linear growth of *Porites* coral in Ambon Bay,” dalam *AIP Conference Proceedings*, 2015, vol. 1677, p. 060008, doi: 10.1063/1.4930688.
- [35] H. Yulianto dkk., “Spatial analysis to evaluate the suitability of seaweed farming site in Lampung Bay, Indonesia,” *Turkish J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 17, no. 6, pp. 1253–1261, Nov. 2017, doi: 10.4194/1303-2712-v17\_6\_18.
- [36] S. Wouthuyzen, M. Abrar, dan J. Lorwens, “A comparison between the 2010 and 2016 El-Ninō induced coral bleaching in the Indonesian waters,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 118, no. 1, Feb. 2018, doi: 10.1088/1755-1315/118/1/012051.
- [37] S. Yusuf and J. Jompa, “First quantitative assessment of coral bleaching on Indonesian reefs,” *Icrs2012. Com*, July, 2012, [Online]. Tersedia: [http://www.icrs2012.com/proceedings/manuscripts/ICRS2012\\_17D\\_6.pdf](http://www.icrs2012.com/proceedings/manuscripts/ICRS2012_17D_6.pdf).
- [38] C. J. S. Kim dkk., “The condition of coral reefs in Timor-Leste before and after the 2016–2017 marine heatwave,” *bioRxiv*, pp. 1–31, 2020.
- [39] J. S. Godfrey, “The effect of the Indonesian throughflow on ocean circulation and heat exchange with the atmosphere: A review,” *J. Geophys. Res. Ocean.*, vol. 101, no. C5, pp. 12217–12237, Mei. 1996, doi: 10.1029/95JC03860.
- [40] R. W. Buddemeier dan R. A. Kinzie, “Coral growth,” *Ocean. Mar Biol Annu Rev*, vol. 14, pp. 183–225, 1976.
- [41] R. W. Buddemeier, J. E. Maragos, dan D. W. Knutson, “Radiographic studies of reef coral exoskeletons: Rates and patterns of coral growth,” *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, vol. 14, no. 2, pp. 179–199, Jan. 1974, doi: 10.1016/0022-0981(74)90024-0.
- [42] D. W. Knutson, R. W. Buddemeier, dan S. V. Smith, “Coral Chronometers: Seasonal Growth Bands in Reef Corals,” *Science (80)*, vol. 177, no. 4045, pp. 270–272, Jul. 1972, doi: 10.1126/science.177.4045.270.
- [43] P. Isdale, “Variation in growth rate of hermatypic corals in a uniform environment,” 1977.
- [44] P. W. Glynn dan G. M. Wellington, “*Corals and coral reefs of the Galápagos Islands*,” California, USA: Univ of California Press, 1983.
- [45] J. Patzold, “Growth rhythms recorded in stable isotopes and density bands in the reef coral *Porites lobata* (Cebu, Philippines),” *Coral Reefs*, vol. 3, no. 2, pp. 87–90, Okt. 1984, doi: 10.1007/BF00263758.
- [46] R. Su, J. M. Lough, dan D. Sun, “Variations in massive *Porites* growth rates at Hainan Island, northern South China Sea,” *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, vol. 546, pp. 47–60, Mar. 2016, doi: 10.3354/meps11654.



## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

Buku ini tidak diperjualbelikan.



KP-001

## KAJIAN PENERAPAN STANDAR NASIONAL INDONESIA (SNI) TERHADAP PANGAN OLAHAN SIAP SAJI IRADIASI UNTUK MENINGKATKAN DAYA SAING PRODUK

### *STUDY ON THE IMPLEMENTATION OF INDONESIAN NATIONAL STANDARDS IN THE IRRADIATED FOOD SECTOR TO IMPROVE PRODUCT COMPETITIVENESS*

Ika Wahyu Setya Andani, Anggraini Ratih Kumaraningrum,  
Ali Musyafa, dan M. Ari Rahmadani

#### ABSTRAK

Dalam era perdagangan bebas, peraturan teknis yang terkait dengan peredaran barang dan/atau jasa yang diberlakukan oleh suatu negara harus mengacu dan memenuhi suatu standar. Kebijakan Standar Nasional Indonesia (SNI) dikeluarkan dengan tujuan agar dapat memberikan manfaat kepada masyarakat baik sebagai konsumen maupun produsen. Sampai saat ini, sebagian masyarakat dan pelaku usaha belum memahami arti penting/manfaat dari SNI, baik SNI yang diberlakukan secara wajib maupun sukarela. Pangan olahan siap saji iradiasi, seperti rendang, pepes, dan semur merupakan produk unggulan ORTN dari proses iradiasi pangan. Pangan yang diiradiasi tersebut dapat dikembangkan menjadi komoditi perdagangan yang menjanjikan, asalkan produk-produk tersebut telah memenuhi standar terkait pangan iradiasi. Salah satu standar yang menjadi acuan dalam proses iradiasi pangan adalah SNI 8352: 2017. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian terkait penerapan SNI untuk pangan iradiasi. Metode yang digunakan dalam kajian ini adalah metode analisis dan pengumpulan data. Dengan pemenuhan standar, produk lokal khususnya terkait pangan siap saji iradiasi diharapkan bisa menembus pasar luar negeri dengan tingkat daya saing yang lebih tinggi.

**Kata kunci:** Standar; Pangan Iradiasi; Pangan Siap Saji Iradiasi; Standar Nasional Indonesia (SNI).

#### ABSTRACT

*In the era of free trade, technical regulations related to the circulation of goods and/or services imposed by a country must refer to and meet a standard. The Indonesian National Standard policy (SNI) is issued with the aim that SNI can provide benefits to the community, both as consumers and producers. Until now, some people and business actors have not understood the importance/benefits of SNI, both mandatory and voluntary SNI. Irradiated ready-to-eat foods such as, rendang, pepes, and stews are*

I. W. S. Andani, A. R. Kumaraningrum, A. Musyafa, & M. A. Rahmadani

\*Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi dan Mutu Nuklir BRIN, e-mail: ikaw002@brin.go.id , ikaismori@gmail.com

@ 2023 Penerbit BRIN

I. W. S. Andani, A. R. Kumaraningrum, A. Musyafa, dan M. A. Rahmadani, Kajian penerapan standar nasional Indonesia (SNI) terhadap pangan olahan siap saji iradiasi untuk meningkatkan daya saing produk," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citrarsmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 9, pp. 93–100, DOI: 10.55981/brin.690.c650, E-ISBN: 978-623-8372-02-7



*ORTN's superior products from the food irradiation process. The irradiated food can be developed into a promising trade commodity, as long as the products meet the standards related to irradiated food. One of the standards that is used as a reference in the food irradiation process is SNI 8352: 2017. Therefore, it is necessary to conduct a study related to the application of SNI for irradiated food. The method used in this study is the method of analysis and data collection. With the fulfillment of standards, local products, especially related to irradiated ready-to-eat food, are expected to penetrate foreign markets with a higher level of competitiveness.*

**Keywords:** *Standard; Irradiated Food; Irradiated Ready-To-Eat Food; Indonesian National Standard (SNI).*

## PENDAHULUAN

Iradiasi pangan merupakan suatu proses di mana bahan makanan dikenai sejumlah radiasi pengion [1]. Radiasi pengion yang dipergunakan biasanya berasal dari radiasi sinar gamma energi tinggi, sinar-x, dan elektron yang dipercepat [2]. Aplikasi radiasi pada pangan, antara lain untuk menghambat pertunasan pada umbi lapis dan umbi batang selama masa simpan; membasmi serangga dan menunda pematangan pada sayur dan buah-buahan; mengurangi jumlah patogen dan memperpanjang masa simpan pada ikan, pangan laut, daging, dan olahannya [3],[4].

Beberapa negara telah menggunakan teknologi iradiasi ini, misalnya Vietnam, Cina, Jepang, Belgia, Thailand, dan Australia [3]. Produk pangan yang diiradiasi, di antaranya berupa kentang, jambu, kelengkeng, seafood beku, dan berbagai rempah serta bumbu [3]. Meskipun demikian, teknologi ini masih kurang populer di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh kurangnya informasi terkait iradiasi pangan, konsepsi yang salah mengenai teknologi ini, kebutuhan teknologi iradiasi belum dirasakan manfaatnya, serta instalasi pertama membutuhkan biaya yang besar [4]. Padahal, di era perdagangan bebas ini, sudah selayaknya produk-produk yang berasal dari Indonesia dapat bersaing dengan produk asing, terlebih di dalam negeri sendiri.

Atas dasar hal ini, barang dan/jasa yang beredar di Indonesia harus mengacu dan memenuhi suatu standar. Standar adalah persyaratan teknis atau sesuatu yang dibakukan, termasuk tata cara dan metode yang disusun berdasarkan konsensus semua pihak/pemerintah/keputusan internasional yang terkait dengan memperhatikan syarat keselamatan, keamanan, kesehatan, lingkungan hidup, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, pengalaman, serta perkembangan masa kini dan masa depan untuk memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya [5]. Di Indonesia, Standar Nasional Indonesia (SNI) ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN). SNI pada dasarnya diterapkan secara sukarela, tetapi, dalam rangka kepentingan umum, keamanan, keselamatan, pelestarian lingkungan hidup, serta perkembangan perekonomian nasional, SNI dapat diberlakukan secara wajib oleh pemerintah. Pemberlakuan SNI secara wajib dilakukan dengan menerbitkan regulasi teknis oleh instansi pemerintah yang berwenang atau kementerian teknis. Pemberlakuan



tersebut harus mempertimbangkan berbagai aspek agar tidak terjadi persaingan yang tidak sehat, menghambat inovasi industri dan menghambat perkembangan UKM [6].

Penerapan SNI, baik secara sukarela maupun wajib, terbukti telah membawa manfaat. SNI berfungsi untuk membantu menjembatani kepentingan konsumen dengan pelaku usaha atau produsen. Penggunaan helm ber-SNI berpengaruh signifikan terhadap keparahan cedera fraktur tengkorak dan tulang wajah yang dialami oleh pengendara motor ketika mengalami kecelakaan [7]. Penerapan SNI 2547:2008 secara wajib pada meter air juga telah terbukti secara efektif dapat meningkatkan daya saing industri nasional dan menjamin mutu hasil industri [8].

Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN) BRIN sebagai lembaga penelitian yang kompeten dalam bidang iradiasi, telah melakukan uji coba dan komersialisasi terhadap beberapa produk pangan iradiasi. Rendang, pepes, dan semur merupakan produk unggulan ORTN dari proses iradiasi pangan. Pangan yang diproses dengan teknologi iradiasi akan bertahan lebih lama. Pengawetan makanan dengan iradiasi mempunyai beberapa keuntungan, yaitu kesegaran bahan yang diproses tidak berpengaruh karena iradiasi merupakan proses dingin; iradiasi mempunyai daya tembus yang besar, sehingga dapat dilakukan pada bahan pangan dalam kemasan; pemilihan bahan kemasan lebih leluasa; dan tidak menimbulkan residu pada bahan pangan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penerapan SNI bidang pangan iradiasi yang harus diterapkan oleh produsen pangan iradiasi khususnya untuk pangan olahan siap saji. Penerapan SNI diharapkan dapat meningkatkan daya saing produk lokal pangan iradiasi, baik di dalam negeri maupun mancanegara.

## **METODE PERCOBAAN**

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kualitatif. Metode kualitatif lebih menekankan pada pengamatan fenomena dan meneliti substansi makna dari fenomena tersebut. Analisis dan ketajaman penelitian kualitatif sangat dipengaruhi oleh kekuatan kata dan kalimat yang digunakan. Oleh karena itu, Basri (2014) menyimpulkan bahwa fokus dari penelitian kualitatif adalah pada proses dan pemaknaan hasilnya [9]. Perhatian penelitian kualitatif lebih tertuju pada elemen manusia, objek, dan institusi, serta hubungan atau interaksi di antara elemen-elemen tersebut, dalam upaya memahami suatu peristiwa, perilaku, atau fenomena [10].

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pangan iradiasi yang beredar di wilayah Indonesia wajib memenuhi persyaratan keamanan, mutu, gizi, label, dan iklan pangan [11]. Penggunaan iradiasi pada bahan panganpun perlu dikontrol dosisnya. Dosis iradiasi ini terdiri atas dosis rendah, sedang, dan tinggi, bergantung pada tujuan penggunaan. Selain dosis iradiasi yang harus diatur, terdapat ketentuan-ketentuan lain yang harus diperhatikan pada saat melakukan proses iradiasi pangan. Ketentuan ini mencakup persyaratan bahan,



persyaratan peralatan, penanganan, pengemasan, proses radiasi, penandaan, dan penyimpanannya.

Salah satu SNI terkait pangan iradiasi yang telah ditetapkan oleh BSN adalah SNI 8352:2017. SNI ini mengatur proses iradiasi pangan siap saji dosis tinggi ( $10\text{kGy} < \text{dosis} < 65\text{kGy}$ ), mulai dari penanganan pangan siap saji sebelum iradiasi sampai dengan pasca-iradiasi, dalam rangka memperpanjang masa simpan pangan siap saji, [12]. Selain tertuang dalam SNI, dosis maksimum iradiasi untuk berbagai jenis pangan dan tujuan iradiasi juga diatur dalam Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) No. 3 Tahun 2018 tentang Pangan Iradiasi.

SNI 8352:2017 menetapkan proses radiasi untuk pangan siap saji dosis tinggi mencakup persyaratan bahan, persyaratan peralatan, penanganan, pengemasan, proses radiasi, penandaan, dan penyimpanan. Adapun penjelasan mengenai persyaratan-persyaratan tersebut adalah sebagai berikut.

1. Bahan baku yang digunakan untuk pangan siap saji yang dapat diiradiasi dengan dosis tinggi, yaitu dari bahan daging dan ikan serta bahan pendukung seperti daun pisang dan es kering. Dalam menerapkan SNI 8352:2017, perlu juga mengacu standar lain, seperti SNI 3932:2008 (Daging sapi), SNI 3925:2008 (Daging kambing/domba), SNI 3924:2009 (Daging ayam), SNI 7474:2009 (Rendang daging), dan SNI 06-0126-1987 (Es kering).
2. Peralatan yang digunakan dalam proses pengolahan pangan siap saji harus memenuhi kriteria keselamatan dan potensi bahaya. Untuk peralatan listrik wajib sesuai dengan SNI IEC 60335 – 2 – 14:2011. Selain itu, Peralatan yang digunakan dalam proses pengolahan pangan siap saji harus memenuhi kriteria higienis dan sanitasi sesuai SNI CAC/RCP 1:2011.
3. Penanganan bahan baku yang dilakukan mencakup uji cemaran, baik mikroba maupun kimia sesuai ketentuan yang berlaku. Penanganan, meliputi penerimaan, pemilahan, penyiangan, pencucian, dan pengolahan.
4. Bahan kemasan untuk produk pangan siap saji harus tidak mencemari produk yang dikemas. Produk dikemas dan divakum secara higienis dengan menggunakan bahan *polyester*, *aluminum foil* dan *Linier Low Density Polyethelene* (LLDPE) atau yang setara.
5. Proses radiasi produk pangan siap saji harus sesuai dengan SNI ISO 14470: 2014 tentang Iradiasi Pangan. Persyaratan untuk pengembangan, validasi, dan pengendalian rutin proses radiasi menggunakan radiasi pengion untuk perlakuan pangan.
6. Penandaan produk pangan iradiasi siap saji harus sesuai ketentuan yang berlaku, di antaranya harus menuliskan tulisan “PANGAN IRADIASI” dan logo “RADURA”.
7. Penyimpanan produk pascairadiasi di ruang dengan suhu normal dan sirkulasi udara yang baik serta bebas dari hewan pengerat.



Berbagai persyaratan tersebut harus dipenuhi oleh produsen pangan siap saji yang melakukan iradiasi pada produknya dengan dosis tinggi.

Penerapan standar berguna meminimalkan perbedaan dan keragaman yang tidak menguntungkan dan tidak diperlukan. Dengan demikian, penerapan standar berperan sebagai pengendalian atas keanekaragaman dengan menentukan titik optimum produk menurut aspek ukuran, kandungan, komposisi, rating, dan cara kerja untuk memenuhi kebutuhan tertentu. Di samping hal tersebut, penerapan standar pada dasarnya memberi keuntungan bagi pelaku usaha yang menerapkannya dengan meningkatkan level mutu, keamanan, kehandalan, dan efisiensi produksi [13].

Beberapa penelitian tentang penerapan SNI dalam praktik iradiasi pangan telah membuktikan manfaatnya. Proses iradiasi pada jamur tiram putih telah terbukti dapat memperpanjang umur simpannya, dengan menekan pertumbuhan mikroba pada jamur tiram putih, dengan tidak mengubah sifat-fisiko dan kualitas organoleptiknya [14].

Penelitian lain telah dilakukan oleh Ermi Sukasih dan Setyadjit dalam hal mempertahankan mutu buah stroberi segar yang dilakukan dengan teknologi iradiasi sebagai perlakuan pascapanen buah stroberi. Iradiasi pada dosis yang tepat dapat dipertimbangkan untuk pengawetan stroberi. Dengan perlakuan ini, diharapkan buah stroberi segar dapat memenuhi syarat mutu sesuai dengan SNI 8026:2014 [15].

Kalfat dan Zubaidah telah membuktikan perlakuan iradiasi sinar gamma pada telur ayam broiler dapat menekan jumlah bakteri patogen yang terkandung di dalamnya. Dosis iradiasi 3 kGy dan penyimpanan suhu 4°C mampu mengurangi jumlah mikroba kontaminan dan memenuhi persyaratan yang ditetapkan SNI 3926:2008 [16].

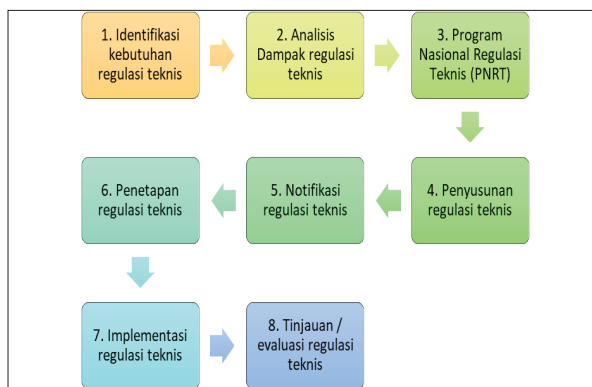
Pada tahun 2020, Santosa, dkk. melakukan penelitian dalam penerapan SNI 8352:2017 untuk produk pangan olahan siap saji produk UMKM yang diproses dengan menggunakan teknologi radiasi dosis tinggi. Hasilnya, pangan iradiasi produk UMKM dapat bertahan lebih lama dan meningkatkan keuntungan UMKM sebesar 40% [17].

Penelitian-penelitian tersebut merupakan contoh kecil dalam penggunaan teknologi iradiasi pangan dan penerapan SNI. Penerapan standar dapat berupa penerapan standar produk, penerapan sistem manajemen, penerapan standar jasa, penerapan standar proses, maupun penerapan standar personal. Seperti telah dijelaskan pada bagian pendahuluan, penerapan SNI dapat bersifat suka rela maupun wajib. Pada penerapan SNI secara sukarela, pelaku usaha/produsen yang telah mampu menerapkan SNI dapat mengajukan sertifikasi ke Lembaga Penilaian Kesesuaian (LPK) yang telah terakreditasi dan setelah mendapatkan sertifikat dapat membubuhkan logo SNI sesuai ketentuan. Penerapan SNI secara sukarela akan sulit berjalan jika masyarakat sebagai konsumen belum menilai suatu produk dari kualitasnya, namun, hanya melihat dari rendahnya harga [18].





Penerapan standar secara wajib bersifat mengikat, yaitu harus dipenuhi oleh seluruh pihak yang terkait, yaitu produsen, pengedar barang/jasa, atau pengguna standar lain. Konsekuensi penerapan standar secara wajib adalah semua produk yang beredar di wilayah Indonesia harus memenuhi persyaratan standar tersebut, dan merupakan tindakan yang tidak legal apabila beredar produk tanpa memenuhi persyaratan standar [18]. Namun, pemberlakuan SNI menjadi regulasi teknis agar dapat diberlakukan secara wajib tidak bisa serta merta dilakukan. Terdapat beberapa tahapan sebelum suatu SNI diberlakukan secara wajib. Tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Tahapan Pemberlakuan SNI secara Wajib Menjadi Regulasi Teknis [16]

Penerapan SNI 8352:2017 pada proses radiasi pangan siap saji dosis tinggi ( $10 \text{ kGy} < \text{dosis} \leq 65 \text{ kGy}$ ) sangat membantu dalam proses aplikasi teknologi iradiasi pangan karena menjabarkan ketentuan-ketentuan dalam proses radiasi. Dalam penerapan SNI 8352:2017 (standardisasi), perlu didukung ketersediaan infrastruktur mutu yang lain, yaitu penilaian kesesuaian dan metrologi. Jika penyusunan standar merupakan pilar utama dalam infrastruktur mutu karena memberikan kerangka acuan, maka penilaian kesesuaian merupakan alat untuk menunjukkan kepatuhan terhadap standar. Sementara itu, metrologi merupakan sistem pengukuran yang terkait dalam standarisasi dan penilaian kesesuaian di mana pengembangan standar pengukuran nasional harus dapat dilacak ke standar pengukuran internasional.

Penerapan SNI 8352:2017 oleh pelaku usaha akan mendorong daya saing produk pangan iradiasi di tingkat nasional. Bahkan, apabila pengembangan standar dapat berjalan secara harmonis dengan standar internasional dan/atau standar-standar yang diterapkan di negara-negara tujuan ekspor maka pangan iradiasi yang diproduksi di Indonesia dapat juga bersaing di mancanegara.



## KESIMPULAN

Banyak keuntungan yang diperoleh dari iradiasi pangan olahan siap saji, di antaranya bahan pangan menjadi awet tanpa pengawet, kesegaran bahan tetap terjaga, dan tidak ada residu yang tertinggal dalam pangan. Namun, tentu saja ada persyaratan tertentu dan perlu perlakuan khusus terhadap pangan olahan siap saji, yaitu pemenuhan persyaratan SNI 8352: 2017 oleh produsen pangan dan pelaku iradiasi. Pemenuhan persyaratan untuk pangan iradiasi tersebut akan menghasilkan produk iradiasi pangan yang sesuai SNI sehingga mampu bersaing di pasar domestik maupun mancanegara.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Riset Standardisasi dan Mutu Nuklir, beserta seluruh karyawan PRSMN yang telah mendukung dalam penulisan makalah ini. Terimakasih kepada seluruh anggota Komite Teknis 67-05 Bidang Pangan Iradiasi dan pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Farkas, D. A. E. Ehlermann, and Cs Mohacsi-Farkas, "Food technologies food irradiation," *Encyclopedia of Food Safety*, vol. 3, 2014.
- [2] IAEA, "Dosimetry for food irradiation. *Technical Report Series No. 409*," 2002.
- [3] N. Asiah, K. N. Kusaumantara, A. N. Annisa, "Iradiasi bahan pangan: antara peluang dan tantangan untuk optimalisasi aplikasinya," *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, vol. 15, no. 1, pp. 25–36, 2019.
- [4] T. R. Muchtadi, "Potensi pangan iradiasi untuk komersialisasi," dalam *Prosiding Simposium dan Pameran Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi*, pp. 27–28, 2010.
- [5] W. S. A. Ika and R. K. Anggraini, "Mekanisme perumusan standar nasional Indonesia bidang rekayasa energi nuklir untuk mendukung pembangunan PLTN di Indonesia," dalam *Prosiding Seminar Nasional Inovasi dan Pendetayagunaan Teknologi Nuklir 2020*, pp. 245–250, 2020.
- [6] Kementerian Perdagangan Republik Indonesia, "Kajian peranan SNI untuk penguatan pasar dalam negeri dan daya saing produk ekspor", 2015.
- [7] E. H. Purwanto, "Signifikansi helm SNI sebagai alat pelindung pengendara sepeda motor dari cedera kepala," *Jurnal Standardisasi*, vol.17, no. 1, pp. 31–46, 2015. <http://dx.doi.org/10.31153/js.v17i1.289>
- [8] D. A. Susanto dan A. B. Mulyono, "Efektivitas penerapan SNI 2547:2008 spesifikasi meter air secara wajib," *Jurnal Standardisasi*, vol. 19, no. 2, pp. 91–102, 2017.
- [9] H. Basri, "Using qualitative research in accounting and management studies: not a new agenda," *Journal of US-China Public Administration*, vol. 11, no.10, pp. 831–838, 2014, DOI: 10.17265/1548-6591/2014.10.003.
- [10] Z. M. Mohamed, A. H. Abdul Majid, dan N. Ahmad, "Tapping new possibility in accounting research, in qualitative research in accounting, Malaysian case," Malaysia: Penerbit Universiti Kebangsaan Malaysia, Kuala Lumpur.



## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

- [11] BPOM, “Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 3 Tahun 2018 Tentang Pangan Iradiasi,” 2018.
- [12] BSN, SNI 8352:2017 “Proses radiasi-pangan siap saji dosis tinggi (10 kGy < dosis ≤ 65 kGy),” 2017.
- [13] BSN, “Pengantar standardisasi,” Edisi Kedua, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2014.
- [14] I. Kadir, “Pemanfaatan iradiasi untuk memperpanjang daya simpan jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*) kering,” *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, vol. 6, no. 1, 2013. <http://dx.doi.org/10.17146/jair.2010.6.1.513>.
- [15] E. Sukasih, dan S. Setyadjit, “Teknologi penanganan buah segar stroberi untuk mempertahankan mutu,” *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, vol. 38, no. 1, pp. 47–54, 2019. <http://124.81.126.59/handle/123456789/7825>
- [16] A. J. J. Kalfat, dan E. Zubaidah, “Iradiasi sinar gamma pada telur ayam broiler sebagai upaya peningkatan keamanan pangan (kajian dosis iradiasi dan penyimpanan suhu 4° C),” *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, vol. 3, no. 4, 2014.
- [17] S. Santosa dkk., “Konsep penerapan SNI 8352: 2017 proses radiasi-pangan siap saji dosis tinggi (10 kGy < Dosis ≤ 65 kGy) untuk produk pangan olahan siap saji usaha mikro kecil menengah (UMKM),” *In Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Standardisasi*, vol. 2021, pp. 105–114.
- [18] BSN, Peraturan Badan Standardisasi Nasional Nomor 7 Tahun 2020 tentang Tata Cara Pemberlakuan Standar Nasional Indonesia Secara Wajib, Jakarta: BSN, 2014.



KP-003

## STUDI AWAL PENGAWETAN GUDEG DENGAN IRADIASI GAMMA DOSIS SEDANG KOMBINASI VARIASI PENGEMAS

### *PRELIMINARY STUDY OF PRESERVATION OF GUDEG WITH MODERATE-DOSE GAMMA IRRADIATION COMBINATION OF PACKAGING VARIATIONS*

R. P. Tanhindarto, A. M. Benita, I. M. Pratama, D. Lasmawati, dan H. Widyastuti

#### ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian terhadap pengaruh iradiasi gamma terhadap pangan olahan tradisional gudeg dengan dosis 8 kGy pada laju dosis 3,17 kGy/jam. Sampel dikemas dengan kemasan laminasi sesuai prosedur cara iradiasi yang baik sesuai SNI dosis sedang. Iradiasi dan kondisi penyimpanan sampel dilakukan pada suhu kamar. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh iradiasi gamma dosis sedang terhadap umur simpan makanan olahan tradisional gudeg sebagai alternatif teknik pengawetan yang sudah ada. Penelitian ini dilakukan dalam 4 tahap, yaitu 1) penentuan *Dose Uniformity Ratio* (DUR); 2) perbandingan kualitas gudeg iradiasi dan tanpa iradiasi dengan kemasan *nylon*; 3) perbandingan kualitas gudeg iradiasi dengan kemasan *nylon* dan *aluminium foil*; dan 4) perbandingan kualitas gudeg iradiasi dan tanpa iradiasi dengan kemasan *aluminium foil*. Iradiasi dilakukan pada Iradiator Karet Alam (IRKA) Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi, ORTN, BRIN (sebelumnya Pusat Riset dan Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi (PRTAIR)-BATAN). Parameter kualitas gudeg yang dilakukan, meliputi parameter kimia (pH,  $a_w$ , kadar air, kadar abu, kadar lemak, dan kadar protein); parameter mikrobiologi (*Total Plate Count*-TPC); dan parameter organoleptik (warna, tekstur, aroma, rasa, dan tampilan). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa DUR pada dosis permintaan 8 kGy adalah 1,12 dengan dosis minimal 7,86 kGy dan dosis maksimal 8,81 kGy. Gudeg yang diradiasi pada dosis 8 kGy dengan kemasan *aluminium foil* memiliki kualitas kimia, mikrobiologis, dan organoleptik yang masih baik sampai dengan 6 bulan penyimpanan pada suhu ruang, untuk kemasan *nylon* 2 bulan penyimpanan pada suhu ruang, sedang perlakuan tanpa iradiasi (kontrol) mempunyai umur simpan kurang dari 2 hari. Namun demikian, masih terdapat potensi umur simpan gudeg iradiasi untuk diperpanjang dengan penelitian lebih lanjut.

**Kata kunci:** Iradiasi Pangan; Sinar Gamma; Gudeg Awet Iradiasi.

R. P. Tanhindarto, A. M. Benita, I. M. Pratama, D. Lasmawati, & H. Widyastuti

\*Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi BRIN, e-mail: rindypt@batan.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

R. P. Tanhindarto, A. M. Benita, I. M. Pratama, D. Lasmawati, dan H. Widyastuti, "Studi awal pengawetan gudeg dengan iradiasi gamma dosis sedang kombinasi variasi pengemas," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 10, pp. 101–112, DOI: 10.55981/brin.690.c651, E-ISBN: 978-623-8372-02-7

**ABSTRACT**

*Research has been carried out on the effect of gamma irradiation on gudeg at a dose of 8 kGy at a dose rate of 3.17 kGy/hour. Samples were packaged in laminated packaging according to good irradiation procedures according to a medium dose based on Indonesia National Standard (SNI). Irradiation and sample storage conditions were carried out at room temperature. This study aims to examine the effect of medium-dose gamma irradiation on the shelf life of gudeg as an alternative to existing preservation techniques. This research was conducted in 4 stages, namely 1) determination of the Dose Uniformity Ratio (DUR); 2) comparison of irradiated and non-irradiated gudeg quality with nylon packaging; 3) comparison of irradiated gudeg quality with nylon and aluminum foil packaging; and 4) comparison of irradiated and non-irradiated gudeg quality with aluminum foil packaging. Irradiation was carried out at Irradiator Karet Alam (IRKA) PRTAIR-ORTN. The gudeg quality parameters carried out included chemical parameters (pH,  $a_w$ , moisture content, ash content, fat content, and protein content); microbiological parameters (Total Plate Count-TPC); and organoleptic parameters (color, texture, aroma, taste, and appearance). The results obtained showed that the DUR at the 8 kGy demand dose was 1.12 with a minimum dose of 7.86 kGy and a maximum dose of 8.81 kGy. Gudeg irradiated at a dose of 8 kGy with Aluminum foil packaging had good chemical, microbiological, and organoleptic qualities up to 6 months of storage at room temperature, for nylon packaging up to 2 months of storage at room temperature, while the treatment without irradiation (control) had a shelf life of 2 days. However, there is still potential for the shelf life of irradiated gudeg to be extended by further research.*

**Keywords:** Food Irradiation; Gamma Ray; Irradiated Gudeg.

**PENDAHULUAN**

Peningkatan jumlah penduduk Indonesia menjadi tolak ukur peningkatan kebutuhan pangan di Indonesia. Salah satu kebijakan pemerintah untuk mengatasi peningkatan kebutuhan pangan di Indonesia, yaitu dengan pengembangan sistem ketahanan pangan berbasis pangan lokal termasuk pangan tradisional.

Gudeg merupakan salah satu makanan tradisional khas Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) yang digemari tidak hanya warga sekitar, tetapi juga masyarakat Indonesia pada umumnya. Oleh sebab itu, industri Gudeg baik di kawasan DIY maupun di luar DIY dapat ditemukan dengan mudah. Hal ini membuat gudeg menjadi salah satu makanan tradisional yang berpotensi untuk dikembangkan dalam upaya mencapai ketahanan pangan di Indonesia.

Masalah pangan tradisional di antaranya ada pada mutu dan keamanan produk. Begitu pula dengan gudeg. Gudeg merupakan makanan semi basah sehingga memiliki umur simpan pendek. Bahan utama gudeg adalah buah nangka muda yang diolah dengan rempah-rempah dan santan dengan pemanasan dalam waktu yang lama. Berdasarkan proses pembuatannya, gudeg dibagi menjadi gudeg basah dan gudeg kering. Gudeg basah dimasak satu kali sampai santan meresap, sedangkan gudeg kering dimasak dua kali, pemasakan kedua dilakukan dengan menumis gudeg basah sehingga kadar air berkurang [1]. Salah satu usaha yang telah dilakukan untuk memperpanjang umur simpan gudeg adalah dengan cara pengalengan [2]. Pengalengan merupakan salah satu cara memperpanjang umur simpan dengan



melibatkan panas (proses termal) sehingga memungkinkan terjadinya perubahan nilai gizi dan organoleptik terutama untuk produk pangan yang sensitif terhadap panas. Oleh karena itu, proses pengawetan nontermal saat ini menjadi alternatif pilihan dalam memperpanjang umur simpan. Salah satu teknik pengawetan nontermal yang dapat diaplikasikan pada produk pangan, termasuk gudeg, adalah teknik iradiasi.

Iradiasi adalah proses mengekspos tipe radiasi tertentu pada suatu bahan atau produk untuk mendapatkan perubahan yang diinginkan [3]. Salah satu pemanfaatan teknik iradiasi adalah untuk memperpanjang umur simpan produk pangan. Iradiasi telah terbukti dapat memperpanjang umur simpan berbagai produk pangan mulai dari buah segar sampai dengan pangan olahan [4]–[13]. Proses iradiasi merupakan pengawetan nontermal (tidak melibatkan suhu tinggi) sehingga proses iradiasi dapat menjaga kualitas gizi, kesegaran, dan kualitas organoleptik produk pangan [14],[15],[16]. Pangan iradiasi juga terbukti aman. Beberapa penelitian membuktikan bahwa produk pangan yang diiradiasi dengan benar sesuai standar aman dari bahaya mikrobiologi dan bahaya toksik [17]–[20]. Oleh karena itu, teknik iradiasi dapat menjadi salah satu alternatif pengawetan pangan yang perlu dipertimbangkan terutama untuk pengawetan produk pangan termasuk pangan tradisional, seperti gudeg.

Iradiasi sinar gamma telah dimanfaatkan untuk mengurangi mikroba atau membunuh mikroba patogen dan memperpanjang umur simpan baik bahan pangan segar, kering, maupun olahan. Sumber iradiasi yang mengenai bahan pangan akan menyebabkan terjadinya eksitasi dan ionisasi yang dapat mengganggu ikatan kimia dalam DNA dan mencegah sintesis DNA pada makhluk hidup sehingga dapat menghentikan pertumbuhan bakteri patogen, menghancurkan serangga penyebab kerusakan, serta memperpanjang umur simpan pada produk pangan [7],[21].

Indonesia juga telah mengatur regulasi pangan iradiasi yang beredar melalui Peraturan Pemerintah melalui Kepala BPOM No. 3 Tahun 2018 tentang Pangan Iradiasi, untuk memastikan keamanan pangan yang diiradiasi [22]. Standar Nasional Indonesia juga telah menerbitkan standar untuk iradiasi pangan dosis sedang [23] dan dosis tinggi. Selain itu, beberapa SNI produk pangan iradiasi spesifik juga telah diterbitkan, salah satunya SNI untuk rendang iradiasi [24].

Kemasan yang dapat digunakan untuk mengemas pangan iradiasi dipilih sesuai ketentuan yang berlaku. Beberapa kemasan yang dapat digunakan untuk mengemas pangan iradiasi di antaranya polimer sintetik, polimer alami, metal, dan kaca. Produk pangan iradiasi dapat dikemas secara vakum untuk mencegah terjadinya *rancidity* [25]. Pemilihan kemasan yang tepat dapat memengaruhi umur simpan produk pangan iradiasi.

Produk pangan yang di iradiasi pada kondisi yang tepat aman dikonsumsi tanpa mengalami perubahan nilai gizi dan organoleptik, serta awet disimpan pada suhu kamar. Tujuan dari penelitian ini adalah meningkatkan daya saing komoditi pangan



dan pemanfaatan iptek nuklir di bidang pangan, khususnya dalam memperpanjang umur simpan pangan tradisional gudeg sehingga dapat membantu meningkatkan program keamanan dan ketahanan pangan.

## METODE PERCOBAAN

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan, yaitu gudeg yang didapatkan dari industri kecil gudeg yang berlokasi di Bogor dan diketahui tanggal produksinya. Bahan pengemas (*nylon* dan *aluminium foil* laminasi) didapatkan dari industri pengemas, kemasan sekunder styrofoam (25 x 30 x 45 cm), bahan kimia untuk analisis.

Iradiasi dilakukan dalam Iradiator Karet Alam (IRKA) di Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi (PRTR), ORTN BRIN, Pasar Jumat Jakarta yang menggunakan sumber radiasi  $^{60}\text{Co}$  pada laju dosis 3,17 kGy/jam. Alat lain yang digunakan di antaranya spektrofotometer Hitachi dan amber dosimeter, pH meter Neo Met pH/ISE Meter 79P, aw meter, neraca, oven, dan alat gelas untuk analisis.

### Tata Kerja

Penelitian dilakukan dalam 4 tahap, yaitu 1) penentuan *Dose Uniformity Ratio* (DUR); 2) perbandingan kualitas gudeg iradiasi dan tanpa iradiasi dengan kemasan *nylon*; 3) perbandingan kualitas gudeg iradiasi dengan kemasan *nylon* dan *aluminium foil*; dan 4) perbandingan kualitas gudeg iradiasi dan tanpa iradiasi dengan kemasan *aluminium foil*.

Pengamatan dosimetri terhadap proses radiasi sinar gamma dilakukan dengan cara meletakkan dosimeter pada kotak sesuai lokasi yang telah ditentukan. Dosimeter Harwell Amber 3042 mempunyai kisaran dosis 1–30 kGy dan analisis didasarkan perubahan warna pada panjang gelombang ( $\lambda$ ) = 603 nm untuk dosis 1–10 kGy [26]. Laju dosis diperoleh dengan cara dosimeter Harwell Amber 3042 diiradiasi dengan variasi waktu. Selanjutnya,  $A$  adalah nilai absorban yang terukur maka  $A_s$  (absorban spesifik) adalah  $A$  dibagi tebal ( $d$ ) dosimeter. Kemudian, dosis serap dihitung menggunakan sistem dosimetri kalibrasi. Perubahan nilai *Optical Density* (OD) dari hasil pengukuran dosimeter setiap perlakuan diperoleh data dosis maksimum dan minimum. Data yang diperoleh digunakan untuk menghitung dosis serap dan DUR.

Setelah diperoleh dosis serap dan DUR, dilakukan penelitian tahap 2, yaitu perbandingan kualitas gudeg iradiasi dan tanpa iradiasi dengan kemasan *nylon*. Penelitian ini merupakan penelitian awal dengan parameter yang diuji, yaitu uji organoleptik. Persiapan radiasi dilakukan dengan mengemas dalam kondisi vakum sampel gudeg dengan bahan kontak kemasan sesuai perlakuan (*nylon* atau *aluminium foil* laminasi). Kemudian dimasukkan dalam kotak styrofoam yang sudah dilakukan dosimetri.



Proses radiasi dilakukan pada kondisi suhu kamar dan diiradiasi dengan sinar gamma dengan variasi dosis 0 (kontrol) dan 8 kGy pada laju dosis 3,17 kGy/jam. Adapun cara penyiapan proses radiasi dilakukan sesuai cara iradiasi yang baik sesuai standar dosis sedang (SNI dosis sedang). Setelah iradiasi, sampel disimpan pada suhu ruang ( $28 \pm 2$ ) °C dengan kelembapan relatif (60–70)%.

Penelitian tahap 3, yaitu perbandingan perbandingan kualitas gudeg iradiasi dengan kemasan *nylon* dan *aluminium foil*. Pengamatan meliputi uji proksimat (kadar air, abu, lemak, dan protein) [27], nilai pH, nilai aktivitas air (*Aw*), uji *Total Plate Count* (TPC)[28], dan uji organoleptik (warna, tekstur, aroma, rasa, dan tampilan). Batasan umur simpan dilakukan secara sensori, pengemas, dan kondisi proses radiasi.

Penelitian tahap 4, yaitu perbandingan kualitas gudeg iradiasi dengan kemasan *aluminium foil* laminasi yang disimpan selama 6 bulan dalam suhu ruang dan gudeg tanpa iradiasi dengan kemasan *aluminium foil* laminasi yang disimpan selama 6 bulan dalam suhu -20°C. Pengamatan penelitian tahap 3 dan 4, meliputi uji proksimat (kadar air, abu, lemak, dan protein) [27], nilai pH, nilai aktivitas air (*aw*), uji *Total Plate Count* (TPC) [28], dan uji organoleptik (warna, tekstur, aroma, rasa dan tampilan). Batasan umur simpan dilakukan secara sensori, pengemas, dan kondisi proses radiasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Dose Uniformity Ratio* (DUR)

Hasil pengukuran dosis serap pada produk gudeg radiasi pada sumber radiasi sinar gamma di fasilitas iradiator IRKA pada dosis permintaan 8 dan 10 kGy disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Pengukuran Dosimeter pada Dosis Permintaan 8 kGy dan 10 kGy

Dosis (kGy)	D <sub>min</sub> (kGy)	D <sub>max</sub> (kGy)	Dosis rerata (kGy)	DUR
8	7,86	8,81	8,25	1,12
10	10,89	8,63	9,8	1,26

Keterangan: D<sub>min</sub>: dosis minimum; D<sub>max</sub>: dosis maksimum, DUR: *Dose Uniformity Ratio*

Dosis iradiasi yang digunakan pada produk pangan perlu disesuaikan dengan batas maksimal dan tujuannya. Secara umum, dosis iradiasi untuk pangan dapat dibagi menjadi 3 (tiga), yaitu dosis rendah (10Gy-1kGy), dosis sedang (1-10kGy) dan dosis tinggi (10-100 kGy). Dosis rendah digunakan untuk mencegah pertunasan dan fitosanitari. Dosis sedang digunakan untuk mempertahankan kualitas produk pangan dan mengurangi pembusukan yang disebabkan oleh mikroorganisme. Dosis tinggi digunakan untuk sterilisasi produk pangan [26].

DUR menggambarkan keseragaman dosis yang diterima produk, pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa DUR untuk dosis permintaan 8 kGy pada IRKA adalah 1,12.





Makin dekat nilai DUR dengan 1 (satu) menggambarkan dosis yang diterima produk makin seragam [26]. Pengukuran DUR ini diperlukan agar hasil percobaan dapat menunjukkan dengan jelas hubungan antara dosis dan efek yang ditimbulkan.

### Gudeg Iradiasi Kemasan *Nylon*

Pada tahap ini, gudeg iradiasi kemasan *nylon* disimpan dalam kondisi suhu ruang selama 2 bulan. Ketampakan sampel gudeg iradiasi kemasan *nylon* yang disimpan dalam jangka waktu 2 bulan disajikan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Sampel Gudeg Yang Diiradiasi Pada Dosis 8 Kgy Penyimpanan 2 Bulan

Dapat dilihat pada Gambar 1, gudeg iradiasi setelah disimpan pada suhu ruang selama 2 bulan memiliki kenampakan yang normal dan masih dapat diterima. Hasil ini masih belum sesuai dengan harapan. Pendeknya umur simpan gudeg radiasi dengan kemasan *nylon* dapat disebabkan karena sifat kemasan *nylon*. *Nylon* merupakan termoplastik yang dapat digunakan untuk mengemas bahan pangan. *Nylon* memiliki keunggulan, di antaranya memiliki retensi aroma yang tinggi, tidak berasa, tidak berbau, dan tidak toksik. Namun, *nylon* memiliki permeabilitas uap air yang tinggi. Air yang diserap *nylon* dapat memberikan efek *plasticizing* menyebabkan berkurangnya *tensile strength* dan meningkatkan *impact strength* [29].

Produk pangan yang dikemas dengan *nylon* perlu disimpan dalam tempat yang kering (tidak lembab) untuk menjaga permeabilitas oksigen dan gas lain tetap rendah [29]. Hal ini dimungkinkan menjadi penyebab produk gudeg iradiasi kemasan *nylon* memiliki umur simpan yang relatif pendek.

### Perbandingan Kualitas Gudeg Iradiasi Kemasan *Nylon* Dan Kemasan Aluminium Foil Laminasi

Setelah diketahui bahwa gudeg iradiasi kemasan *nylon* memiliki umur simpan 2 bulan, dilakukan pemilihan kemasan *aluminium foil* laminasi dan dibandingkan kualitas fisiko-kimia dan organoleptiknya setelah diiradiasi. Pemilihan kemasan *aluminium*



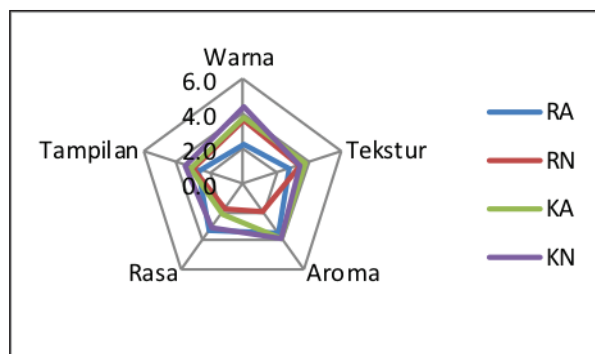
*foil* laminasi karena kemasan ini memiliki permeabilitas yang lebih rendah baik terhadap uap air, oksigen, gas lain, dan aroma volatil dibanding dengan jenis plastik lainnya, serta dapat menahan cahaya yang dapat menjadi penyebab oksidasi [30]. Perbandingan kualitas gudeg iradiasi pada kemasan *nylon* dan kemasan *aluminium foil* laminasi terhadap sifat fisiko-kimia dan mikrobiologi disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Perbandingan Kualitas Fisiko-Kimia dan Mikrobiologi Gudeg Iradiasi Kemasan *Nylon* dan Kemasan *Aluminium Foil* Laminasi.

Parameter	Kontrol		Iradiasi	
	Al*	Nilon	Al*	Nilon
Nilai pH	5,16 ± 0,01	5,37 ± 0,29	5,18 ± 0,02	5,31 ± 0,03
Aktivitas air (Aw)	0,549 ± 0,005	0,538 ± 0,003	0,540 ± 0,004	0,536 ± 0,004
Kadar air (%)	77,97 ± 0,50	77,56 ± 1,30	77,51 ± 0,28	77,83 ± 0,62
Kadar abu (%)	1,59 ± 0,19	1,77 ± 0,18	1,56 ± 0,25	1,40 ± 0,07
Kadar Lemak (%)	3,25 ± 0,35	2,54 ± 0,05	1,57 ± 0,53	1,52 ± 0,95
Kadar Protein (%)	1,5 ± 0,14	2,22 ± 0,23	1,89 ± 0,11	1,93 ± 0,15
TPC	4,3 × 10 <sup>3</sup>	9,5 × 10 <sup>3</sup>	2,3 × 10 <sup>2</sup>	6,9 × 10 <sup>3</sup>

Keterangan: \* Al: *Aluminium foil*-laminasi

Hasil uji organoleptik gudeg iradiasi dengan kemasan *nylon* dan *aluminium foil* laminasi disajikan pada Gambar 2.



Keterangan: RA: gudeg radiasi kemasan aluminium foil laminasi; RN: gudeg radiasi kemasan *nylon*; KA: gudeg kontrol kemasan *aluminium foil* laminasi; KN: gudeg kontrol kemasan *nylon*

**Gambar 2.** Hasil Uji Organoleptik Gudeg Iradiasi Kemasan *Nylon* dan *Aluminium Foil* Laminasi

Dari hasil perbandingan kualitas fisikokimia dapat dilihat bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara gudeg radiasi yang dikemas dan *aluminium foil* laminasi dan *nylon* dibanding dengan gudeg kontrol. Hal ini mengindikasikan bahwa kemasan *aluminium foil* laminasi tidak memberikan efek yang signifikan terhadap mutu gudeg setelah diradiasi. Sementara itu, untuk hasil uji mikrobiologi dapat dilihat pada hasil pengujian TPC bahwa iradiasi dapat menurunkan total mikroba



pada produk gudeg, baik yang dikemas dengan kemasan *nylon* maupun *aluminium foil* laminasi. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa sumber iradiasi yang mengenai bahan pangan akan menyebabkan terjadinya eksitasi dan ionisasi yang mencegah sintesis DNA pada makhluk hidup sehingga dapat digunakan untuk menghentikan pertumbuhan bakteri patogen serta memperpanjang umur simpan pada produk pangan [7].

Gambar 2 menunjukkan bahwa kualitas mutu organoleptik gudeg setelah diiradiasi memiliki warna, tampilan, dan tekstur yang hampir sama dengan kontrol baik untuk kemasan *nylon* maupun kemasan *aluminium foil* laminasi. Proses iradiasi dapat menjaga nilai gizi, kesegaran, dan kualitas sensori bahan pangan, seperti tekstur, warna, rasa, dan aroma [14].

### Gudeg Iradiasi Kemasan Aluminium Foil Laminasi Penyimpanan 6 Bulan

Setelah dilakukan perbandingan kualitas gudeg iradiasi kemasan *aluminium foil* laminasi dan kemasan *nylon*, gudeg kemasan *aluminium foil* laminasi kemudian disimpan selama 6 bulan. Hasil pengujian proksimat gudeg kemasan *aluminium foil* laminasi pada penyimpanan 6 bulan disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Proksimat Gudeg Kemasan *Aluminium Foil* Laminasi pada Penyimpanan 6 Bulan

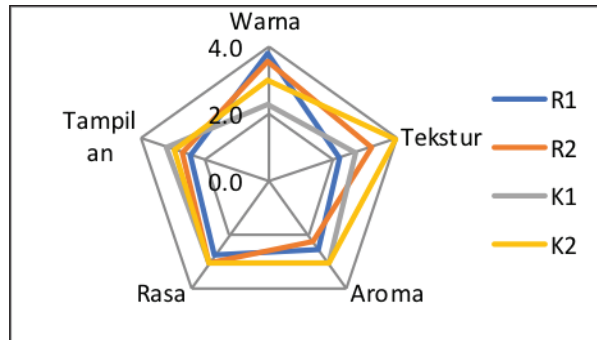
Sampel	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Lemak (%)	Kadar Protein (%)
Kontrol (-20°C)	66,89	1,71	24,80	1,51
Iradiasi 8 kGy	78,80	1,89	21,22	1,34

Hasil pengujian nilai  $a_w$ , pH, dan TPC gudeg kemasan *aluminium foil* laminasi pada penyimpanan 6 bulan disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Nilai  $a_w$ , pH, dan TPC Gudeg Kemasan *Aluminium Foil* Laminasi pada Penyimpanan 6 Bulan

Sampel	Nilai $a_w$	Nilai pH	Uji Mikrobiologi (TPC)
Kontrol (-20°C)	0,56	5,06	$1,0 \times 10^5$
Iradiasi 8 kGy	0,56	4,82	$1,0 \times 10^3$

Hasil pengujian organoleptik pada gudeg iradiasi kemasan *aluminium foil* laminasi penyimpanan 6 bulan disajikan pada Gambar 3.



Keterangan: R1: radiasi 1, R2: radiasi 2, K1: kontrol 1, K2: kontrol 2.

**Gambar 3.** Hasil Pengujian Organoleptik Gudeg Iradiasi Kemasan *Aluminium Foil* Laminasi Penyimpanan 6 Bulan

Dapat dilihat pada Tabel 3 bahwa kadar air gudeg iradiasi yang disimpan selama 6 bulan pada suhu ruang memiliki kadar air yang lebih tinggi dibanding dengan kontrol yang disimpan pada suhu  $-20^{\circ}\text{C}$ . Hal ini dapat disebabkan karena terjadinya migrasi uap air selama penyimpanan dalam suhu ruang. Meskipun permeabilitas uap air pada kemasan *aluminium foil* laminasi rendah, uap air dalam jumlah rendah masih memungkinkan untuk masuk dan terakumulasi dalam kemasan.

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa sampel iradiasi dan kontrol memiliki  $a_w$  yang sama, sedangkan hasil pengujian TPC gudeg iradiasi lebih rendah dibandingkan kontrol. Hal ini disebabkan karena ketika sumber iradiasi menyentuh produk pangan, komponen pangan ini akan dieksitasi, diionisasi, dan diubah. Perubahan pada komponen sel hidup ini akan menghambat sintesis DNA, merusak bagian sel mikroba, dan memberikan efek biologis lainnya [31].

Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai tampilan dan rasa gudeg radiasi relatif sama dengan kontrol. Hal ini mengindikasikan bahwa iradiasi dan kemasan *aluminium foil* laminasi dapat mempertahankan tampilan dan rasa gudeg. Namun, warna, tekstur, dan aroma gudeg iradiasi yang disimpan selama 6 bulan lebih rendah dibanding kontrol. Hal ini dapat terjadi karena kadar air gudeg iradiasi yang meningkat sehingga menjadikan tekstur gudeg berbeda dibanding kontrol. Perubahan warna dan aroma dapat disebabkan karena terjadinya oksidasi selama penyimpanan [32].

## KESIMPULAN

Dari hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa perlakuan iradiasi dosis sedang berpotensi dapat digunakan untuk mengawetkan makanan olahan tradisional (gudeg). Gudeg yang diradiasi pada dosis 8 kGy dengan kemasan *aluminium foil* memiliki kualitas kimia, mikrobiologis, dan organoleptik yang masih baik hingga 6 bulan penyimpanan pada suhu ruang. Untuk kemasan *nylon* 2 bulan penyimpanan pada



suhu ruang, sedangkan perlakuan tanpa iradiasi (kontrol) mempunyai umur simpan kurang dari 2 hari. Akan tetapi, masih terdapat potensi umur simpan gudeg iradiasi untuk diperpanjang dengan penelitian lebih lanjut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi, ORTN, BRIN, RISTEK BRIN dan RISPRO PRN Bagian III – Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan RI (SK KEP-4/LPDP/2021) yang telah membantu sebagian dana kegiatan penelitian, serta anggota Kelompok Bahan Pangan yang telah membantu kelancaran dalam kegiatan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Nurhayati dkk., “Shelf life prediction for canned gudeg using accelerated shelf life testing (ASLT) based on arrhenius method,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 193, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1757-899X/193/1/012025.
- [2] A. Nurhikmat dkk., “The quality changes on canned gudeg ‘Bu Tjitro’ during storage,” *J. Agritech*, vol. 35, no. 03, p. 353, 2015, doi: 10.22146/agritech.9348.
- [3] M. R. Yousefi dan A. M. Razdari, “Irradiation’ and its potential to food preservation,” *Int. J. Adv. Biol. Biomed. Res.*, vol. 3, no. 1, pp. 51–54, 2015.
- [4] A. A. Panou, I. K. Karabagias, dan K. A. Riganakos, “Effect of Gamma-irradiation on sensory characteristics, physicochemical parameters, and shelf life of strawberries stored under refrigeration,” *Int. J. Fruit Sci.*, vol. 20, no. 2, pp. 191–206, 2020, doi: 10.1080/15538362.2019.1608890.
- [5] L. A. Gyimah dkk., “The impact of gamma irradiation and storage on the physicochemical properties of tomato fruits in Ghana,” *Food Qual. Saf.*, vol. 4, no. 3, pp. 151–157, 2020, doi: 10.1093/FQSAFE/FYAA017.
- [6] I. Ullah Mohammadzai dkk., “Effect of gamma irradiation, packaging and storage on the nutrients and shelf life of palm dates,” *J. Food Process. Preserv.*, vol. 34, no. SUPPL. 2, pp. 622–638, 2010, doi: 10.1111/j.1745-4549.2009.00421.x.
- [7] R. Alfarobbi dan N. Anggraini, “Preservation of foodstuffs with gamma ray irradiation technology for decreasing pathogen bacteria on food and maintain sustainable food security: a review,” *proceeding 3rd Int. Conf. Integr. Intellect. Community*, 2018, doi: 10.2139/ssrn.3201078.
- [8] M. K. Akinloye, G. A. Isola, S. K. Olasunkanmi, dan D. A. Okunade, “Irradiation as a food preservation method in Nigeria: prospects and problems,” *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 11, pp. 85–96, 2015.
- [9] M. Ashtari, O. Khademi, M. Soufbaf, H. Afsharmanesh, dan M. A. Askari Sarcheshmeh, “Effect of gamma irradiation on antioxidants, microbiological properties and shelf life of pomegranate arils cv. ‘Malas Saveh,’” *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 244, no. August 2020, pp. 365–371, 2019, doi: 10.1016/j.scienta.2018.09.067.
- [10] R. P. Tanhindarto dan R. Sinaga, “Pengaruh iradiasi gamma dan jenis pengemas pada mutu



- dan masa simpan bakpia dan dodol,” *Risal. Pertem. Ilm. Penelit. dan Pengemb. Apl. Isot. dan Radiasi*, 1997.
- [11] R. P. Tanhindarto, “Status terkini penelitian dan pengembangan iradiasi pangan di Indonesia,” *Semin. Keselam. Nukl.*, pp. 308–318, 2012, [Online]. Tersedia: <https://bapeten.go.id/berita/prosiding-skn-114528?lang=en>.
- [12] R. P. Tanhindarto, “Mempertahankan mutu makanan tradisional dodol kombinasi iradiasi dan pengemas modifikasi atmosfer,” *Penelit. dan Pengemb. Apl. Isot. dan Radiasi*, pp. 161–167, 1998.
- [13] R. P. Tanhindarto, R. Sinaga, dan N. Situmorang, “Pengaruh iradiasi gamma dan teknik pengemasan terhadap mutu makanan tradisional bakpia,” *Risal. Pertem. Ilm. Penelit. dan Pengemb. Apl. Isot. dan Radiasi*, p. 223, 1999.
- [14] R. Indiarjo dkk., “Food irradiation technology: a review of the uses and their capabilities,” *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 68, No. 12, pp. 91–98, 2020, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V68I12P216.
- [15] R. P. Tanhindarto, “Karakterisasi kesukaan mutu daging sapi cincang iradiasi melalui metoda principal component analysis (PCA),” dalam Pros. Semin. Nas. XXVII Kim. dalam Ind. dan Lingkung., pp. 101–110, 2018.
- [16] R. P. Tanhindarto, “Aplikasi iradiasi gamma untuk memperpanjang umur simpan makanan tradisional dodol,” dalam Pros. Semin. Nas. XIX Kim. dalam Pembang., pp. 461–468, 2016.
- [17] H. Sampurno dkk., “Cara iradiasi yang baik untuk mengendalikan patogen dan/atau memperpanjang masa simpan daging dan unggas yang terkemas,” 2004.
- [18] Z. Irawati, K. Pertiwi, dan F. Rungkat-Zakaria, “Uji toksisitas terhadap kadar malonaldehid dan kapasitas antioksidan pada rendang steril iradiasi: in vitro,” *J. Ilm. Apl. Isot. dan Radiasi*, vol. 6, no. 1, pp. 31–45, 2010.
- [19] Z. Irawati, K. R. Putri, dan F. R. Zakaria, “Aspek keamanan pangan : uji toksisitas secara in vitro pepes ikan mas ( *Cyprinus carpio* ) yang disterilkan dengan iradiasi gamma,” *J. Ilm. Apl. Isot. dan Radiasi*, vol. 7, no. 2, pp. 83–101, 2011.
- [20] R. P. Tanhindarto dan A. Sudrajat, “Aspek dosimetri makanan olahan tradisional pada fasilitas irpasena,” *Risal. Semin. Ilm. Penelit. dan Pengemb. Apl. Isot. dan Radiasi*, pp. 265–272, 2004, [Online]. Tersedia: <http://repo-nkm.batan.go.id/7670/>.
- [21] P. A. Follett dan E. D. Weinert, “Phytosanitary irradiation of fresh tropical commodities in Hawaii: generic treatments, commercial adoption, and current issues,” *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 81, no. 8, pp. 1064–1067, 2012, doi: 10.1016/j.radphyschem.2011.12.007.
- [22] BPOM, *Peraturan Badan pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia No. 3*. 2018.
- [23] SNI, *Proses radiasi - Pangan siap saji dosis sedang*. Jakarta: BSN, 2016.
- [24] SNI, *Pangan iradiasi – Bagian 1 : Rendang daging sapi steril*. Jakarta: BSN, 2012.
- [25] IAEA, “Manual of good practice in food irradiation: sanitary, phytosanitary and other applications,” *Int. At. Energy Agency*, no. 481, pp. 1–85, 2015, [Online]. Tersedia: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/trs481web-98290059.pdf>.
- [26] IAEA, “Dosimetry for food irradiation,” Austria, 2002. doi: 10.1097/00004032-200305000-00016.



## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

- [27] W. T. Eden dan C. O. Rumambarsari, "Proximate analysis of soybean and red beans cookies according to the Indonesian National Standard," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1567, no. 2, pp. 2–7, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1567/2/022033.
- [28] SNI, *Penentuan Angka Lempeng Total (ALT) pada Produk Perikanan*. Jakarta: BSN, 2015.
- [29] B. Raj, "Plastics and their role in food packaging," in *Plastic in Food Packaging*, vol. 020, 2018, pp. 17–46.
- [30] M. Lamberti dan F. Escher, "Aluminium foil as a food packaging material in comparison with other materials," *Food Rev. Int.*, vol. 23, no. 4, pp. 407–433, Sep. 2007, doi: 10.1080/87559120701593830.
- [31] L. Zhao dkk., "Effect of irradiation on quality of vacuum-packed spicy beef chops," *J. Food Qual.*, 2017, doi: 10.1155/2017/1054523.
- [32] E. D. N. S. Abeyrathne, K. Nam, dan D. U. Ahn, "Analytical methods for lipid oxidation and antioxidant capacity in food systems," *Antioxidants*, vol. 10, no. 10, pp. 1–19, 2021, doi: 10.3390/antiox10101587.



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. Citraresmini, 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 akseibilitasnya. 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

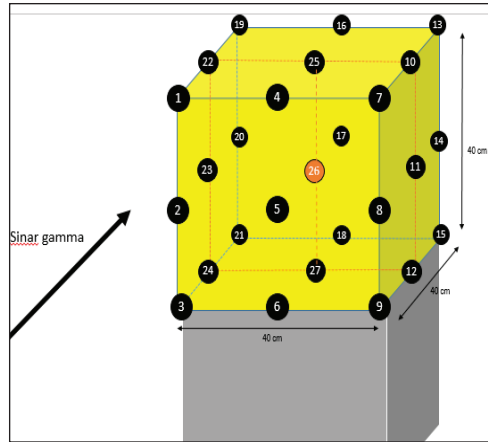
### Bahan dan Alat

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 dosimetrynya 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

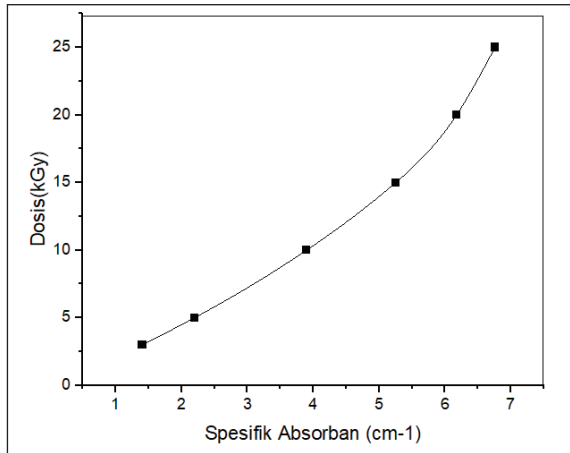
Dosimeter yang telah diiradiasi diukur absorbansinya menggunakan Cary 100 UV-VIS spektrofotometer fabrikasi Agilent Technologies pada panjang gelombang 603 nm. Setelah dosimeter diukur absorbansinya, tebal dosimeter PMMA tipe Amber 3042 diukur dengan menggunakan mikrometer sekrup merk Mitutoyo IP 65.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

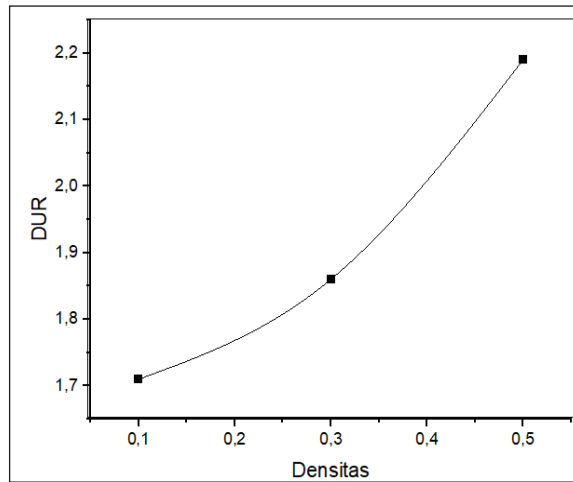
### Hasil Pengukuran Dosis Serap Produk

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:

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

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.

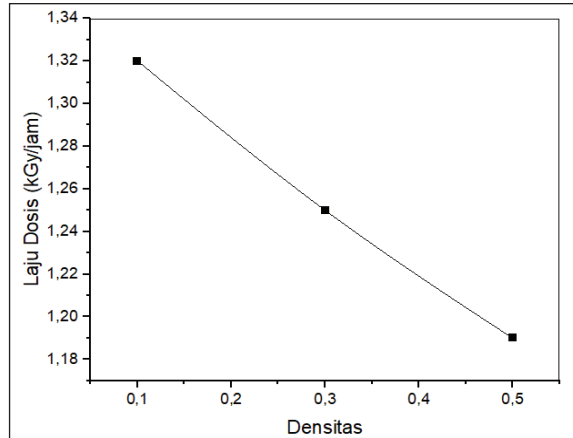
**Tabel 1.** Hasil Pengukuran Dosis Serap *Dummy* pada Setiap Densitas

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

Buku ini tidak diperjualbelikan.



MI-003

**PEMERIKSAAN CACAT *PLANAR* DAN *NON-PLANAR*  
PADA SAMBUNGAN LAS SAMPEL LOGAM TERPILIH  
MENGUNAKAN METODE ULTRASONIK DAN  
RADIOGRAFI**

***EXAMINATION OF PLANAR AND NON-PLANAR DEFECTS  
IN WELD JOINT OF SELECTED METAL SAMPLES USING  
ULTRASONIC AND RADIOGRAPHIC METHODS***

**Mudi Haryanto, Andryansyah, dan Alim Mardhi**

**ABSTRAK**

Pada umumnya pemeriksaan volumetrik sambungan las lebih banyak menggunakan metode radiografi. Keunggulan radiografi dibanding dengan teknik inspeksi lainnya adalah ketersediaan bukti secara objektif dan catatan permanen sebagai hasil inspeksi. Radiografi sebagai uji kualitas sambungan lasan untuk mengetahui semua jenis cacat dengan dokumen permanen dalam bentuk film sehingga sangat mudah untuk diperiksa atau diaudit. Teknik pengujian dan kriteria keberterimaan radiografi digunakan untuk menerima atau menolak cacat las dan umumnya terbukti sangat memadai, meskipun secara teknis bersifat terbatas dan kadang-kadang tidak mudah dilakukan. Ultrasonik sebagai metode alternatif untuk radiografi telah secara luas diterapkan untuk menginspeksi cacat las. Meskipun demikian, kriteria keberterimaan metode ultrasonik masih lemah dibandingkan metode radiografi, seperti penerimaan bukti kurang objektif secara kualitas hasil inspeksi, inkonsistensi yang diakui dari hasil inspeksi, dan reputasi ultrasonik juga tidak mampu mendeteksi cacat *non-planar* (porositas/*porosity* atau terak/*slag*) dan menolak cacat *planar* (retakan/*crack* atau kurangnya fusi/*lack of fusion*). Dalam studi ini metode ultrasonik dan metode radiografi telah digunakan untuk menguji cacat *planar* dan *non-planar* pada sample logam terpilih. Pengujian ultrasonik menggunakan *probe* sudut 60° dan 70° pada frekuensi 5 MHz, sedangkan pengujian radiografi menggunakan sinar-x yang dibangkitkan dari tegangan dan arus tabung masing-masing 150 kV dan 3 mA. Hasil studi secara umum menunjukkan keunggulan metode ultrasonik yang mampu mendeteksi 86% cacat *planar* dan *non-planar* dibandingkan metode radiografi yang hanya mampu mendeteksi 57% saja.

**Kata Kunci:** Radiografi, Ultrasonik, Cacat *Non-Planar* dan *Planar*.

---

M. Haryanto, Andryansyah, & A. Mardhi

\*Direktorat Pengelolaan Laboratorium, Fasilitas Riset, dan Kawasan Sains dan Teknologi BRIN, e-mail: mudi001@brin.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

M. Haryanto, Andryansyah, dan A. Mardhi, "Pemeriksaan cacat *planar* dan *non-planar* pada sambungan las sampel logam terpilih menggunakan metode ultrasonik dan radiografi," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 12, pp. 123–132, DOI: 10.55981/brin.690.c653, E-ISBN: 978-623-8372-02-7



### ABSTRACT

*In general, the volumetric examination of welded joints is more widely used by radiographic method. The advantage of radiography over other inspection techniques is the availability of objective evidence and permanent records as a result of inspection. Radiography as a test of the quality of the weld joint to determine all types of defects in permanent documents in the form of film so it is very easy to examine or audit. Radiographic acceptance criteria and examination techniques are used to accept or reject weld defects and have generally proven to be very adequate although technically limited and costly unfavorable. Ultrasonic as an alternative method for radiography has been widely used to inspect weld defects. However, its acceptance criteria are still lower than radiography such as the evidence in terms of the quality of the inspection results is less objective, inconsistencies from the inspection results, and the unable to detect non-planar defects (i.e. porosity or slag) and reject planar defects (cracks or lack of fusion). In this study, both ultrasonic and radiographic methods have been used to examine planar and non-planar defects in selected metal samples. The ultrasonic examination was carried out using angles probe 60° and 70°, whereas the radiographic examination was using x-ray generated from 150 kV and 3 mA respectively. The result of the study showed the superiority of the ultrasonic method that was able to detect 86% of planar and non-planar defects over radiographic one that was only able to detect 57% of such defects.*

**Keywords:** Radiography, Ultrasound, Non-Planar and Planar Defects.

### PENDAHULUAN

Pada umumnya pemeriksaan volumetrik sambungan las lebih banyak menggunakan metode radiografi. Keunggulan radiografi dibanding dengan teknik inspeksi lainnya adalah radiografi memberikan bukti secara objektif dan rekaman hasil inspeksi bersifat permanen sehingga mudah untuk diperiksa dan diaudit [1]. Teknik pengujian dan kriteria keberterimaan radiografi digunakan untuk menerima atau menolak cacat las. Meskipun dokumen sudah tersedia, penerapan kriteria pengujian dan keberterimaan radiografi secara teknis tidaklah mudah, bersifat terbatas, dan kadang-kadang sulit dilakukan [2].

Ultrasonik sebagai metode alternatif untuk radiografi, telah diterapkan di industri lain, seperti industri tenaga nuklir dan anjungan minyak lepas pantai untuk inspeksi sambungan las [3]. Inspeksi ultrasonik juga dipakai untuk menguji produksi lasan dan produk *repair* (perbaikan) lasan bejana tekan PLTN yang dalam beberapa kasus tertentu dapat menggantikan teknik radiografi (terutama yang tidak bisa diakses oleh radiografi). Dibandingkan pengujian radiografi, kriteria keberterimaan uji ultrasonik tergolong rendah karena ultrasonik tidak dapat memberikan data hasil pengujian ukuran cacat yang obyektif, cenderung inkonsisten karena tergantung dari keahlian operator dan dalam kasus tertentu tidak dapat mendeteksi cacat *non-planar* [4].

Dalam literatur disebutkan bahwa ultrasonik telah dibuktikan lebih dapat diandalkan untuk mendeteksi cacat *planar*, seperti retak dan kurangnya fusi, sedangkan radiografi dapat diandalkan untuk mendeteksi cacat *non-planar*, seperti porositas dan *slag* [5]. Menurut standar ASME bagian VIII kode 2235 disebutkan bahwa ultrasonik sebagai pengganti radiografi untuk pengujian mutu las-lasan yang tebal. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan perbandingan uji kemampuan metode ultrasonik



dan metode radiografi dalam menguji jenis-jenis cacat las *planar* dan *non-planar* hasil produk lasan. Dalam penelitian ini akan ditunjukkan bahwa metode ultrasonik dapat mendeteksi cacat retak *planar* yang tidak dapat dideteksi oleh metode radiografi. Dengan demikian, diharapkan metode ultrasonik dapat diterapkan sebagai metode alternatif untuk menggantikan metode radiografi dalam mendeteksi cacat retak *planar* di dalam sambungan las terutama pada bejana tekan reaktor PLTN yang sedang beroperasi karena tidak bisa diakses oleh teknik radiografi.

## METODE PERCOBAAN

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ultrasonik dan radiografi adalah sampel las terdiri dari 5 cacat *planar*, yaitu cacat *Side of Wall Fusion (SWF)*, *Toe Crack (TC)*, *Root Crack (RC)*, *Center Line Crack (CLC)*, *Incomplete Root Penetration (IRP)* dan 2 cacat *non-planar*, yaitu *Porosity (P)* dan *Slag Inclusion (SI)*. Ukuran sampel  $72 \times 145 \times 10$  mm buatan Sonaspection Inggris. Film radiografi D7 merk AGFA sebagai perekaman data gambar radiografi. Larutan kimia Fixer dan Developer merk AGFA sebagai pemroses film.

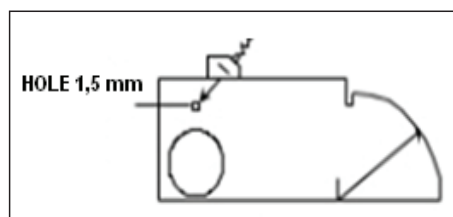
Alat yang digunakan untuk mendeteksi cacat di dalam sampel las, yaitu:

1. Ultrasonik jenis *ultrasonic flaw detector Epoch 4 plus* (Panametric, Amerika Serikat)
2. Sinar-x tegangan 150 KV, arus 3 mA Xylon Amerika Serikat.

### Tata Kerja

Pengujian pertama adalah pengujian ultrasonik dengan menggunakan alat *ultrasonic Flaw Detector* dan *probe* sudut yang dipakai adalah  $60^\circ$  dan  $70^\circ$  frekuensi 5 MHz.

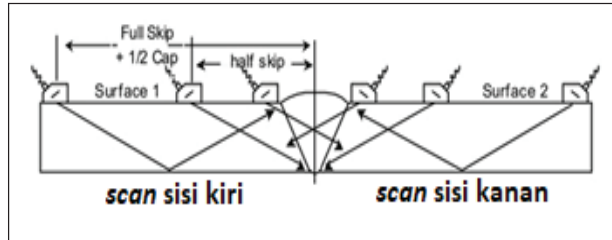
Sebelum melakukan *scanning* pada daerah lasan dengan metoda ultrasonik, terlebih dahulu melakukan kalibrasi pada blok kalibrasi V1 (*block V1*) dengan tujuan untuk mencari *gain* operasi sebagai *reference level*. Caranya adalah dengan mengarahkan *probe* sudut pada *hole* 1,5 mm yang ada pada blok kalibrasi V1 untuk memperoleh pantulan tinggi pulsa (amplitudo) 80% *full screen height* (FSH) seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** *Scanning probe* Sudut pada Lubang 1,5 mm *block V1* [6].



Setelah diperoleh *gain* operasi, selanjutnya melakukan *scanning probe* sudut pada daerah akar (*root*) las dengan  $\frac{1}{2}$  *skip* dan gerakan *probe* sudut mundur untuk *scanning full skip*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



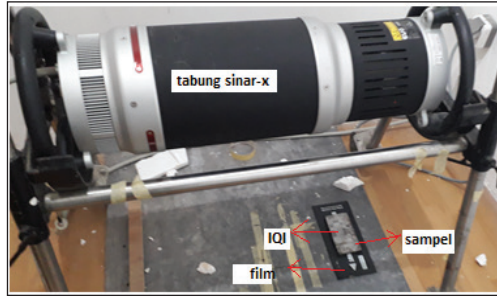
Gambar 2. *Scanning* Uji Ultrasonik dengan *Probe* Sudut [7]

*Scanning* dilakukan sepanjang las dengan gerakan *probe* sudut maju mundur, *zig zag* atau lateral. Apabila ditemukan indikasi cacat, analisis jenis cacat segera dilakukan berdasarkan pada bentuk pantulan pulsa/amplitudo.

Setelah selesai dilakukan uji ultrasonik dilanjutkan dengan uji radiografi pada sampel las yang sama. Pertama mencari nomor penetrometer yang digunakan sebagai indikator kualitas citra (*Image Quality Indicator/IQI*) radiografi [8]. *IQI* sebagai ukuran kemampuan radiografi untuk mendeteksi cacat terkecil. Pada penelitian ini *IQI* yang digunakan adalah *IQI* kawat yang berjumlah 6 kawat yang mempunyai diameter berlainan. Berdasarkan ASME V Artikel 2 tabel T.276, untuk tebal material 10 mm kawat yang disarankan digunakan adalah kawat nomor 7. Kawat nomor 7 mempunyai diameter 0,33 mm dan pada tabel T.233.2, kawat nomor tersebut berada di set B. Film yang digunakan pada penembakan ini adalah tipe D7 produk AGFA.

Pengujian dilakukan di Pusat Standardisasi Mutu Nuklir (PSMN) dengan pesawat sinar X tegangan 150 kV arus 3 mA. Waktu penyinaran untuk ketebalan las 10 mm berdasarkan kurva paparan radiasi untuk tegangan 150 kV 3 mA dan jarak sumber ke film 710 mm adalah 5,5 menit.

Set-up penyinaran sampel las kemudian dilakukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Setelah penyinaran, film diproses di ruang gelap. Hasil rekaman film dilihat menggunakan *viewer*, kemudian dianalisis untuk mengetahui ada indikasi cacat atau tidak.



Gambar 3. Set up Penyinaran Radiografi sinar-X

Hasil dari uji ultrasonik dan radiografi kemudian dibandingkan. Cacat las yang terdeteksi dan tidak terdeteksi dicatat dan dilaporkan.

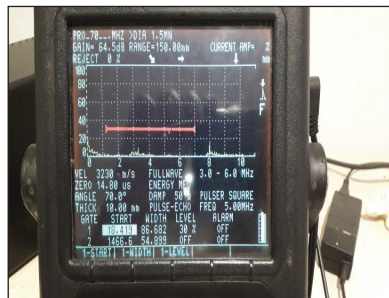
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian ultrasonik dan radiografi pada cacat las *planar* dan *non-planar* (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil Uji Ultrasonik dan Radiografi pada Cacat Sampel Las *Planar* dan *Non-Planar*

No	Cacat sampel Las	Uji Ultrasonik	Uji Radiografi
1	Toe Crack (TC)	terdeteksi	terdeteksi
2	Root Crack (RC)	terdeteksi	tidak terdeteksi
3	Center Line Crack (CLC)	terdeteksi	tidak terdeteksi
4	Porosity (P)	tidak terdeteksi	terdeteksi
5	Slag Inclusion (SI)	terdeteksi	terdeteksi
6	Side of Wall Fusion (SWF)	terdeteksi	tidak terdeteksi
7	Incomplete Root Penetration (IRP)	terdeteksi	terdeteksi

Tabel 1 memperlihatkan bahwa hasil penelitian dengan metoda ultrasonik mampu mendeteksi cacat *planar*, yaitu retak dan *non-planar slag inclusion*. Cacat porositi tidak mampu dideteksi karena mempunyai volume cacat kecil sebagaimana ditunjukkan Gambar 4.

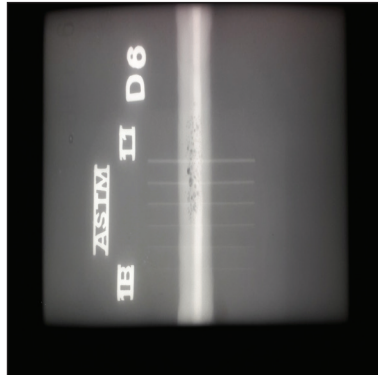


Gambar 4. Tidak Tampak Indikasi Pulsa Ultrasonik Cacat Porositi.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Indikasi tidak tampak pada layar disebabkan oleh volume cacat lebih kecil dibanding dengan *reference reflector* berdiameter 1,5 mm. Ukuran volume porositi kecil maka jumlah pantulan gelombang ultrasonik yang mengenai porositi juga kecil sehingga pantulan balik perambatan gelombang banyak yang hilang diserap (atenuasi) oleh material sebelum sampai ke *probe* dan pada layar ultrasonik tidak ada tampak indikasi pulsa. Sebaliknya, hasil radiografi menampilkan cacat *porosity* berbentuk gelembung kecil terkumpul dan berwarna hitam seperti ditunjukkan Gambar 5.



**Gambar 5.** Cacat *Porosity* Hasil Radiografi

Cacat *Side of Wall Fusion* tidak terdeteksi pada film radiografi karena posisi cacat berada di *bevel* las dengan sudut  $30^\circ$  ditunjukkan Gambar 8. Sinar X yang datang tidak tegak lurus dengan cacat, sehingga sinar X mengenai cacat *Side of Wall Fusion* hanya sebagai satu titik. Akibatnya tidak ada gambar hitam/cacat pada film radiografi karena pengaruh hamburan yang kuat dari ketebalan material las tersebut. Cacat *Side of Wall Fusion* hanya bisa di deteksi dengan metoda ultrasonik [7] karena mempunyai sudut pantul  $60^\circ$  dan dideteksi dengan *probe*  $60^\circ$  mendapat respons sinyal yang tinggi ditunjukkan Gambar 6.



**Gambar 6.** Indikasi Pulsa Ultrasonik Cacat *Swf*



Tidak adanya kontras benda atau perbedaan densitas mengakibatkan cacat yang tidak akan tampak pada film radiografi, seperti cacat *Root Crack* dan *Center Line Crack* ditunjukkan Gambar 7 dan 8.



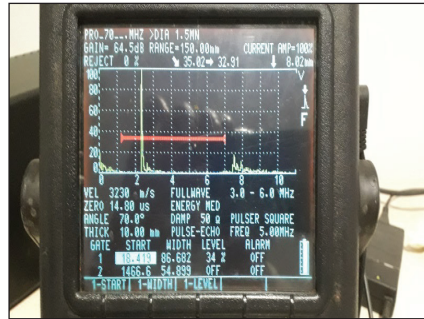
**Gambar 7.** Tidak Tampak Cacat *Center Line Crack* pada Hasil Radiografi.



**Gambar 8.** Tidak Tampak Cacat *Root Crack* pada Hasil Radiografi.

Sensitivitas radiografi pada penelitian ini hanya mampu mendeteksi cacat ukuran terkecil 0,25 mm dan tidak mampu mendeteksi cacat di bawah ukuran tersebut. Oleh karena itu, cacat *Root Crack* dan *Center Line Crack* kemungkinan mempunyai bentuk cacat retak yang rapat sehingga tidak ada celah terbuka maupun pengurang ketebalan. Cacat *Root Crack* dan *Center Line Crack* sebenarnya masih memiliki celah biarpun ukurannya mikro. Selama masih ada perbedaan densitas, gelombang ultrasonik masih bisa dipantulkan [9] sehingga hanya metode ultrasonik yang mampu mendeteksi cacat retak ukuran mikro, seperti diperlihatkan pada Gambar 9 dan 10.





**Gambar 9.** Indikasi Pulsa Ultrasonik Cacat *Root Crack*



**Gambar 10.** Indikasi Pulsa Ultrasonik Cacat *Center Line Crack*

Jenis cacat retak terlihat tipis meski sebenarnya mempunyai celah udara dengan densitas rendah. Akibat perbedaan densitas yang besar antara udara dan logam las, gelombang ultrasonik yang mengenai cacat retak akan dipantulkan balik sempurna 100% menuju *probe* dan ditampilkan di layar ultrasonik lebih dari 100% FSH. Bentuk cacat retak yang mempunyai permukaan tidak beraturan (bergerigi) tampak pada indikasi pulsa bergerigi. Selain dari perbedaan densitas, sudut cacat berpengaruh besar terhadap pantulan gelombang ultrasonik.

Hasil penelitian menunjukkan prosentase kemampuan deteksi ultrasonik 86% dibandingkan metode radiografi yang hanya 57%. Cacat *porosity* yang tidak dapat dideteksi oleh metoda ultrasonik bukan berarti gagal, tetapi cacat tersebut masih dapat diterima sesuai acuan standar. Sementara itu, cacat retak maupun cacat *fusion* yang tidak bisa dideteksi metode radiografi sangat berbahaya karena cacat tersebut tidak memenuhi, berapapun panjangnya [10]. Penelitian ini menunjukkan keunggulan metode ultrasonik dibandingkan metode radiografi dalam mendeteksi cacat retak *planar*, bahkan untuk ukuran mikro.



## KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan keunggulan metode ultrasonik dibanding dengan metode radiografi dalam mendeteksi cacat retak *planar*. Dari keseluruhan sampel yang diuji, metode ultrasonik dapat mendeteksi 86% cacat sedangkan metode radiografi hanya dapat mendeteksi 57% cacat di dalam sampel sambungan las.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih kepada Pemerintah Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui DIPA PTKRN tahun 2020. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada para staf PSMN dan semua pihak yang telah memberikan bantuan baik pemikiran, ataupun teknis, terkait dengan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Djoli Soembogo, "Radiografi sinar-x rigaku dan isovolt pada pengelasan logam," *Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir Bulletin of Nuclear Reactor Management*, vol. XVI, no.1, 2019.
- [2] R. A. Pitalokhaa dkk., "Inspeksi cacat (diskontinuitas) pada material dengan menggunakan uji ultrasonik dan uji radiografi," dalam *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, SNF2016, vol. V, 2016.
- [3] T. J. Jessop, P. J. Mudge, dan J. D. Harrison, "Ultrasonic measurement of weld flaw size," *The Welding Institute, National Cooperative Highway Research Program Report 242*, 1981.
- [4] O. B. Forli dkk., "A comparison of radiographic and ultrasonic NDE," *Nordtest Report* 72-76, 1983.
- [5] A. W. S. D1.1, "Structural welding code – steel," *American National Standard Institute*, 2017.
- [6] M. Haryanto, Andryansyah, dan L. Suparlina, "Kajian metoda NDT untuk deteksi cacat lack of fusion pada lasan," dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir-Padang*, 2019.
- [7] M. Haryanto, S. Nitiswati, dan Andryansyah, "Analisis kualitas sampel las GTAW Dengan metoda NDT," dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir, Batam 4-5 Agustus 2016*.
- [8] ASME Section V Article 2, "Radiographic Examination," Edition 2019.
- [9] NDT, "Introduction to Ultrasonic Testing," Iowa State University, 2014
- [10] Classroom Training Handbook, "Code, Standard and Specification," B4T Bandung, 2005.



## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

Buku ini tidak diperjualbelikan.



MI-004

## KAJIAN PENERAPAN STANDAR SNI ISO 14470:2014 DAN SNI ISO 11137-1:2015 PADA IRADIATOR GAMMA MERAH PUTIH (IGMP)

### *STUDY OF IMPLEMENTING SNI ISO 14470:2014 AND SNI ISO 11137-1:2015 STANDARDS IN MERAH PUTIH GAMMA IRADIATORS (IGMP)*

Ika Wahyu Setya Andani, Yulaida Maya Sari, dan Jepri Sutanto

#### ABSTRAK

Standardisasi dan jaminan mutu terhadap kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir dilaksanakan untuk menjamin keselamatan dan kesehatan pekerja dan anggota masyarakat serta perlindungan terhadap lingkungan hidup. Iradiator merupakan salah satu instalasi nuklir yang dimanfaatkan untuk proses pengawetan pangan maupun sterilisasi produk. Indonesia memiliki dua skala industri iradiator gamma, salah satunya adalah Iradiator Gamma Merah Putih (IGMP). IGMP digunakan untuk iradiasi bahan pangan, seperti buah-buahan, umbi-umbian, bumbu, rempah-rempah, dan herbal untuk mencegah pertunasan, pembusukan, jamur, dan bakteri. IGMP juga dapat digunakan untuk sterilisasi alat kesehatan. Agar IGMP menjadi lebih berkualitas dan mampu bersaing dengan iradiator lain dari luar, perlu dilakukan standardisasi yang meliputi perumusan standar, penerapan dan sertifikasi. Standar yang sesuai untuk IGMP, yaitu SNI ISO 14470: 2014 yang telah ditetapkan pada tahun 2014, berisi tentang persyaratan untuk iradiasi pangan, serta SNI ISO 11137-1:2015 yang berisi tentang persyaratan sterilisasi alat kesehatan. Setelah standar tersedia selanjutnya dilakukan pengujian terhadap penerapan standar yang sudah dirumuskan dan penyiapan laboratorium uji untuk menuju sertifikasi. Metode yang digunakan dalam makalah ini, yaitu studi literatur dan metode kualitatif non-interaktif dengan pendekatan analisis konsep. Adanya standardisasi terhadap IGMP diharapkan mampu memenuhi persyaratan sesuai dengan standar untuk tujuan iradiasi bahan pangan dan sterilisasi alat kesehatan.

**Kata Kunci:** Standardisasi, Iradiator, Pangan Iradiasi, Sterilisasi, Alat Kesehatan.

#### ABSTRACT

*Standardization and quality assurance of the use of nuclear energy is carried out to ensure the safety and health of workers and members of the public as well as the protection of the environment. The irradiator is one of the nuclear installations used for food preservation and product sterilization.*

I. W. S. Andani, Y. M. Sari, & J. Susanto

\*Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi, dan Mutu Nuklir BRIN, e-mail: ikaw002@brin.go.id, ikaismori@gmail.com

@ 2023 Penerbit BRIN

I. W. S. Andani, Y. M. Sari, dan J. Susanto, "Kajian penerapan standar SNI ISO 14470:2014 dan SNI ISO 11137-1:2015 pada iradiator gamma merah putih (IGMP)," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 13, pp. 133–139, DOI: 10.55981/brin.690.c654  
E-ISBN: 978-623-8372-02-7



*Indonesia has two industrial-scale gamma irradiators, one of which is the Red and White Gamma Irradiator (IGMP). IGMP is used for irradiating foodstuffs such as fruits, tubers, herbs, spices, herbs, and others to prevent sprouting, spoilage, fungus, and bacteria. IGMP can also be used for sterilization of medical devices. In purpose for IGMP to be of higher quality and able to compete with other irradiators from outside, it is necessary to standardize which includes standard formulation, implementation, and certification. The appropriate standard for IGMP is SNI ISO 14470:2014 which was established in 2014, contains requirements for food irradiation, and SNI ISO 11137-1:2015 which contains requirements for sterilization of medical devices. After the standard is available, then testing is carried out on the application of the standard that has been formulated, and the preparation of a test laboratory for certification is carried out. The method used in this paper is a literature study and a non-interactive qualitative method with a concept analysis approach. With the standardization of IGMP, it is hoped that it will be able to compete with similar irradiators from outside for the purpose of irradiating foodstuffs and sterilizing medical devices.*

**Keywords:** *Standardization, Irradiator, Irradiated Food, Sterilization, Health Equipment.*

## PENDAHULUAN

Standardisasi dan jaminan mutu terhadap kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir dilaksanakan oleh Pusat Riset Standardisasi dan Mutu Nuklir (PRSMN) dengan cara menyelenggarakan pengembangan standar, penerapan, dan sertifikasi. Salah satu tujuan standardisasi adalah untuk meningkatkan perlindungan kepada konsumen, pelaku usaha, tenaga kerja, dan masyarakat lainnya, serta negara, baik dari aspek keselamatan, keamanan, kesehatan, maupun pelestarian fungsi lingkungan hidup [1]. Iradiator gamma merupakan suatu instalasi nuklir yang digunakan dalam proses pengawetan maupun sterilisasi produk pertanian dan hasil olahan serta alat-alat kesehatan [2]. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 701 Tahun 2009 tentang Pangan Iradiasi dan Peraturan Kepala BPOM Nomor 3 Tahun 2018 tentang Pangan Iradiasi adalah dukungan hukum pemerintah Indonesia, di mana teknik iradiasi gamma dapat menjadi solusi yang baik untuk pengawetan dan sterilisasi produk pangan dan alat kesehatan.

Indonesia memiliki dua skala industri iradiator gamma, salah satunya adalah Iradiator Gamma Merah Putih (IGMP). Pada akhir tahun 2017, IGMP diresmikan oleh Wakil Presiden RI. IGMP merupakan iradiator panoramik (IAEA Kategori IV) dengan sumber Cobalt-60 (Co-60) yang tersimpan di dalam kolam [3][4]. IGMP didesain dengan kapasitas sumber maksimum sebesar 2 MCi, yang mampu melakukan radiasi produk hingga 123 m<sup>3</sup> per hari [5]. Dalam pengoperasian dengan moda *batch*, IGMP mampu menampung produk sebesar 15,09 m<sup>3</sup> sekali proses [6]. IGMP ini dapat digunakan untuk meradiasi bahan pangan, seperti buah-buahan, umbi-umbian, dan bumbu bubuk; Untuk mencegah pertunasan, pembusukan, jamur, dan bakteri; serta dapat digunakan untuk sterilisasi alat kesehatan [7].

Dalam rangka menunjang ekspor produk pertanian, Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN) dan Kementerian Pertanian telah menjalin kerja sama untuk menggunakan IGMP sebagai fasilitas karantina atau fitosanitari untuk membasmi



kontaminan terutama serangga [8]. Penjajakan ekspor produk pertanian, seperti mangga ke Australia telah dilakukan oleh Kementerian Pertanian. Bahkan, Pemerintah Australia telah merespons dengan mengirim perwakilan dari *Departement of Agriculture and Water Resources* untuk mengaudit kesiapan IGMP sebagai fasilitas fitosanitari. Hasil audit menunjukkan bahwa kegiatan fitosanitari dengan memanfaatkan IGMP belum memenuhi seluruh persyaratan yang diinginkan pihak Australia. Berbagai rekomendasi diberikan, salah satunya terkait dengan jaminan mutu. Meskipun telah dikelola secara Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) selama lebih dari satu tahun, IGMP belum menerapkan SNI ISO 14470:2014 tentang iradiasi pangan dan SNI ISO 11137:2015 tentang sterilisasi alat kesehatan.

Dengan adanya standardisasi, proses fitosanitari produk-produk hasil pertanian menggunakan teknik iradiasi akan lebih terjamin. Bukan hanya produk hasil pertanian, permasalahan jaminan mutu terhadap produk-produk sterilisasi alat kesehatan untuk ekspor sebagaimana dipersyaratkan di negara-negara Asia Pasifik dapat dipecahkan. Oleh karena itu, makalah ini diharapkan dapat meningkatkan penerapan SNI terkait iradiasi pangan dan sterilisasi alat kesehatan untuk IGMP sehingga dapat dijadikan sebagai acuan yang digunakan dalam pengembangan iradiator di Indonesia.

## **METODE PERCOBAAN**

Kajian penerapan SNI ISO 14470:2014 dan SNI ISO 11137-1:2015 dilakukan menggunakan metode kualitatif non-interaktif dengan pendekatan analisis konsep. Metode kualitatif adalah suatu prosedur penelitian yang menghasilkan data deskriptif yang bersumber dari kata-kata tertulis atau lisan atau perilaku yang dapat diamati [9]. Dalam melakukan penelitian kualitatif non-interaktif, dilakukan identifikasi, studi, dan sintesa data yang tersedia untuk memberikan pemahaman tentang konsep yang diteliti. Identifikasi yang dilakukan, berupa pengamatan terhadap apakah prosedur yang sudah tersedia di IGMP sudah sesuai dengan persyaratan kedua SNI tersebut atau belum. Pendekatan metode kualitatif non-interaktif yang dipilih adalah pendekatan analisis konsep, yang mengklarifikasi arti atau makna dari suatu konsep dengan cara menggambarkan atau memaparkan makna esensial dan makna generik dari suatu konsep, atau perbedaan dari konsep tersebut [10].

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penerapan terhadap SNI ISO 14470:2014 dan SNI 11137-1:2015 belum dilakukan secara optimal. IGMP belum menerapkan kedua SNI tersebut dalam pengoperasiannya. Pentingnya menerapkan persyaratan dari kedua SNI tersebut adalah agar IGMP dapat beroperasi secara optimal mulai dari fitosanitari, dosimetri, pengoperasian, dan perawatan sehingga dapat diperoleh hasil maksimal. Sebelum dilakukan penerapan, diperlukan identifikasi terhadap isi klausul yang terdapat dalam standar. Pada kedua standar, ada beberapa poin penting yang perlu diperhatikan dan diterapkan, yaitu



terkait persyaratan desain, sumber radiasi, peralatan, personel, produk, dosimetri, pelabelan, dan validasi. Identifikasi penerapan beberapa klausul penting dari kedua SNI tersebut di IGMP dapat dilihat dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

**Tabel 1.** Identifikasi Penerapan Persyaratan Penting dalam SNI ISO14470:2014

Klausul	Persyaratan	Penerapan di IGMP
4 Pengendalian proses iradiasi pangan	Menentukan dan menetapkan prosedur untuk pembelian produk dan jasa, prosedur identifikasi dan kemamputelesuran produk, serta prosedur untuk kalibrasi semua peralatan sistem dosimetri dan instrumentasi untuk tujuan pengujian	Prosedur layanan iradiasi IGMP sudah tersedia
4.2 Realisasi produk		
4.3 Pemantauan, pengukuran dan analisis	Metode yang tepat untuk pemantauan, pengukuran dan analisis proses harus diterapkan oleh operator iradiator.	Prosedur pemantauan, pengukuran dan analisis sudah tersedia
5 Fasilitas iradiasi	Fasilitas iradiasi harus didesain untuk pangan iradiasi sesuai dengan spesifikasi proses radiasi dan peraturan perundang-undangan	Manual Teknik IGMP
5.1 Desain		
5.2 Sumber radiasi	Jenis radiasi yang digunakan harus ditentukan dan dalam hal radiasi sinar-X atau berkas elektron, energi radiasi juga harus ditentukan.	IGMP menggunakan sumber iradiasi Gamma
5.3 Peralatan	Iradiator dan metode operasinya harus ditentukan. Spesifikasi iradiator harus direvisi sesuai kebutuhan dan dipertahankan selama umur pakai iradiator.	Prosedur pengoperasian sudah tersedia
5.4 Personel	Personel pada fasilitas iradiasi harus memenuhi peraturan perundang-undangan yang berlaku dan harus kompeten berdasarkan pendidikan, pelatihan, keterampilan, dan pengalaman yang sesuai.	Personel sudah tersertifikasi dengan adanya petugas iradiator yang terdiri dari petugas operator, petugas perawatan, dan petugas dosimetri.
6 Produk	Pangan harus dikemas dalam bahan yang sesuai untuk setiap tipe produk dan penggunaannya dalam proses radiasi.	Prosedur kendali produk sudah tersedia.
8 Dosimetri	Dosimetri rutin harus dilakukan selama pemrosesan produk untuk memantau proses radiasi.	Prosedur dosimetri sudah tersedia.
10.5 Pelabelan	Persyaratan nasional dan internasional yang sesuai untuk pelabelan pangan iradiasi harus diterapkan.	Manual Teknik IGMP



**Tabel 2.** Identifikasi Penerapan Persyaratan Penting dalam SNI ISO 11137-1:2015

Klausul	Persyaratan	Penerapan di IGMP
1. Ruang lingkup	Standar ini menentukan persyaratan untuk pengembangan, validasi dan kendali rutin pada proses sterilisasi radiasi alat medis. Cakupan: a) radionuklida Co-60 atau Cs-137, b) berkas dari generator elektron, atau c) berkas dari generator Sinar-X.	Belum tersedia
4.3 Realisasi produk	Dosimetri yang digunakan dalam pengembangan, validasi, dan kendali rutin dari proses sterilisasi harus memiliki ketertelusuran pengukuran ke standar nasional atau internasional dan harus memiliki tingkat ketidakpastian yang diketahui	Prosedur layanan iradiasi IGMP sudah tersedia
4.4 Pengukuran, analisis dan peningkatan – Kendali produk yang tidak sesuai	Prosedur untuk kendali produk yang dinyatakan tidak sesuai, tindakan koreksi dan pencegahan harus ditentukan. Prosedur ini harus memenuhi butir yang berlaku pada ISO 13485.	Manual Teknik IGMP
5.3 Pengaruh bahan	Standar ini tidak mensyaratkan kinerja studi pada pengaruh bahan, tetapi mensyaratkan kinerja studi tentang pengaruh radiasi pada produk.	Belum tersedia
5.4 Pertimbangan lingkungan	Pengaruh yang potensial pada lingkungan dari operasi proses sterilisasi radiasi harus dinilai dan pengukuran untuk perlindungan lingkungan harus diidentifikasi	Belum tersedia
6. Karakterisasi proses dan peralatan	Terkait variabel proses dan peralatan	Belum tersedia
8.2 Penetapan dosis sterilisasi	Penetapan dosis sterilisasi yang harus ditetapkan (minimum dan maksimum)	Belum tersedia
9. Validasi	Terdapat kualifikasi instalasi, kualifikasi operasional, kualifikasi kinerja	Manual Teknik IGMP
10. Pemantauan dan kendali rutin	Prosedur penanganan produk, penghitungan, dan pemeriksaan jumlah produk	Manual Teknik IGMP
11. Pelepasan produk dari sterilisasi	Prosedur kaji ulang dan pelepasan produk	Belum tersedia

Dari beberapa klausul penting yang ada maka penerapan SNI dinilai dan dipandang sebagai langkah strategis untuk meningkatkan daya saing produk. Selain itu, SNI memiliki keberterimaan yang luas karena harmonis dengan standar internasional dan pengembangannya didasarkan kepada kebutuhan industri serta perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Keberterimaan produk di pasar dalam negeri maupun internasional hanya dapat dicapai apabila ada pernyataan tertulis jaminan mutu dan keamanan produk atau dengan kata lain tersertifikasi. Sertifikasi merupakan bentuk pembuktian penerapan SNI yang dilakukan melalui penilaian kesesuaian dalam rangka memberikan jaminan tertulis oleh pihak ketiga selaku Lembaga Penilaian Kesesuaian (LPK) bahwa suatu produk termasuk desain, bahan baku, teknologi, dan proses produksinya telah memenuhi persyaratan standar yang ditetapkan.





Dalam hal ini, proses sertifikasi IGMP dilakukan melalui penilaian kesesuaian yang mencakup pengujian produk, personel, dosimetri dan asesmen terhadap sistem mutu dan proses produksinya, serta inspeksi rancangan dan instalasi peralatan pendukung yang terpasang dalam IGMP untuk mengetahui konsistensi dan keberlanjutan penerapan standarnya. Secara umum penerapan terhadap persyaratan SNI ISO 14470:2014 sebagian besar sudah diterapkan dan sudah dibuat masing-masing prosedur terkait. Sedangkan untuk penerapan SNI ISO 11137:2015 belum sepenuhnya diterapkan karena sejauh ini IGMP belum melakukan sterilisasi terhadap alat kesehatan, hanya beberapa klausul umum yang sudah tersedia prosedurnya. Pelaksana sertifikasi terkait SNI 14470:2014 dan SNI ISO 11137:2015 di Indonesia sampai saat ini belum ada sehingga sertifikasi dapat dilakukan melalui *self-declaration*.

## KESIMPULAN

Penerapan SNI 14470:2014 terkait iradiasi pangan sudah terpenuhi, dibuktikan dengan adanya prosedur terkait klausul yang harus diterapkan. Selain itu, telah dibuat Manual Teknik IGMP yang isinya mengambil klausul-klausul penting dari SNI tersebut. Dalam SNI ISO 11137-1:2015 terkait sterilisasi alat kesehatan, penerapan di IGMP perlu ditingkatkan karena hanya klausul-klausul umum yang prosedurnya sudah tersedia, sedangkan persyaratan terkait sterilisasi alat kesehatan belum diterapkan. Persyaratan penting dari kedua SNI tersebut dapat dijadikan sebagai acuan yang digunakan dalam pengembangan iradiator di Indonesia. IGMP setidaknya mulai menerapkan beberapa klausul persyaratan penting dari standar sebelum menerapkan semua persyaratan yang ada.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi dan Mutu Nuklir (sebelumnya Pusat Riset Standardisasi dan Mutu Nuklir), Tim percepatan sertifikasi IGMP, dan seluruh karyawan PRSMN yang telah mendukung dalam penulisan makalah ini. Tak lupa juga kami sampaikan terima kasih kepada seluruh anggota Komite Teknis 67-05 Bidang Pangan Iradiasi dan pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2014 tentang Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian.
- [2] IAEA, "Manual on Panoramic Gamma Irradiators (Categories II and IV)," 1996.
- [3] IAEA, "Gamma Irradiators for Radiation Processing," Vienna, Austria.
- [4] IAEA, "Manual on Panoramic Gamma Irradiators (Categories II and IV)," 1996.
- [5] BATAN, "Dua fasilitas nuklir diresmikan Wapres JK," *Badan Tenaga Nuklir Nasional*,



2017. <http://www.batan.go.id/index.php/id/kedeputan/pendayagunaan-teknologi-nuklir/rekayasa-fasilitas-nuklir/3878-dua-fasilitas-nuklir-diresmikan-wapres-jk>.
- [6] B. Saputro, A. Rachmanto, dan F. H. Setiawan, "Analysis of quality assurance of irradiator gamma merah putih products using dosing mapping method," dalam International Conference on Nuclear Capacity Building, Education, Research and Applications, 2020, vol. 1, pp. 488–498.
- [7] T. Ardiyanti dan Kasmudin, "Pengukuran laju paparan radiasi dan potensi paparan radiasi sumber iradiator gamma merah putih," dalam Prosiding Seminar Nasional APISORA, 2018, pp. 163–169.
- [8] BATAN, "IGMP tingkatkan ekspor produk pertanian," *Badan Tenaga Nuklir Nasional*, 2018. <https://www.batan.go.id/index.php/id/kedeputan/sains-aplikasi-teknologi-nuklir/aplikasi-isotop-dan-radiasi/4377-igmp-tingkatkan-ekspor-produk-pertanian>
- [9] L. J. Moloeng, *Metode Penelitian Kualitatif*, Bandung: PT Remaja Rosdakarya, 1994
- [10] J. H. McMillan dan S. Achumacher, "Research in Education," in *A Conceptual Introduction*, New York, Longman, 2001.



## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

Buku ini tidak diperjualbelikan.



MI-005

## INSPEKSI BELLOWS EXPANSION JOINT SXB-34603D TRAIN 3 MENGGUNAKAN *DYE PENETRAN* DAN METALOGRAFI MIKRO

### *INSPECTION OF BELLOWS EXPANSION JOINT SXB-34603D TRAIN 3 USING DYE PENETRAN AND MICRO-METALLOGRAPHY*

Mudi Haryanto dan Andryansyah

#### ABSTRAK

Pemeriksaan sambungan ekspansi *SXB-34603D Train 3* telah dilakukan. Pemeriksaan dilakukan dengan uji, metalografi *in-situ*, pengukuran kekerasan *in-situ*, dan pengukuran panjang total *expansion joint* tanpa selongsong. Uji *dye penetrant* dilakukan untuk mengetahui diskontinuitas permukaan, seperti retak makro, porositas terbuka, dan korosi. Metalografi *in-situ* digunakan untuk evaluasi kondisi struktur mikro. Pengukuran kekerasan *in-situ* dilakukan untuk menentukan kekerasan logam *bellow*. Pengukuran panjang total bertujuan untuk melihat perubahan dimensi *expansion joint*. Berdasarkan hasil pemeriksaan kerusakan pada permukaan *bellow* tidak ditemukan dan kekerasan pada sambungan ekspansi adalah dalam rentang 127–158 HB. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa sambungan ekspansi *SXB-34603D Train 3* masih dalam kondisi baik. Mengingat bahwa umur desain sambungan ekspansi telah terlampaui, disarankan untuk dilakukan pemeriksaan rutin setiap dua tahun.

**Kata Kunci:** *Bellow*; Sambungan Ekspansi; Inspeksi; *Penetrant*; Metalografi Replika *In-Situ*.

#### ABSTRACT

*Examination of expansion joint SXB-34603D Train 3 has been carried out. Inspection was conducted by dye penetration test, in-situ metallography, in-situ hardness measurement, and total length measurement of expansion joint without sleeve. Penetrant test was to find surface discontinuities such as, macro cracks, open porosity, and corrosion. In-situ metallography was to assess microstructure condition. In-situ hardness measurement was to determine the hardness of metal bellows. Total length measurement was to see dimension changing of expansion joint. The result of the inspection is that there was no failure detected on the surface of the bellows and the hardness of the expansion joint bellows was in*

---

M. Haryanto, & Andryansyah

\*Direktorat Pengelolaan Laboratorium, Fasilitas Riset, dan Kawasan Sains dan Teknologi BRIN, e-mail: mudi001@brin.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

M. Haryanto dan Andryansyah, "Inspeksi bellows expansion joint SXB-34603D Train 3 menggunakan *dye penetrant* dan metalografi mikro," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 14, pp. 141–150, DOI: 10.55981/brin.690.c655

E-ISBN: 978-623-8372-02-7



*the range of 127–158 HB. Based on the inspection results, it can be concluded that expansion joint SXB-34603D Train 3 is still in good condition. Since the life design of the expansion joint has been exceeded, it would be better to re-inspect it routinely every two years.*

**Keyword:** *Bellows; Expansion Joint; Inspection; Penetrant; In-Situ Replica Metallography.*

## PENDAHULUAN

Sambungan ekspansi adalah bagian penting dari banyak sistem perpipaan untuk menyalurkan fluida dan sering dibuat dari logam bergelombang. Sambungan itu sendiri relatif murah, tetapi konsekuensi dari kegagalan sambungan bisa bernilai cukup mahal.

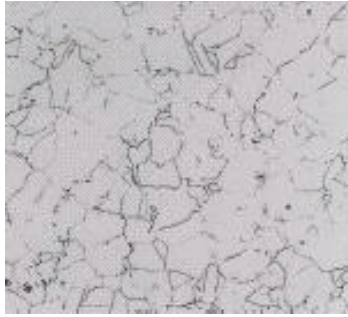
*Expansion joint SXB-34603D Train 3* telah digunakan sejak tahun 1991. Pemeriksaan harus dilakukan pada *expansion joint* untuk memastikan tidak ada cacat terutama retak lelah. Metode pengujian untuk mendeteksi cacat permukaan adalah uji *dye penetrant* dan metalografi *in-situ*. Uji *dye penetrant* dapat digunakan untuk mengetahui retak makro, porositas terbuka, dan korosi [1]. Metalografi *in-situ* dapat digunakan untuk menemukan retakan mikro dan perubahan struktur mikro [2]. Pengambilan foto dilakukan saat pengamatan *in-situ* di bawah mikroskop portabel sebagai bagian dari pengujian metalografi yang bertujuan sebagai dokumentasi.

Sambungan ekspansi *bellow* yang telah diperiksa terbuat dari logam ASTM B168-600 (paduan 600). Kekuatan tarik minimum untuk logam tertentu diberikan dalam standar. Pengukuran kekerasan logam dapat memberikan informasi tentang kelelahan logam karena kekerasan berkaitan langsung dengan kelelahan.

Tujuan inspeksi ini adalah untuk mendeteksi cacat yang pada sambungan ekspansi *bellows* setelah digunakan sejak tahun 1991. Metode pemeriksaan untuk pekerjaan ini adalah uji *dye penetrant*, metalografi *in-situ*, pengukuran kekerasan *in-situ*, dan pengukuran panjang total *expansion joint* tanpa selongsong.

## TEORI

Inti dari sambungan ekspansi adalah elemen *bellow* itu sendiri. *Bellow* yang diperiksa terbuat dari logam ASTM B168-600, yang setara dengan paduan 600. Gambar 1 adalah mikrograf dari logam ASTM B168-600 dalam standar ASM Volume 9, yang menunjukkan adanya batas butir paduan 600.



**Gambar 1.** Mikrostruktur *alloy 600*

### **Pengujian *Dye Penetran***

Inspeksi *dye penetran* dapat digunakan untuk menemukan diskontinuitas permukaan, seperti retakan yang tidak dapat terlihat secara visual. Tahapan pengujian *dye penetran* ada empat proses [3]. Pertama, permukaan dibersihkan. Kedua, *penetran* cair disemprotkan di permukaan yang diperiksa dan kemudian dibersihkan sehingga meninggalkan *penetran* yang terjebak dalam diskontinuitas. Ketiga, pengembang (*developer*) kemudian disemprotkan ke permukaan. Keempat, *penetrant* bermigrasi di dalam diskontinuitas, bereaksi dengan pengembang sehingga menyebabkan perubahan warna yang mengidentifikasi lokasi diskontinuitas.

### **Metalografi *in-situ***

*Expansion Joint*, yang dioperasikan pada suhu rendah dalam waktu yang lama dapat menyebabkan kelelahan atau retak korosi tegangan (*stress corrosion cracking*/SCC) sehingga menyebabkan retak. Penerapan teknik *non-destructive testing* (NDT) menggunakan metode metalografi *in-situ* dapat merekam topografi permukaan logam sehingga kerusakan struktur mikro termasuk adanya retakan mikro dapat diketahui.

Pengujian menggunakan metalografi *in-situ* untuk melihat kondisi struktur mikro komponen dapat dilakukan tanpa memotong bahan komponen dan tidak perlu dibawa ke laboratorium. Proses preparasi di titik pengamatan dilakukan dengan mesin poles portabel dengan kertas ampelas dan dilanjutkan dengan penggunaan pasta intan. Untuk menampilkan butiran logam, solusi etsa digunakan.

Pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop portabel untuk mengetahui integritas struktur mikro bahan selama digunakan. Untuk keperluan dokumentasi, foto struktur mikro diambil dengan menggunakan kamera digital.

### **Mengukur *Hardness In-Situ***

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *Rebound Hammer*. Dalam peralatan ini terdapat sebuah massa, berupa benda keras berbentuk bulat terbuat dari tungsten karbida, yang dipercepat dan ditumbukkan ke permukaan material



yang diuji. Tumbukan menyebabkan penyerapan energi kinetik dari massa yang dipercepat tersebut sehingga menimbulkan deformasi plastis pada permukaan berupa lekukan. Makin besar energi kinetik yang diserap makin besar lekukan yang dihasilkan. Kecepatan setelah dan sebelum tumbukan masing-masing diukur dalam mode non-kontak.

### **Pengukuran Panjang Total**

Pengukuran panjang total dilakukan untuk mengetahui perubahan panjang total dari sambungan ekspansi. Adanya perubahan dimensi dalam arah memanjang atau lateral dapat mengakibatkan perubahan panjang total.

## **METODE PERCOBAAN**

### **Bahan dan Alat**

#### ***Bahan***

- Sambungan ekspansi *bellow* terbuat dari paduan 600 (ASTM B168-600) produk Amerika Serikat.
- Bahan kimia HCL dan HNO<sub>3</sub> diperoleh dari toko kimia
- Ampelas diperoleh toko-toko besi dan bangunan.
- cleaner*, *penetrant*, dan *developer* untuk uji *dye penetrant*.

#### ***Alat***

- Mesin gerinda dan *polishing* (Jerman) berfungsi untuk mengamplas *bellows*. Mikroskop untuk melihat mikrostruktur *bellows*.
- Kamera (Casio, Jepang) untuk merekam gambar mikrostruktur.
- Hardness tester* (Proceeq, Swiss) untuk mengetahui kekerasan *bellows*.

### **Tata Kerja**

Sebelum dilakukan pengujian *penetrant* dilakukan pembersihan dengan kain pembersih untuk menghilangkan debu yang menempel pada *bellows*. Setelah itu, permukaan *bellows* dibersihkan dengan larutan *cleaner*. Selesai pembersihan dengan *cleaner*, tunggu sampai kering, lalu beri *penetrant* dengan larutan *dye penetrant*.

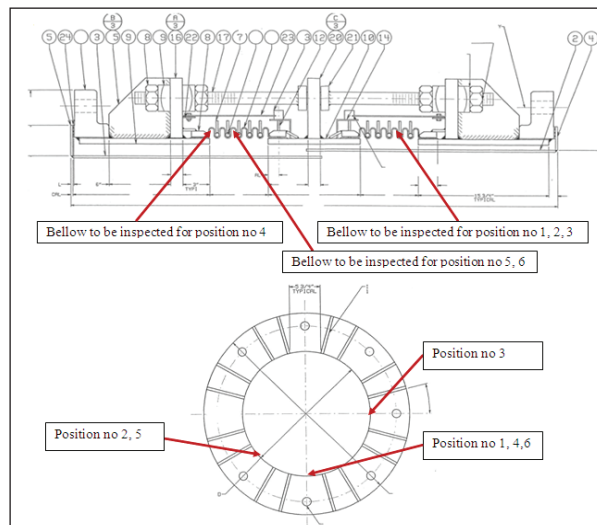
Waktu tunggu (*Dwell Time*) *penetrant* adalah sekitar 10 menit [4] agar cairan *penetrant* meresap ke dalam *bellows*. Setelah waktu tunggu terpenuhi, bersihkan permukaan dengan kain untuk menghilangkan warna merahnya. Kemudian untuk menghilangkan sisa warna merah, *cleaner* disemprotkan pada kain dan diusapkan pada permukaan *bellows* dengan cepat. Ketika permukaan *bellows* sudah benar-benar bersih dari *penetrant*, semprotkan larutan pengembang (*developer*) pada permukaan *bellows*.

Kemudian, *bellows* diamati dan dianalisis bila ada indikasi cacat. Pengamatan dilakukan sampai 60 menit, setelah itu dimensi cacat diukur dan difoto. Pengujian



metalografi *in-situ* dilakukan pada 3 posisi (Gambar 2). Proses pengamplasan terdiri dari lima tahap, yaitu masing-masing secara berurutan dengan menggunakan kertas ampelas dengan *grid* 120, 240, 400, 600, dan 800. Setelah diampelas, permukaan dipoles menggunakan *polisher* dengan *diamond pasta polish 1 mikron*. Setelah dipoles, permukaan digores menggunakan *reagen aqua regia* [5] berupa campuran 3 bagian HCl dan 1 bagian  $\text{HNO}_3$  selama sekitar sepuluh menit. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop portabel untuk mengetahui integritas struktur mikro permukaan bahan setelah dioperasikan. Foto struktur mikro diambil dengan menggunakan kamera digital untuk keperluan dokumentasi.

Pengukuran kekerasan dilakukan pada permukaan yang halus. Posisi tersebut sama dengan posisi area uji pengujian metalografi. Pengukuran panjang total dilakukan dengan menggunakan meteran.

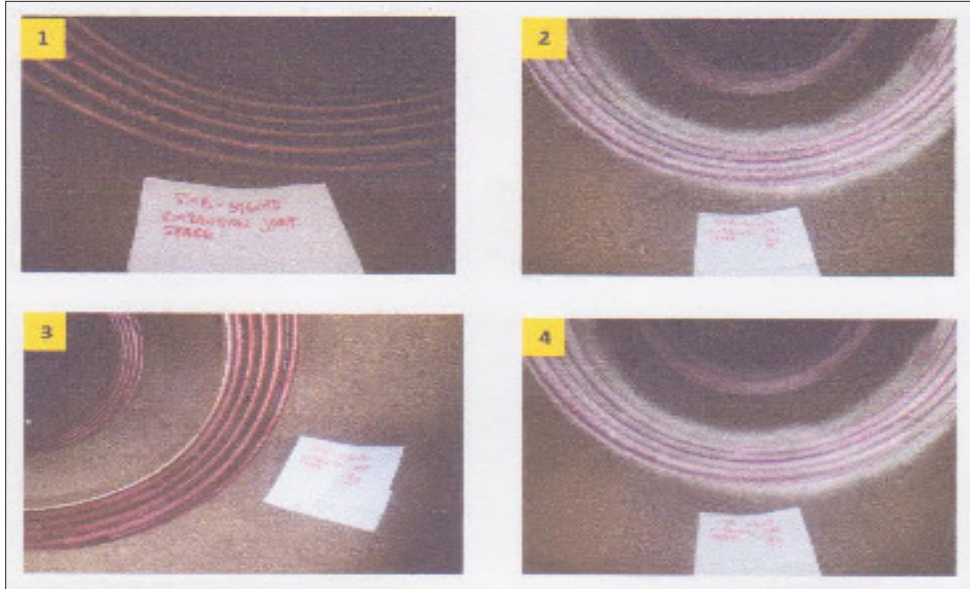


**Gambar 2.** Posisi di Mana Metalografi In-situ Dilakukan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tidak ada diskontinuitas, terutama retak, yang terdeteksi dengan uji *dye penetran*. Hal ini menunjukkan bahwa daerah yang akan diuji bebas dari retakan makro. Gambar 3 menunjukkan hasil uji *penetran*.



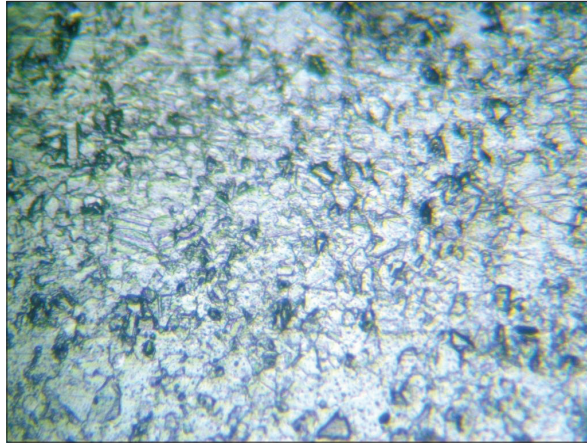


**Gambar 3.** Foto Dokumen Cairan *Penetran*

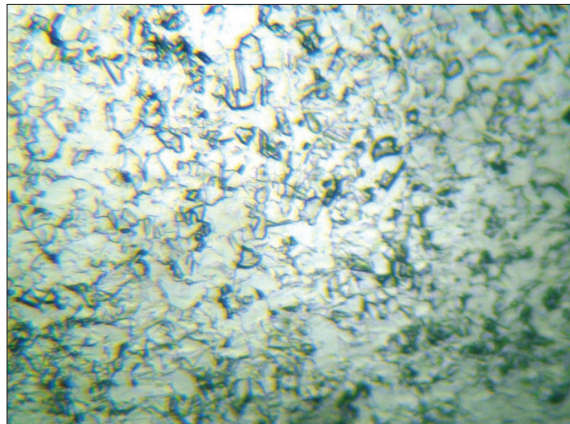
Pemeriksaan di tiga area uji permukaan setelah etsa dengan menggunakan mikroskop portabel menunjukkan bahwa struktur butir masih tetap normal untuk paduan ini dan tidak ada retakan pada batas butir atau kekosongan yang terlihat. Gambar 4 sampai 9 adalah mikrograf yang diambil oleh mikroskop portabel *in-situ*, yang menunjukkan adanya batas butir yang bebas dari rongga dan retakan mikro. Panah merah menunjukkan indikasi proses sensitisasi. Proses sensitisasi diperkirakan akan terjadi pada saat pembuatan *ekspansion joint* karena temperatur operasi dari *ekspansion joint* cukup rendah, Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa material *bellows* masih dalam kondisi baik, meskipun sambungan ekspansi telah digunakan melebihi waktu desain. Foto-foto struktur mikro yang ada diambil dari pengujian ini dapat digunakan sebagai referensi pengujian secara berkala setiap dua tahun pengoperasian juga direkomendasikan.

Pengukuran kekerasan pada lokasi yang berbeda menunjukkan bahwa kekerasan material *bellow* adalah 129HB pada posisi 1, 158HB pada posisi 2, 136HB pada posisi 3, 130HB pada posisi 4, 127HB pada posisi 5, dan 145HB pada posisi 6. Data awal nilai kekerasan material untuk komponen ini tidak tersedia maka nilai kekerasan yang didapat ini dapat digunakan sebagai acuan pada pengujian berkala berikutnya. Jika pada pengujian berkala berikutnya didapat nilai kekerasan yang meningkat maka perlu dilakukan evaluasi dengan memperhatikan struktur mikro yang ada.

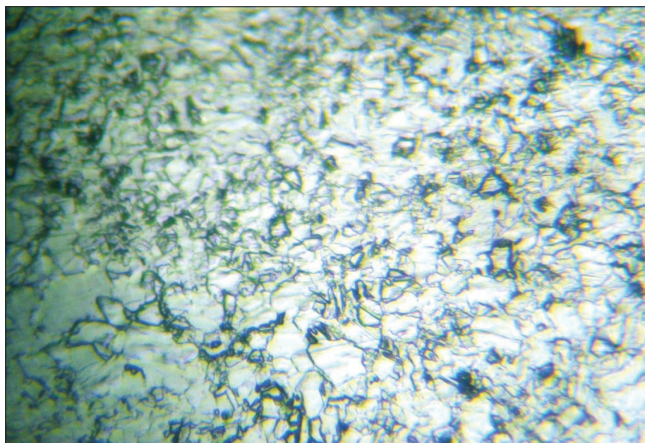
Pengukuran panjang total *ekspansion joint* didapat nilai sebesar 1457mm, 1461mm, 1465mm, 1460mm. Jika pada pengujian berkala berikutnya, nilai panjang total bertambah cukup besar maka perlu dilakukan pengamatan struktur mikro yang ada apakah mulai terbentuk retak mikro.



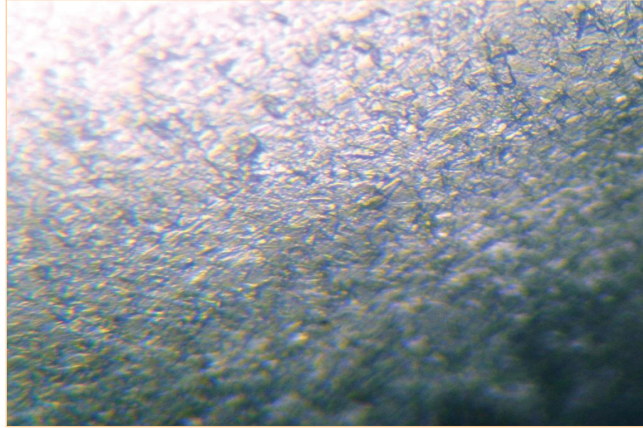
**Gambar 4.** Mikrostruktur di Posisi 1 (*Optic. Magnification 100X*)



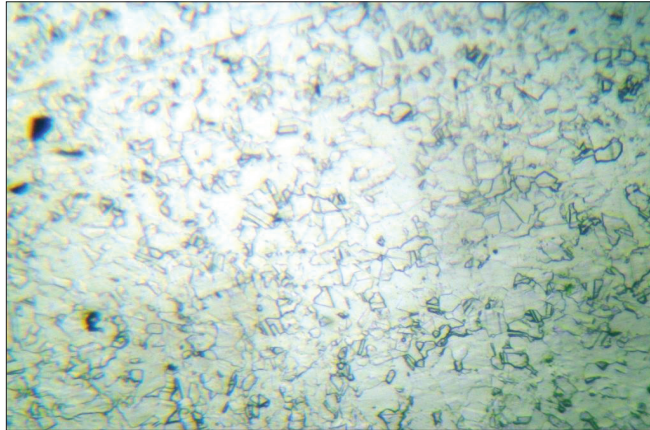
**Gambar 5.** Mikrostruktur di Posisi 2 (*Optic. Magnification 100X*)



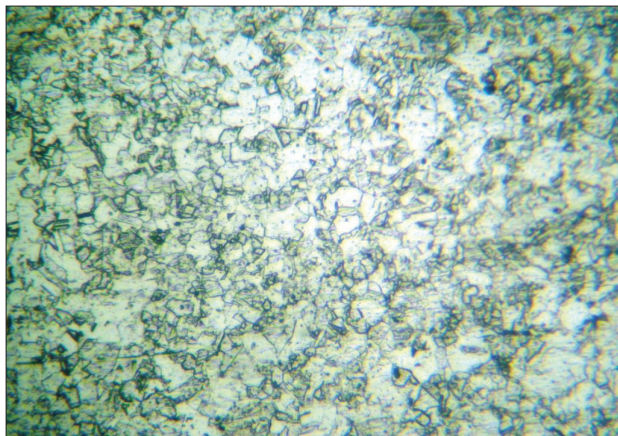
**Gambar 6.** Mikrostruktur di Posisi 3 (*Optic Magnification 100X*)



**Gambar 7.** Mikrostruktur di Posisi 4 (*Optic. Magnification 100X*)



**Gambar 8.** Mikrostruktur di Posisi 5 (*Optic. Magnification 100X*)



**Gambar 9.** Mikrostruktur di posisi (*Optic. Magnification 100X*)



## KESIMPULAN

Hasil pengujian menggunakan *dye penetrant* dan struktur mikro tidak menemukan adanya diskontinuitas atau cacat pada permukaan sambungan *bellows* yang dapat menimbulkan kegagalan fungsi *expansion joint*. Data pengujian kekerasan menggunakan peralatan *rebound hammer* menunjukkan bahwa sambungan ekspansi *bellows* masih baik dan dari pengukuran panjang total menunjukkan bahwa dimensi *expansion joint* tidak berubah. Meskipun, secara desain sambungan *expansion joint* telah malampaui masa pakai dan masih dalam kondisi baik, disarankan untuk dilakukan pengujian ini secara rutin, setiap 2 tahun. Hal ini untuk menghindari atau mengurangi risiko kegagalan fungsi dari *expansion joint* saat dioperasikan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Bapak Puguh yang telah membantu dalam kelancaran penelitian di Area.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. I. Sumardani dkk., “Defect analysis of carbonsteel pipe welding connections using non-destructive testing with the *penetrant* test method,” *Risenologi (Jurnal Sains, Teknologi, Sosial, Pendidikan, dan Bahasa)*, vol. 5, no. 1, 2020.
- [2] Ilham Hatta, “Aplikasi mikro-analisis dan fraktografi untuk menentukan kualitas produk manufaktur dan penyebab kerusakan suatu komponen,” dalam Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan, ISSN 1411-2213, Serpong, 3 Oktober 2012.
- [3] Pendidikan dan Pelatihan Magnetic Particle & Liquid *Penetrant* Level 2, “NDT Liquid *Penetrant*,” B4T, Bandung 2008.
- [4] M. Haryanto, A. Mardhi, dan Andryansyah, “Analisis uji permukaan las dengan metode *dye penetran* dan maknetik partikel,” dalam Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir, ISSN:2355-7524, Serpong, 18 November 2020
- [5] Chrisman dan A. P. Bayuseno, “Analisis stress corrosion cracking austenitic stainless steel (AISI 304) dengan metode U-bend pada media korosif HCL1 M,” *Jurnal Teknik Mesin S-1*, vol. 2, no. 1, 2014.



## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

Buku ini tidak diperjualbelikan.



KL-001

## KAJIAN DOSIS PENGANGKUTAN ZAT RADIOAKTIF SEBAGAI UPAYA PENETAPAN PROGRAM PENGANGKUTAN DI PRTRR

### *DOSE ASSESSMENT ON RADIOPHARMACEUTICAL TRANSPORT AS AN EFFORT TO DETERMINE TRANSPORT PROGRAM IN PRTRR*

**Bisma Barron Patrianesha, Didik Setiaji, Fath Priyadi, dan Hadirahman**

#### ABSTRAK

Telah dilakukan sebuah kajian dosis pada kegiatan pengangkutan zat radioaktif di Pusat Riset dan Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PRTRR), Serpong, Indonesia. Zat radioaktif yang diangkut adalah zat radioaktif yang diproduksi oleh PRTRR berbentuk radiofarmaka yang digunakan di rumah sakit. Bagian terpenting dari kajian dosis ini adalah data radiologi pada pengangkutan normal (*incident-free*) radiofarmaka. Data radiologi tersebut adalah paparan radiasi pada personel pengangkut dan pekerja yang melakukan bongkar-muat bungkusan. Parameter yang digunakan dalam melakukan kajian dosis ini adalah jumlah dan tipe bungkusan, kategori bungkusan dan Indeks Angkut, zat radioaktif yang dikirim, frekuensi pengiriman, durasi penyimpanan dan pengangkutan, laju dosis bungkusan, waktu paparan, jarak/pemisahan, dan pengaturan *shielding*. Data-data pengangkutan yang digunakan untuk menghitung dosis efektif berdasarkan parameter kajian dosis adalah data pengangkutan selama tahun 2020. Berdasarkan data-data tersebut didapatkan dosis efektif bagi petugas pengangkut dan petugas bongkar muat selama tahun 2020 adalah 0,047 mSv. Nilai ini masih jauh di bawah 20 mSv per tahun yang merupakan batas yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Dengan dosis efektif sebesar 0,047 mSv, pengangkutan zat radioaktif di PRTRR tidak diwajibkan untuk melakukan pemantauan dosis personel dan/atau pemantauan daerah kerja. Hal ini disebabkan karena kewajiban pengirim dalam melakukan pemantauan dosis perorangan dan/atau pemantauan paparan daerah kerja pada dosis efektif di bawah 1 mSv tidak diatur secara jelas dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2020. Hasil kajian ini dapat dijadikan panduan untuk membuat program proteksi dan keselamatan radiasi khusus kegiatan transportasi sebagai manual untuk melaksanakan kegiatan pengangkutan zat radioaktif.

**Kata Kunci:** Kajian Dosis; Pengangkutan Zat Radioaktif; *Incident-free*; Radiofarmaka; Dosis Efektif.

---

B. B. Patrianesha, D. Setiaji, F. Priyadi, & Hadirahman

\*Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran BRIN, e-mail: bism001@brin.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

B. B. Patrianesha, D. Setiaji, F. Priyadi, dan Hadirahman "Kajian dosis pengangkutan zat radioaktif sebagai upaya penetapan program pengangkutan di PRTRR," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 15, pp. 151–161, DOI: 10.55981/brin.690.c656  
E-ISBN: 978-623-8372-02-7

**ABSTRACT**

*A dose assessment has been conducted on the transport of radioactive materials at the Center for Radioisotope and Radiopharmaceutical Research and Technology (PRTRR), Serpong, Indonesia. Radioactive materials transported are radioactive materials produced by PRTRR in the form of radiopharmaceuticals used in hospitals. The most important part of this dose assessment is radiological data on normal transportation (incident-free) of radiopharmaceuticals in the form of radiation exposure to transport personnel and workers who carry out loading and unloading of packages. The parameters used in conducting this dose assessment were the number and type of packages, package category and Transport Index, radionuclides shipped, delivery frequency, storage and transport duration, package dose rate, exposure time, distance/separation, and shielding settings. The transportation data used to calculate the effective dose based on the dose study parameters are transportation data for 2020. Based on the data on these parameters, the effective dose during 2020 for transport officers and loading and unloading officers is 0,047 mSv, still far below 20 mSv per year. which is the limit set by (National Nuclear Energy Regulatory Agency of Indonesia (BAPETEN). With an effective dose of 0,047 mSv, the transport of radioactive substances at PRTRR is not obliged to monitor personnel doses and/or monitor work areas. This is because the sender's obligation to monitor individual doses and/or monitor work area exposures at effective doses below 1 mSv is not clearly regulated in the Regulation of the Head of BAPETEN No. 7 Year 2020. The results of this study can be used as a guide to compile radiation protection and safety program for transportation as a manual for carrying out activities for radioactive material transport.*

**Keywords:** Dose Assessment; Radioactive Material Transportation; Incident-Free; Radiopharmaceutical; Effective Dose.

**PENDAHULUAN**

Kemajuan teknologi di berbagai bidang makin meningkat seiring dengan perkembangan zaman. Salah satu teknologi yang makin banyak digunakan di Indonesia adalah teknologi nuklir dalam bentuk penggunaan zat radioaktif berupa radioisotop untuk penggunaan medis, non-medis, dan industri. Pusat Riset dan Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PRTRR) memiliki fungsi untuk melaksanakan pengembangan teknologi produksi radioisotop dan radiofarmaka dengan mengutamakan aspek keselamatan.

Hasil pengembangan yang telah dibuat oleh Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka dan dimanfaatkan di Rumah Sakit adalah Senyawa Bertanda  $^{153}\text{Sm-EDTMP}$ ,  $^{131}\text{I-MIBG}$  Diagnosis,  $^{131}\text{I-MIBG}$  Terapi, dan Kit Radiofarmaka MIBI, DTPA, MDP, Etambutol. Senyawa Bertanda merupakan produk radiofarmaka yang di dalamnya sudah memiliki zat radioaktif sehingga kegiatan pemanfaatannya diawasi oleh BAPETEN.

Senyawa bertanda yang telah diproduksi oleh PRTRR memerlukan tahap pengangkutan zat radioaktif agar dapat digunakan oleh rumah sakit. Di dalam prosesnya, persetujuan pengangkutan dari BAPETEN diperlukan untuk dapat melakukan pengangkutan zat radioaktif.



Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 58 Tahun 2015 tentang Keselamatan dan Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif dan Peraturan BAPETEN No. 7 Tahun 2020 tentang Ketentuan Keselamatan dan Tata Laksana Pengangkutan Zat Radioaktif, salah satu persyaratan yang diperlukan adalah melakukan kajian dosis untuk menentukan program pengangkutan yang diperlukan dalam tata laksana pengangkutan zat radioaktif. Tujuan dilakukannya kajian ini adalah sebagai upaya untuk memenuhi ketentuan keselamatan dan tata laksana pengangkutan Zat Radioaktif sesuai dengan amanah pada Peraturan BAPETEN No.7 Tahun 2020. Selanjutnya, kajian ini dapat digunakan untuk menentukan apakah pengirim wajib melakukan pemantauan dosis perorangan dan/atau melakukan pemantauan daerah kerja dalam pelaksanaan pengangkutan zat radioaktif. Hasil tersebut dapat dituangkan dalam Program Pengangkutan. Dengan program pengangkutan berbasis pada kajian ini maka diharapkan tindakan proteksi radiasi yang akan dilakukan sudah berdasarkan risiko yang diperoleh sehingga tujuan keselamatan radiasi dalam melindungi pekerja, masyarakat, dan lingkungan dari bahaya radiasi pada kegiatan pengangkutan zat radioaktif dapat tercapai dengan efisien.

## METODE PERCOBAAN

Metode yang digunakan dalam kajian dosis tercantum dalam Lampiran XIV Peraturan BAPETEN No. 7 Tahun 2021 tentang Ketentuan Keselamatan dan Tata Laksana Pengangkutan Zat Radioaktif, yaitu:

1. menggunakan perhitungan software komputer/*computer code*;
2. memperkirakan dengan menggunakan asumsi skenario dan laju dosis dari bungkusan;
3. memperkirakan berdasarkan nilai TI (*Transport Index*);
4. menggunakan data dari pengukuran langsung.

Pada kajian ini metode yang digunakan adalah kombinasi dari metode di atas. Beberapa data telah didapatkan, yaitu data-data pengangkutan radiofarmaka selama tahun 2020. Sebagai upaya dalam membuat kajian secara akurat mengenai dosis yang didapatkan pekerja diperlukan parameter-parameter berikut ini yang tercantum dalam Peraturan BAPETEN Nomor 7 Tahun 2020 Lampiran XIV, yaitu:

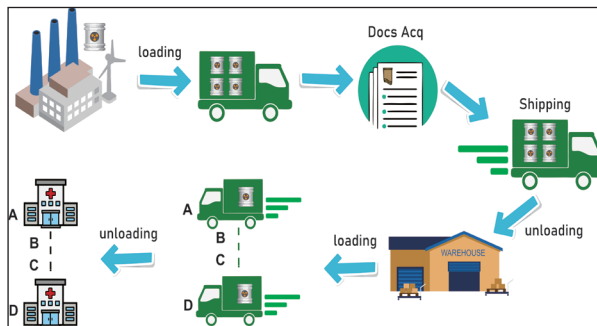
1. jumlah dan tipe bungkusan;
2. kategori bungkusan dan Indeks Angkut;
3. radionuklida yang dikirim;
4. frekuensi pengiriman;
5. durasi penyimpanan dan pengangkutan;
6. laju dosis bungkusan;
7. waktu paparan;
8. jarak/pemisahan;
9. pengaturan *shielding*.





Parameter tersebut didapatkan dari data dalam pengangkutan normal (*incident-free*) pada bulan Januari sampai dengan Desember tahun 2020 tanpa mengambil data kecelakaan. Data pada pengangkutan normal tersebut diolah untuk mendapatkan total laju dosis pada permukaan dan Indeks Angkut. Hasilnya yang merupakan dosis tahunan kemudian dibandingkan dengan nilai batas dosis 20 mSv yang mengacu kepada IAEA.

Pengangkutan yang dijalankan selama tahun 2020 adalah pengangkutan zat radioaktif menggunakan jasa ekspedisi via jalur darat. Produk radioisotop biasanya selesai dilakukan *packaging* menjelang pukul 15.00 WIB, proses *loading* dan administrasi berlangsung rata-rata 1 jam yang dilakukan oleh 1 orang. Selanjutnya, pengangkutan dilakukan menuju lokasi kantor penyedia jasa pengangkutan radiofarmaka. Proses penyimpanan ke gudang dilakukan oleh pengemudi tidak melibatkan pekerja lainnya. Bungkus disimpan mempertimbangkan waktu perjalanan dan waktu buka layanan kedokteran nuklir di rumah sakit tujuan. Pengemudi yang ditugaskan untuk melakukan pengiriman adalah 1 orang untuk satu rumah sakit. Deskripsi alur pengangkutan di atas tergambar pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Pengangkutan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengangkutan zat radioaktif di PRTRR pada tahun 2020 hanya terkonsentrasi di Pulau Jawa dengan menggunakan jalan darat menggunakan mobil boks. Pengguna produk PRTRR tahun 2020 merupakan Rumah Sakit yang memiliki layanan dan fasilitas kedokteran nuklir, di antaranya Rumah Sakit dr. Hasan Sadikin, Bandung; Rumah Sakit Umum Pusat dr. Kariadi, Semarang; Rumah Sakit Kanker Dharmas, Jakarta; dan MRCCC Siloam Hospital, Jakarta. Dari data ini tidak didapatkan kejadian kecelakaan karena PRTRR berupaya untuk menjamin pelaksanaan pengangkutan secara layak melalui prosedur pemeriksaan kelayakan sebelum perjalanan. Pemeriksaan kelayakan dalam pengangkutan ini sangat penting guna menjamin agar proses pengangkutan tidak menimbulkan dampak merusak radiologi bagi pekerja dan publik [1]. Keseluruhan kegiatan ini artinya dikategorikan sebagai pengangkutan normal. Pengangkutan Normal (*incident-free*) adalah pengangkutan



yang tidak terdapat kejadian kecelakaan, kelainan pengemasan atau penanganan, dan serangan jahat [2]. Selama pengangkutan berjalan normal, wadah tidak rusak, dan potensi paparan yang dipertimbangkan adalah paparan eksternal [3].

### Jumlah dan Tipe Bungkusan

Pada tahun 2020, seluruh produk yang berjumlah 180 buah dikemas dalam bungkusan tipe A. Bungkusan Tipe A untuk kegiatan pengangkutan zat radioaktif diuji dengan metode uji semprot air, uji tembus, uji tumpuk, dan uji jatuh bebas [4],[5]. Bungkusan tipe A harus mampu menahan kondisi pengangkutan normal dan rutin tanpa kehilangan isinya atau tanpa membiarkan peningkatan tingkat radiasi permukaan luar lebih dari yang ditentukan [4].

### Kategori Bungkusan dan Indeks Angkut

Produk yang berjumlah 180 buah dikemas dalam Bungkusan Tipe A tersebut teridentifikasi sebagai bungkusan kategori II-Kuning dengan nilai indeks angkut per kendaraan adalah 0,073. Bungkusan dengan kategori II-Kuning atau lebih yang akan berpengaruh pada kontribusi dosis pada pekerja yang terlibat dalam bongkar muat dan pengangkutan [7]. Secara agregat, nilai indeks angkut selama tahun 2020 adalah sebesar 4,04. Data lengkap dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Informasi Utama Bungkusan Terkirim Tahun 2020

No	Deskripsi	Jumlah
1	Aktivitas $^{153}\text{Sm}$ -EDTMP yang dikirim (mCi)	16307,24
2	Aktivitas $^{131}\text{I}$ -MIBG yang dikirim (mCi)	389,57
3	Bungkusan $^{153}\text{Sm}$ -EDTMP dan $^{131}\text{I}$ -MIBG terkirim	180
4	Paket per kendaraan (rata-rata)	3,27
5	Pengiriman	55
6	Pekerja	4

### Radionuklida yang dikirim dan Frekuensi Pengiriman

Zat Radioaktif yang dikirim ke rumah sakit adalah dalam bentuk Radiofarmaka  $^{153}\text{Sm}$ -EDTMP dan  $^{131}\text{I}$ -MIBG.  $^{153}\text{Sm}$ -EDTMP dikirimkan sebanyak 43 kali dalam 166 bungkusan dengan total aktivitas sebesar 16.307,24 mCi dan  $^{131}\text{I}$ -MIBG yang dikirimkan sebanyak 12 kali dalam 14 kali pengiriman dengan total aktivitas 389,57 mCi. Data lengkap disajikan pada Tabel 1.



**Tabel 2.** Informasi Kajian Dosis Yang Telah Dilakukan

No.	Deskripsi	Destinasi				Total
		RSUP dr. Kariadi, Semarang	RSUP dr. Hasan Sadikin, Bandung	RSK Dharmais, Jakarta	MRCCC Siloam Hospital, Jakarta	
1	Pengiriman <sup>153</sup> Sm-EDTMP	22	7	6	8	43
2	Pengiriman <sup>131</sup> I-MIBG	0	3	5	4	12
2	Bungkusan <sup>153</sup> Sm-EDTMP	132	10	6	18	166
3	Bungkusan <sup>131</sup> I-MIBG	0	3	5	6	12
4	Durasi tiap perjalanan (jam)	12	10,5	2	2	26,5
5	Durasi tiap penyimpanan (jam)	0	7	12	12	31
6	Σ Indeks Angkut yang terkirim	2,18	0,32	0,22	1,32	4,04
7	Indeks Angkut per kendaraan	0,10	0,03	0,02	0,11	0,07
8	Σ Laju dosis permukaan yang terkirim (μSv/jam)	1419,57	77,61	114,96	584,40	2196,54
9	Durasi <i>loading-unloading</i> (jam)	0,5	0,5	0,5	0,5	2

### Waktu Paparan, Durasi Pengiriman

Rumah Sakit yang menjadi tujuan pengiriman radiofarmaka terpusat di Pulau Jawa. Moda pengangkutan darat yang digunakan adalah mobil boks. Pembangunan jalan fisik jalan tol yang sudah makin baik di Pulau Jawa dan berkurangnya pengguna jalan pada masa pandemi membuat pengiriman radiofarmaka relatif lebih lancar dibandingkan sebelum pandemi. Hal ini dipengaruhi oleh menurunnya jumlah kendaraan karena aturan pembatasan kegiatan yang ditetapkan oleh Pemerintah [8]. Kendaraan pengangkut bungkusan radiofarmaka biasanya sampai di Rumah Sakit sebelum jam layanan dibuka sehingga harus menunggu pegawai layanan kedokteran nuklir hadir dan melakukan serah-terima radiofarmaka. Durasi perjalanan dapat dilihat jelas pada Tabel 2.

### Laju Dosis Bungkusan

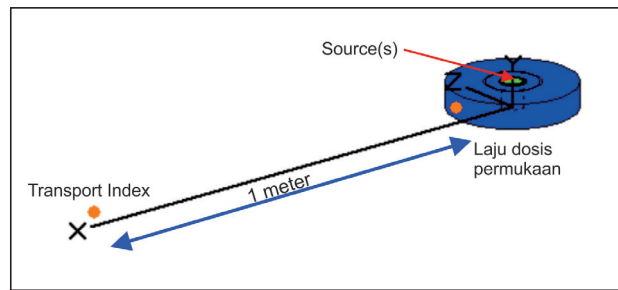
Keberadaan bungkusan zat radioaktif di dalam kendaraan selama proses pengangkutan menjadi potensi bahaya bagi petugas pengangkut yang memberikan kontribusi adanya penerimaan dosis baik bagi petugas pengangkut maupun masyarakat. Besarnya dosis yang diterima petugas pengangkut sangat tergantung dari lamanya proses pengangkutan [9].

Laju dosis dari permukaan atau di luar wadah tergantung pada konsentrasi radioaktivitas, geometri dan bahan wadah. Bahan pelindung yang umum dipertimbangkan termasuk timbal dan tungsten. Timbal memiliki efisiensi perisai yang sangat baik karena nomor atomnya yang tinggi ( $Z = 82$ ), tetapi memiliki kelemahan sebagai bahan logam berat yang berbahaya bagi tubuh manusia dan lingkungan. Tungsten memiliki kinerja pelindung sekitar 1,5 kali lebih tinggi daripada timbal karena kepadatannya yang lebih tinggi, tetapi kurang ekonomis karena biayanya yang



tinggi [10]. Berdasarkan hal tersebut, kontainer pada bungkusannya yang digunakan untuk mengurangi laju dosis pada tahun 2020 menggunakan bahan timbal (Pb) dengan ketebalan 28,3 mm dan berlapis baja luar-dalam setebal 4 mm. Material bungkusannya lainnya adalah kaleng, dan kardus yang tidak terlalu berdampak pada reduksi paparan radiasi. Bungkusannya ini telah dilakukan uji bungkusannya dan dinyatakan lolos uji pada tahun 2012.

Untuk mengetahui laju dosis pada permukaan dan jarak 1 meter pada bungkusannya perlu disimulasikan dengan menggunakan *software* Microshield 7.02. Proyeksi simulasi tersebut tersaji pada Gambar 2 dan dapat dijadikan gambaran awal mengenai potensi laju dosis permukaan dan indeks angkut bungkusannya yang digunakan dalam pengangkutan. Hasil simulasi tersebut untuk variasi produk dengan aktivitas Sm-153 sebesar 50 mCi, 75 mCi, dan 100 mCi; dan I-131 2 mCi, 3 mCi, dan 100 mCi akan menghasilkan laju dosis permukaan dan *transport index* yang tersaji pada Tabel 3 dan 4.



Gambar 2. Simulasi Microshield 7.02 pada Kontainer

Tabel 3. Hasil Simulasi Laju Dosis Permukaan dan 1 Meter Radiofarmaka <sup>153</sup>Sm-EDTMP

No	Aktivitas (mCi)	Laju Dosis (μSv/jam)	
		Permukaan	1 m
1	50	1e-01	6e-02
2	75	6,3e-04	4,2e-04
3	100	1,34e-01	8,5e-04

Tabel 4. Hasil Simulasi Laju Dosis Permukaan dan 1 Meter Radiofarmaka <sup>131</sup>I-MIBG

No	Aktivitas (mCi)	Laju Dosis (μSv/jam)	
		Permukaan	1m
1	2	3,6	2,2e-2
2	3	5,5	3,3e-02
3	100	18,39	1,1



Hal tersebut mengindikasikan bahwa berdasarkan nilai Indeks Angkut pengiriman  $^{153}\text{Sm-EDTMP}$ , secara radiologi menggunakan kontainer timbal (Pb) ini masih sangat aman dan tidak memerlukan proteksi radiasi tambahan, namun nilai Indeks Angkut akan (relatif) tinggi pada pengiriman  $^{131}\text{I-MIBG}$  sehingga perlu mendapatkan perhatian lebih dan bila perlu rekayasa tambahan dapat ditambahkan untuk mengendalikan risiko yang mungkin didapatkan.

### **Jarak Pemisahan, penyimpanan, dan pengaturan *shielding***

Bungkusan radiofarmaka dipisahkan dari pengemudi dan publik. Sebelum pengangkutan dilakukan, bungkusan radiofarmaka diberi jarak dari pengemudi sejauh 3 meter. Hal ini akan memperkecil dosis bagi pengemudi berdasarkan *Inverse Square Law*, yaitu nilai laju dosis radiasi akan turun 9 kali dari nilai Indeks Angkut (paparan radiasi 1m). Dalam studi di Korea Selatan, pada saat proses *loading-unloading* jarak rata-rata antara petugas dan sumber radioaktif dapat diasumsikan 0,1 m [2].

Selama proses pengangkutan, penyimpanan dilakukan hanya di gudang penyedia jasa pengangkut untuk menunggu waktu angkut yang mempertimbangkan ketersediaan armada angkut dan jadwal layanan dari masing-masing rumah sakit. Penyimpanan tersebut dilakukan di luar jam kerja sehingga tidak ada interaksi antara bungkusan radiofarmaka dan pegawai/publik, kecuali pengemudi yang melakukan *unloading*. Dinding gudang juga berfungsi sebagai *shielding* dengan ketebalan 15 cm yang akan memberikan faktor reduksi paparan radiasi Sm-153 sebesar 30. Berdasarkan informasi ini dapat diasumsikan bahwa tidak ada dosis radiasi bagi publik umum. Dosis pengemudi dalam pemisahan ini akan diakumulasikan pada kegiatan *loading-unloading*.

### **Kajian Dosis**

Penilaian terhadap kinerja *shielding*, kontribusi dosis pada pengangkutan zat radioaktif terjadi pada kegiatan *loading*, perjalanan, dan *unloading* [11]. Kegiatan tersebut merupakan interaksi secara langsung antara pekerja pelaksana pengangkutan dan bungkusan. Hasil perhitungan didapatkan dosis pada proses *loading-unloading* adalah 10,97  $\mu\text{Sv}$ , dan dosis selama proses perjalanan adalah 36,15  $\mu\text{Sv}$ . Data dosis pada pengangkutan per rumah sakit tersaji pada Tabel 5. Dosis tertinggi adalah dosis pekerja yang melakukan pengiriman ke Rumah Sakit Umum Pusat dr. Kariadi karena jumlah nilai laju dosis permukaan dan Indeks Angkut yang terkirim paling tinggi di antara pengiriman ke rumah sakit lainnya. Destinasi MRCCC Siloam Hospital memiliki dosis cukup tinggi sebesar 5,85  $\mu\text{Sv}$  dengan total bungkusan. Hal ini dipengaruhi oleh nilai laju dosis permukaan dan Indeks Angkut dari bungkusan  $^{131}\text{I-MIBG}$  dengan aktivitas  $\pm 100 \text{ mCi}$ . Destinasi lainnya sangat kecil untuk berkontribusi dosis bagi para pekerja, namun tetap diperhitungkan sebagai akumulasi pada dosis kolektif.

**Tabel 5.** Dosis Kolektif Tahun 2020

No	Destinasi	Dosis Pengemudi Jarak 3m ( $\mu\text{Sv}$ )	Dosis Loading- Unloading Jarak 0,1m ( $\mu\text{Sv}$ )	Dosis Pekerja ( $\mu\text{Sv}$ )
1	PRTRR - RSUP dr. Kariadi	31,49	7,09	38,58
2	PRTRR - RSUP dr. Hasan Sadikin	1,24	0,39	1,63
3	PRTRR - RSK Dharmais	0,49	0,57	1,06
4	PRTRR – MRCCC Siloam Hospital	2,93	2,92	5,85
5	Dosis Kolektif Total ( $\mu\text{Sv}$ )			47,14
6	Dosis rata-rata individu ( $\mu\text{Sv}$ )			11,78
7	Dosis Efektif Tahun 2020 ( $\mu\text{Sv}$ )			47,14
8	Batas Dosis per Tahun ( $\mu\text{Sv}$ )			20.000

Dengan nilai laju dosis permukaan total sebesar 2,2 mSv dan nilai Indeks Angkut sebesar 4,04 pada Tabel 2, dosis kolektif pada pengangkutan (normal) periode tahun 2020 adalah sebesar 47,14  $\mu\text{Sv}$  dan dosis individu pekerja secara rata-rata adalah 11,78  $\mu\text{Sv}$ . Dosis tersebut sangat aman karena masih jauh dari batas dosis yang telah ditetapkan dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2013 sebesar 20 mSv selama 1 tahun. Studi serupa pernah dilakukan di Irak bahwa hasil penilaian keselamatan dalam transportasi dibandingkan dengan nilai batas dosis yang mengacu ke standard IAEA sebesar 20 mSv [12].

Hasil dosis kolektif ini sesuai dengan apa yang telah dinyatakan dalam sebuah studi di Inggris bahwa pada pengangkutan zat radioaktif untuk keperluan industri dan medik yang menggunakan moda angkut darat, total dosis efektif 1 mSv/tahun tidak mungkin terlampaui untuk pekerja yang menangani pengangkutan zat radioaktif dengan nilai index angkut 300 per tahun [4]. Nilai dosis 0,047 mSv ini merupakan nilai dosis efektif tertinggi yang mungkin dicapai oleh pekerja pada proses pengangkutan di PRTRR. Nilai dosis efektif di bawah 1 mSv tidak diatur secara jelas dalam Peraturan BAPETEN No. 7 Tahun 2020 mengenai kewajiban pengirim dalam melakukan prosedur pemantauan dosis perorangan dan/atau pemantauan paparan daerah kerja sehingga pemegang izin terbebas dari kewajiban melakukan pemantauan dosis perorangan dan/atau pemantauan paparan daerah kerja.

Hasil kajian ini dapat dijadikan landasan untuk mengembangkan program proteksi dan keselamatan radiasi pada kegiatan transportasi yang merupakan amanah Peraturan BAPETEN No. 7 Tahun 2020 tentang Ketentuan Keselamatan dan Tata Laksana Pengangkutan Zat Radioaktif. Program tersebut dapat dijadikan manual untuk menjalankan kegiatan pengangkutan di tahun-tahun berikutnya selama nilai akumulasi Indeks Angkut tidak berubah secara signifikan. Apabila suatu saat terjadi kenaikan Indeks Angkut secara signifikan maka kajian dosis dapat dilakukan kembali.



## KESIMPULAN

Setelah dilakukannya kajian dosis pengangkutan zat radioaktif di PRTRR, salah satu kewajiban PRTRR sebagai pengangkut dalam Peraturan BAPETEN No. 7 Tahun 2020 telah dipenuhi. Bungkus radiofarmaka yang berjumlah 180 memiliki nilai Indeks Angkut sebesar 4,04 yang dikirimkan ke beberapa rumah sakit di Indonesia akan memberikan nilai dosis efektif tertinggi sebesar 0,047 mSv bagi petugas pengangkutan. Nilai ini masih jauh di bawah Nilai Batas Dosis (NBD) 20 mSv dalam 1 tahun. Oleh karena itu, dosis efektif di bawah 1 mSv tidak diatur secara jelas dalam Peraturan BAPETEN No. 7 Tahun 2020 mengenai kewajiban proteksi radiasi pengirim, pengirim tidak diwajibkan untuk melakukan pemantauan dosis perorangan dan/atau melakukan pemantauan daerah kerja area pengangkutan. Kedua tindakan pemantauan tersebut tidak wajib untuk dimasukkan ke dalam program pengangkutan zat radioaktif.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada rekan-rekan Bidang Keselamatan dan Pengelolaan Limbah yang telah melakukan pengemasan dan pengambilan data pengangkutan radiofarmaka pada tahun 2020, dan rekan-rekan di Bidang Teknologi Radioisotop dan Teknologi Radiofarmaka yang telah menyiapkan produk radiofarmaka dengan sangat baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Muhammad, R. D. RPS, dan Susyati, "Kelayakan pengangkutan produk generator Tc-99m ke rumah sakit dengan kendaraan darat," dalam *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, No. November, pp. 187–192, Nov. 2017.
- [2] J. Jeong dkk., "Radiological safety assessment of transporting radioactive wastes to the gyeongju disposal facility in Korea," *Nucl. Eng. Technol.*, vol. 48, no. 6, pp. 1368–1375, 2016, doi: 10.1016/j.net.2016.05.003.
- [3] M. Seo dkk., "Preliminary assessment of radiological impact on the domestic railroad transport of high level radioactive waste," *J. Nucl. Fuel Cycle Waste Technol.*, vol. 15, no. 4, pp. 381–390, 2017, doi: 10.7733/jnfcwt.2017.15.4.381.
- [4] G. Vieru, "Risk and safety evaluation in radioactive waste transport in Romania," *Int. J. Radioact. Mater. Transp.*, vol. 10, no. 2, pp. 105–112, 1999, doi: 10.1179/rmt.1999.10.2.105.
- [5] IAEA, "SSR-6 (Rev.1) - Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material," *IAEA Saf. Stand. Prot. people Environ.*, vol. 6, 2018.
- [6] IAEA, "Radiation Protection Programmes for the Transport of Radioactive Material Safety Guide," *IAEA Saf. Guid. No. TS-G-1.3*, pp. 1–93, 2007.
- [7] D. L. Rodrigues dan G. M. A. A. Sordi, "Radiological Impact from the Transport of Radiopharmaceuticals of the IPEN," 2009.
- [8] M. Fauzi, "Analisis Jumlah Kendaraan Angkutan Kota dengan Metode Headway DLLAJ dan BOK BEP di Masa Pandemi Covid-19," *J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri* vol. 16, no. 2, pp. 85–92, 2021.



- [9] S. Muhammad dan R. D. RPS, “Sistem manajemen dosis pada pengangkutan zat radioaktif dengan kendaraan darat,” dalam Pros. Penelit. dan Pengelolaan Perangkat Nukl., pp. 133–137, 2016.
- [10] S. H. Shin dkk., “Radiological analysis of transport and storage container for very low-level liquid radioactive waste,” *Nucl. Eng. Technol.*, no. June, pp. 1–5, 2021, doi: 10.1016/j.net.2021.06.024.
- [11] D. Zhuang dkk., “Measurements and assessments on shielding performance of FCTC10  $^{60}\text{Co}$  transport container,” *J. Radiat. Prot. Res.*, vol. 41, no. 3, pp. 310–314, 2016, doi: 10.14407/jrpr.2016.41.3.310.
- [12] A. T. Al-qaraghuli, “The safe transport of radioactive waste by using SAFRAN program,” *JMAUC*. pp. 222–235, 2019.





## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

Buku ini tidak diperjualbelikan.



KL-002

## KAJIAN STANDAR BATAN 010:2011 UNTUK PENINGKATAN EFEKTIVITAS SERTIFIKASI PERSONEL PRODUKSI RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA

### *STUDY OF STANDAR BATAN 010:2011 FOR IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF PERSONNEL CERTIFICATION RADIOISOTOPE AND RADIOPHARMACA PRODUCTION*

Ratih Luhuring Tyas, Sugiyarto, dan Ika Wahyu Setya Andani

#### ABSTRAK

Radioisotop dan Radiofarmaka merupakan pemanfaatan nuklir dalam bidang kesehatan. Radioisotop dan Radiofarmaka dapat digunakan dalam penegakan diagnosa dan terapi kanker. Dalam memproduksi Radioisotop dan Radiofarmaka, personel produksi harus memenuhi persyaratan perundang-undangan, salah satunya terkait kompetensi personel yang melakukan pengoperasian dan perawatan fasilitas produksi Radioisotop dan Radiofarmaka. Kandidat harus memiliki sertifikat keahlian yang dikeluarkan oleh Lembaga Sertifikasi Personel (LSP) untuk memiliki Surat Izin Bekerja (SIB) dari BAPETEN. Sampai saat ini LSP BATAN menjadi satu satunya LSP yang melakukan sertifikasi personel untuk lingkup nuklir, termasuk sertifikasi personel produksi Radioisotop dan Radiofarmaka. Pelaksanaan sertifikasi personel Radioisotop dan Radiofarmaka harus sesuai skema yang disusun berdasarkan STANDAR BATAN (SB) 010:2011. Beberapa persyaratan dalam SB 010:2011 dinilai sudah tidak relevan, di antaranya terkait persyaratan pelatihan dan perpanjangan sertifikat sehingga perlu dilakukan kajian menggunakan metode kualitatif non-interaktif dengan pendekatan analisis konsep. Hasil kajian akan dijadikan dasar untuk melakukan usulan revisi terhadap SB BATAN 010:2011. Hasil revisi standar terbaru ini akan meningkatkan efektivitas pelaksanaan sertifikasi personel produksi Radioisotop dan Radiofarmaka. Personel yang tersertifikasi dan memiliki SIB akan memberikan jaminan terkait mutu dan keselamatan produksi Radioisotop dan Radiofarmaka.

**Kata kunci:** Pemanfaatan; Nuklir; Kesehatan; Acuan; Skema.

#### ABSTRACT

*Radioisotopes and Radiopharmaceuticals are nuclear uses in the health sector. Radioisotopes and radiopharmaceuticals can be used in the diagnosis and treatment of cancer. In producing Radioisotopes and Radiopharmaceuticals, one must meet the statutory requirements, one of which is related to the competence of personnel who carry out the operation and maintenance of Radioisotope and*

R. L. Tyas, Sugiyarto, & I. W. S. Andani

\*Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir BRIN, e-mail: rati009@brin.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

R. L. Tyas, Sugiyarto, dan I. W. S. Andani, "Kajian standar BATAN 010:2011 untuk peningkatan efektivitas sertifikasi personel produksi radioisotop dan radiofarmaka," 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. 16, pp. 163–172, DOI: 10.55981/brin.690.c657

E-ISBN: 978-623-8372-02-7



*Radiopharmaceutical production facilities. To have a Work Permit (SIB) from BAPETEN, candidates must have a certificate of expertise issued by the Personnel Certification Agency (LSP). Until now, LSP BATAN is the only LSP that performs personnel certification for the nuclear sphere, including certification of personnel for Radioisotope and Radiopharmaceutical production. The implementation of the certification of Radioisotope and Radiopharmaceutical personnel must be in accordance with the scheme, which is prepared based on BATAN STANDARD (SB) 010:2011. Some of the requirements in SB 010:2011 are considered irrelevant, including those related to training requirements and certificate renewal, so it is necessary to conduct a study using a non-interactive qualitative method with a concept analysis approach. The results of the study will be used as the basis for the proposed revision of SB BATAN 010:2011. The results of this latest standard revision will increase the effectiveness of the implementation of the certification of Radioisotope and Radiopharmaceutical production personnel. Personnel who are certified and have SIB, will provide assurance regarding the quality and safety of Radioisotope and Radiopharmaceutical production.*

**Keywords:** Utilization, Nuclear, Health, Reference, Scheme.

## PENDAHULUAN

Nuklir banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang, di antaranya bidang kesehatan. Radioisotop dan Radiofarmaka merupakan salah satu pemanfaatan nuklir di bidang Kesehatan. Radioisotop dan Radiofarmaka dapat digunakan dalam penegakan diagnosa dan terapi kanker. Kanker merupakan salah satu jenis penyakit yang sulit disembuhkan dan termasuk penyebab kematian terbesar di Indonesia. Penatalaksanaan penyakit kanker merupakan sesuatu hal yang kompleks, dibutuhkan waktu penyembuhan yang relatif lama dengan biaya yang tidak sedikit. Penggunaan Radioisotop dan Radiofarmaka diharapkan mampu mempercepat pengambilan keputusan untuk suatu langkah tindakan pengobatan ataupun terapi pada pasien penderita kanker sehingga akan lebih banyak pasien yang dapat ditangani.

Radiofarmaka merupakan produk yang lebih hilir dari radioisotop. Radiofarmaka dapat didefinisikan sebagai sediaan radioaktif sumber terbuka yang digunakan pada manusia dalam bentuk sediaan farmasi *in-vivo*, untuk maksud pemakaian diagnostik atau terapi [1]. Dalam produksi radioisotop radiofarmaka, banyak persyaratan yang harus dipenuhi. Produk radioisotop radiofarmaka harus memenuhi persyaratan sebagai sediaan farmasi berdasarkan ketentuan dalam farmakope [1]. Selain hal tersebut, terdapat pula persyaratan perundang-undangan terkait kompetensi personel yang melakukan pengoperasian dan perawatan fasilitas produksi radioisotop dan radiofarmaka.

Undang Undang No 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran menyatakan bahwa setiap petugas yang reaktor nuklir dan “petugas tertentu” di dalam instalasi nuklir lainnya dan di dalam instalasi yang memanfaatkan sumber radiasi pengion wajib memiliki izin [2]. Persyaratan ini dikuatkan melalui Peraturan Pemerintah No 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, di mana Pemegang Izin wajib menyediakan personel yang memiliki kualifikasi dan kompetensi sesuai dengan jenis Pemanfaatan Tenaga Nuklir [3].



Definisi mengenai petugas tertentu dijabarkan dalam Peraturan Kepala BAPETEN No 16 Tahun 2014 pasal 4 dan 5, yang berbunyi “yang dimaksud dengan petugas tertentu adalah: radiografer Tingkat I dan II, petugas keahlian pada iradiator, petugas keahlian pada fasilitas produksi radioisotop dan radiofarmaka dan petugas proteksi radiasi”.

Peraturan Kepala BAPETEN No 16 Tahun 2014 juga mengatur terkait penerbitan surat izin bekerja. Untuk memiliki izin berupa Surat Izin Bekerja (SIB) yang dikeluarkan oleh BAPETEN, salah satu persyaratannya adalah memiliki sertifikat keahlian yang dikeluarkan oleh Lembaga Sertifikasi Person (LSP) [4]. Sampai dengan saat ini, **LSP Badan Tenaga Nuklir Nasional (LSP BATAN)** menjadi satu satunya LSP yang melakukan sertifikasi personel untuk lingkup nuklir.

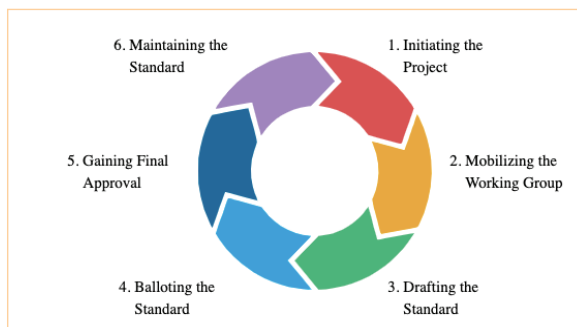
LSP BATAN yang secara struktur berada di Pusat Riset Standardisasi dan Mutu Nuklir telah terakreditasi oleh KAN sejak Tahun 2017, dengan ruang lingkup sertifikasi personel Radiografi dan Aplikasi Teknik Nuklir (ATN). Sertifikasi personel produksi Radioisotop dan Radiofarmaka merupakan bagian dari lingkup ATN. Pelaksanaan sertifikasi personel Radioisotop dan Radiofarmaka harus sesuai skema, yang disusun berdasarkan STANDAR BATAN (SB) 010:2011. Beberapa persyaratan dalam SB 010:2011 dinilai sudah tidak relevan, di antaranya terkait persyaratan pelatihan dan perpanjangan sertifikat, serta penyusunan konsep struktur dan editorial Standar BATAN tersebut belum sepenuhnya disesuaikan dengan kaidah pedoman penulisan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang umum dipergunakan.

Menurut Undang-Undang No. 20 Tahun 2014 tentang Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian, yang dimaksud dengan standar adalah persyaratan teknis atau sesuatu yang dibakukan, termasuk tata cara dan metode yang disusun berdasarkan konsensus semua pihak/pemerintah/keputusan internasional yang terkait dengan memperhatikan syarat keselamatan, keamanan, kesehatan, lingkungan hidup, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, pengalaman, serta perkembangan masa kini dan masa depan untuk memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya. Sementara itu, standardisasi adalah proses merencanakan, merumuskan, menetapkan, menerapkan, memberlakukan, memelihara, dan mengawasi standar yang dilaksanakan secara tertib dan bekerja sama dengan semua pemangku kepentingan [5].

Standar telah menjadi bagian penting dari perdagangan internasional, dan memainkan peran yang tak tergantikan dalam jaminan kualitas produk, membangun kepercayaan dalam perdagangan, memfasilitasi arus barang, dan meningkatkan perkembangan pasar global [6]. Standardisasi sebagai komponen penting dalam peningkatan kualitas mutu barang dan jasa, sejatinya merupakan upaya pemenuhan hak-hak konsumen sehingga standardisasi berkaitan erat dengan perlindungan konsumen [7]. Standar berkontribusi pada ekonomi global di berbagai bidang, termasuk memastikan keselamatan konsumen, dan menyediakan dasar teknis untuk pembuatan peraturan dan kebijakan [8].



Siklus standar dimulai dari perencanaan sampai dengan pemeliharaan standar. Dalam kurun waktu tertentu, harus dilakukan kaji ulang terhadap standar. Standar IEEE memiliki masa berlaku sepuluh tahun sejak tanggal persetujuan dewan standar. Pada akhir periode ini, salah satu dari dua hal harus terjadi, yaitu revisi atau penarikan [9]. Siklus standar dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Siklus Standar

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji persyaratan yang ada di dalam SB 010:2011 menggunakan metode kualitatif non-interaktif dengan pendekatan analisis konsep berdasarkan perbandingan dengan standar lain yang sejenis dan masukan dari *stakeholder*. Hasil kajian akan dijadikan dasar untuk melakukan usulan revisi terhadap SB BATAN 010:2011 sehingga diharapkan skema sertifikasi personel ATN yang disusun berdasarkan SB BATAN 010:2011 sesuai dengan perkembangan terkini.

## METODE PERCOBAAN

Di dalam SNI ISO IEC 17024 2012, penilaian kesesuaian adalah persyaratan umum untuk lembaga sertifikasi personel, dinyatakan bahwa pihak/beberapa pihak atau individu yang bertanggung jawab mengenai hal berikut harus diidentifikasi, di antaranya terkait pengembangan dan pemeliharaan skema sertifikasi. Harus ada skema sertifikasi untuk setiap kategori sertifikasi, minimal memuat unsur ruang lingkup sertifikasi, pekerjaan dan uraian tugas, kompetensi yang disyaratkan, kemampuan (bila dapat diterapkan), prasyarat (bila dapat diterapkan), dan aturan pelaksanaan (bila dapat diterapkan) [10].

Sertifikasi petugas produksi radioisotop dan radiofarmaka dilaksanakan sesuai skema sertifikasi ATN. SB 010:2011 merupakan salah satu acuan dalam penyusunan skema sertifikasi ATN. Sebagaimana skema, SB 010:2011 juga harus selalu ditinjau dan divalidasi secara sistematis.

Kajian terhadap SB 010:2011 dilakukan menggunakan metode kualitatif non-interaktif dengan pendekatan analisis konsep. Metode kualitatif adalah suatu prosedur penelitian yang menghasilkan data deskriptif yang bersumber dari kata-kata tertulis atau lisan atau perilaku yang dapat diamati [11]. Dalam melakukan penelitian



kualitatif non interaktif, dilakukan identifikasi, studi, sintesa data yang tersedia untuk memberikan pemahaman tentang konsep yang di teliti. Pendekatan metode kualitatif non-interaktif yang dipilih adalah pendekatan analisis konsep, yang mengklarifikasi arti atau makna dari suatu konsep dengan cara menggambarkan atau memaparkan makna esensial dan makna generik dari suatu konsep, atau perbedaan dari konsep tersebut [12].

Mengacu ke Peraturan BSN No. 6 Tahun 2018 tentang Pedoman Kaji Ulang Standar Nasional Indonesia, yang dimaksud dengan kaji ulang adalah kegiatan pengecekan isi dan format SNI untuk ditetapkan kembali, direvisi atau diabolisi dalam rangka menjaga kesesuaian SNI terhadap kepentingan nasional dan kebutuhan pasar, mengikuti perkembangan ilmu pengetahuan, inovasi, dan teknologi, menilai kelayakan dan kekiniannya, serta menyesuaikan dengan ketentuan penulisan SNI. Pelaksanaan kaji ulang dilakukan paling sedikit 1 (satu) kali dalam 5 (lima) tahun setelah ditetapkan [13]. Dengan mempertimbangkan beberapa hal di antaranya:

- 1) Telah berusia lebih dari 5 tahun;
- 2) Memerlukan perubahan mendasar untuk mendukung kepentingan nasional dan kebutuhan pasar;
- 3) Memerlukan perubahan karena adanya perkembangan ilmu pengetahuan, inovasi, dan teknologi;
- 4) Memerlukan perubahan karena alasan aspek keamanan, kesehatan, keselamatan, dan fungsi pelestarian lingkungan;
- 5) Adanya perubahan terhadap acuan.

4 tahapan pengembangan standar dengan model *Framework for Analysis, Comparison, and Testing of Standards* (FACTS), 2 di antaranya adalah analisis teknis yang bertujuan untuk mengubah data kebutuhan *stakeholder* menjadi nilai persyaratan teknis sehingga diperoleh spesifikasi persyaratan standar dan perbandingan standar, yang dilakukan dengan membandingkan parameter teknis standar dengan standar internasional atau standar negara lain [14].

Penelitian ini dilakukan dengan cara membandingkan secara umum persyaratan yang ada di SB 010:2011 dengan acuan lainnya yang sejenis dan masukan dari *stakeholder*. Tahapan penelitian dimulai dari:

- 1) Identifikasi kesesuaian susunan penulisan dan isi persyaratan SB 010:2011 dengan pedoman penulisan Standar Nasional Indonesia dan standar lain yang sejenis;
- 2) Inventarisasi dan analisis masukan *stakeholder*;
- 3) Penyusunan usulan perubahan terhadap SB 010:2011.



## HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi susunan penulisan dilakukan dengan membandingkan kesesuaian susunan SB 010:2011 dengan pedoman penulisan SNI yang berlaku [15] dan konsep persyaratan sesuai pada struktur SNI ISO 9712: 2014 [16]. Identifikasi perubahan unsur persyaratan dilakukan dengan membandingkan dengan regulasi persyaratan dan kebutuhan serta masukan dari *stakeholder*.

Secara garis besar masukan dari *stakeholder* adalah sebagai berikut.

- 1) Klasifikasi keahlian, perbedaan klasifikasi keahlian yang tercakup di SB 010:2011 dan Perka BAPETEN No 16 Tahun 2014.
- 2) Persyaratan pelatihan, bukti yang harus diperlihatkan cukup telah mengikuti pelatihan, bukan telah mengikuti dan lulus pelatihan.
- 3) Jenis dan durasi pelatihan, pada pelaksanaannya silabus dan materi pelatihan bagi operator dan petugas perawatan berbeda, selain itu perlu di tetapkan juga persyaratan pelatihan penyegaran.
- 4) Sertifikasi ulang, sertifikat dapat diperpanjang dengan ketentuan tertentu, bukan dengan ketentuan proses sertifikasi baru.
- 5) Berdasarkan kaji ulang yang telah dilakukan, disusun usulan perubahan terhadap SB 010:2011 yang dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Usulan Perubahan STANDAR BATAN (SB) 010:2011

STANDAR BATAN (SB 010:2011)	Sifat Unsur	Usulan Perubahan	
		Usulan Perubahan (Susunan Penulisan)	Usulan Perubahan (isi Substansi)
Sampul		Sampul	
1 Pendahuluan	Informatif	Daftar isi	Menyesuaikan
1.1 Umum		Prakata	
1.2 Maksud dan Tujuan		Pendahuluan	Menyesuaikan
Judul	Normatif (Umum)	Judul Standar	Kualifikasi Dan Sertifikasi Petugas dan Supervisor Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka
1.3 Lingkup		Lingkup	Kualifikasi Dan Sertifikasi Petugas dan Supervisor Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka
1.4 Dasar		Acuan Normatif	Klausul 'Dasar' diganti dengan klausul 'Acuan normatif'. Oleh karena itu, dalam implementasi Standar ini tidak mengacu ke standar apapun sehingga acuan normatif kosong. Sementara peraturan perundangan yang masih berlaku dipindah penulisannya ke Klausul Bibliografi, dihalaman terakhir.
2 Istilah dan Definisi	Normatif (Teknis)	3. Istilah dan Definisi	Perubahan definisi pada istilah Sertifikasi (secara umum) menjadi <b>Sertifikasi adalah</b> rangkaian kegiatan penilaian kesesuaian yang berkaitan dengan pemberian jaminan tertulis bahwa barang, jasa, sistem, proses, atau personal telah memenuhi standar dan/atau regulasi.



STANDAR BATAN (SB 010:2011)	Sifat Unsur	Usulan Perubahan	
		Usulan Perubahan (Susunan Penulisan)	Usulan Perubahan (isi Substansi)
3 Tanggung Jawab	Normatif (Teknis)	4 Tanggung Jawab	Menyesuaikan
3.1 Umum		4.1 Umum	Menyesuaikan
3.2 Pusat Sertifikasi		4.2 Pusat Sertifikasi	Menyesuaikan
3.3 Satuan Kerja Penanggung Jawab		4.3 Satuan Kerja Penanggung Jawab	Menyesuaikan
3.4 Pusat Pelatihan		4.4 Pusat Pelatihan	Perubahan pada uraian tanggung jawab pusat pelatihan pada butir d) menjadi, d. menerbitkan bukti keikutsertaan semua peserta yang telah mengikuti pelatihan
4 Klasifikasi Keahlian	Normatif (Teknis)	5 Klasifikasi keahlian	Menyesuaikan
4.1 Umum		5.1 Umum	Menyesuaikan
4.2 Petugas Proses Radioisotop dan/atau Senyawa Bertanda		5.2 Petugas Proses Radioisotop dan/atau Senyawa Bertanda	Klasifikasi keahlian disesuaikan dengan yang ada dalam Perka BAPETEN No. 16 Tahun 2014.
4.3 Supervisor Proses Radioisotop dan Senyawa Bertanda		5.3 Supervisor Proses Radioisotop dan Senyawa Bertanda	Menyesuaikan
5 Pemenuhan Persyaratan	Normatif (Teknis)	6 Pemenuhan Persyaratan	Menyesuaikan
5.1 Umum		6.1 Umum	Menyesuaikan
5.2 Persyaratan Kesehatan		6.2 Persyaratan Kesehatan	Menyesuaikan
5.3 Persyaratan Pendidikan Minimum		6.3 Persyaratan Pendidikan Minimum	Menyesuaikan
5.4 Persyaratan Pelatihan		6.4 Persyaratan Pelatihan	Perubahan pada uraian persyaratan pelatihan menjadi, Kandidat harus memperlihatkan bukti yang sah kepada Pusat Sertifikasi yang meunjukkan bahwa kandidat telah mengikuti pelatihan proses radioisotop dan senyawa bertanda.
5.5 Persyaratan Pengalaman		6.5 Persyaratan Pengalaman	Menyesuaikan
6 Ujian Kualifikasi	Normatif (Teknis)	7 Ujian Kualifikasi	Menyesuaikan
6.1 Jenis Ujian		7.1 Jenis Ujian	Menyesuaikan
6.2 Pelaksanaan ujian		7.2 Pelaksanaan ujian	Menyesuaikan
6.3 Penilaian Ujian		7.3 Penilaian Ujian	Menyesuaikan
6.4 Ujian Ulang		7.4 Ujian Ulang	Menyesuaikan
7 Sertifikasi	Normatif (Teknis)	8 Sertifikasi	Menyesuaikan
7.1 Penerbitan Sertifikat Keahlian		8.1 Penerbitan Sertifikat Keahlian	Menyesuaikan
7.2 Isi Sertifikat Keahlian		8.2 Isi Sertifikat Keahlian	Menyesuaikan
8 Masa Berlaku Sertifikat dan Sertifikasi Ulang		9 Masa Berlaku Sertifikat dan Sertifikasi Ulang	Menyesuaikan
8.1 Masa Berlaku Sertifikat	Normatif (Teknis)	9.1 Masa Berlaku Sertifikat	-





STANDAR BATAN (SB 010:2011)	Sifat Unsur	Usulan Perubahan	
		Usulan Perubahan (Susunan Penulisan)	Usulan Perubahan (isi Substansi)
8.2 Sertifikasi Ulang	Normatif (Teknis)	9.2.1 Perpanjangan (requalifikasi)	9.2.1 Ujian perpanjangan dilaksanakan untuk periode 5 tahun pertama atau setiap 10 tahun sesudahnya, dilaksanakan dengan melakukan verifikasi pemenuhan jeda waktu tidak bekerja selama 5 Tahun atau selama masa berlaku sertifikat.
		9.2.2 Sertifikasi Ulang (Resertifikasi)	9.2.2 Ujian sertifikasi yang dilakukan pada periode 5 tahun kedua atau setiap setelah masa periode sertifikasi perpanjangan selesai. Dilaksanakan dengan metode Ujian Praktik Terbatas
9 Arsip	Normatif (Teknis)	10. Arsip	Menyesuaikan
	Informatif	Bibliografi	Berisi acuan dan peraturan perundangan yang masih berlaku.

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa terdapat beberapa usulan perubahan terhadap SB 010:2011, perlu dilakukan perubahan terhadap susunan penulisan, persyaratan umum dan persyaratan teknis. Usulan diharapkan dapat ditindaklanjuti untuk merevisi standar ini.

Perubahan organisasi BATAN yang terintegrasi ke dalam Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), akan memengaruhi pelaksanaan sertifikasi personel produksi Radioisotop dan Radiofarmaka termasuk revisi terhadap standar ini. LSP BATAN akan berubah menjadi LSP BRIN dengan ruang lingkup yang akan bertambah. Terkait dengan revisi standar, diharapkan Standar BATAN agar diusulkan untuk menjadi Standar Nasional Indonesia (SNI). Dengan demikian, status pemberlakuannya tidak akan terpengaruh terhadap perubahan organisasi dan cakupan pemberlakuannya akan menjadi lebih luas karena dapat digunakan sebagai standar acuan oleh siapa saja di seluruh wilayah Indonesia. Hasil revisi standar terbaru ini akan memperkuat pelaksanaan sertifikasi personel sehingga dapat menghasilkan personel yang kompeten, dan mampu menjamin mutu dan keselamatan produksi Radioisotop dan Radiofarmaka.

**KESIMPULAN**

Standar merupakan suatu persyaratan teknis yang dibakukan yang disusun berdasarkan konsensus semua pihak yang dalam penyusunannya memperhatikan syarat mutu, keselamatan, keamanan, kesehatan, lingkungan hidup, dan perkembangan iptek, serta pengalaman untuk memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya. Salah satu tahap dalam pengembangan standar adalah kaji ulang. Perlu dilakukan kaji ulang terhadap SB 010:2011 mengingat standar yang diterbitkan sejak tahun 2011 sehingga sampai saat ini telah berusia 10 tahun belum pernah dilakukan kaji ulang. Sejak penerbitan SB

Buku ini tidak diperjualbelikan.



010:2011 telah terdapat banyak perubahan-perubahan dari segi regulasi persyaratan terkait dengan persyaratan SIB personel produksi Radioisotop Radiofarmaka yang memengaruhi persyaratan baik administrasi maupun kompetensi yang harus dimiliki kandidat untuk dapat mengikuti sertifikasi. Kaji Ulang SB 010:2011 mencakup dua aspek, yaitu aspek perubahan susunan penulisan serta editorial standar dan aspek substansi isi standar yang mencakup unsur informatif dan unsur normatif. Aspek perubahan susunan penulisan serta editorial mencakup perubahan penyesuaian susunan unsur isi standar disesuaikan dengan pedoman penulisan Standar Nasional Indonesia (SNI) sehingga standar menjadi lebih terstruktur dan mudah untuk dipahami. Aspek perubahan substansi isi standar dilaksanakan dengan metode kualitatif non-interaktif dengan pendekatan analisis konsep, berdasarkan kesesuaian dengan standar lain yang sejenis dan masukan *stakeholder*, serta pertimbangan perubahan regulasi oleh Badan Pengawas. Kaji ulang ini telah menghasilkan usulan perubahan standar yang mencakup usulan perubahan susunan penulisan dan substansi isi standar. Selanjutnya, hasil tersebut dapat dibahas lebih lanjut dalam upaya revisi Standar oleh Tim Perumus Standar BRIN maupun Komite Teknis.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi dan Mutu Nuklir, ORTN, BRIN atas izin penggunaan data dan dokumen.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Soenarjo, "Radioisotop dan radiofarmaka: dari teori atom sampai teknik produksi dan pemeriksaan kualitas," Tangerang Selatan: BATAN, 2013.
- [2] Republik Indonesia, "Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran," 1997.
- [3] Presiden Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion Dan Keamanan Sumber Radioaktif," 2007.
- [4] BAPETEN, "Peraturan BAPETEN No 16 Tahun 2014 tentang Surat Izin Bekerja Petugas Tertentu yang Bekerja di Instalasi yang Memanfaatkan Sumber Radiasi Pengion," 2014.
- [5] Republik Indonesia, "Undang-Undang No. 20 Tahun 2014 tentang Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian," 1997.
- [6] Hao Zhang dkk., "The interaction between standards development and economic growth of China," *International Journal of Quality Innovation*, vol. 5, no. 9, 2019.
- [7] D. Yuanitasari dan H. N. Muchtar, "Aspek Hukum Standardisasi Produk di Indonesia dalam Rangka Masyarakat Ekonomi ASEAN," *JH lus Quaia lustum*, vol. 25, no. 3, pp 538–559, 2018.
- [8] X. Zhao dkk., "ISO standards: a platform for achieving sustainable development goal 2," *Sustainability*, vol. 12, no. 22, 2020.
- [9] IEEE SA, "The standards development lifecycle," <https://standards.ieee.org/develop/index.html>



## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

- [10] Badan Standardisasi Nasional, SNI ISO/IEC 17024: 2012, “Penilaian kesesuaian–persyaratan umum lembaga sertifikasi person [Conformity assessment–General requirements for bodies operating certification of persons],” Jakarta: BSN, 2012.
- [11] L. J. Moloeng, “Metode penelitian kualitatif,” Bandung: PT Remaja Rosdakarya, 1994.
- [12] J. H. McMillan dan S. Achumacher, "Research in education," dalam *A Conceptual Introduction*, 2001.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, “Pedoman kaji ulang standar nasional Indonesia,” 2018.
- [14] D. A. Susanto dan E. Kristiningrum, “Pengembangan standar nasional Indonesia (SNI) definisi pangan fungsional,” *Jurnal Standardisasi*, vol. 23 no. 1, pp. 53– 64, 2021.
- [15] Badan Standardisasi Nasional, “Peraturan BSN No 4 Tahun 2016 tentang Pedoman Penulisan Standar Nasional Indonesia,” 2016.
- [16] Badan Standardisasi Nasional, SNI ISO 9712:2014, “Uji tak rusak – Kualifikasi dan sertifikasi personel UTR,” 2014.

**KL-003**



## PENGUKURAN KONTAMINASI URANIUM DAN STRONSIUM-90 PADA KEGIATAN ANALISIS UJI *IN VITRO* DI LABORATORIUM KIMIA PDPL BATAN

### *CONTAMINATION MEASUREMENT OF URANIUM AND STRONTIUM-90 ON VITRO ANALYSIS AT PDPL CHEMICAL LABORATORY – BATAN*

M.R. Sarpriani, D.A. Prastowo, dan I.D. Junianto

#### ABSTRAK

Kontaminasi permukaan daerah kerja pada Laboratorium PDPL (Pemantauan Dosis Personel dan Lingkungan)—sebelumnya Laboratorium Kimia PDPL (Pemantauan Dosis Personel dan Lingkungan)—memiliki pengaruh terhadap keselamatan pekerja secara langsung maupun tidak langsung. Pada analisis uji *in vitro* terdapat kemungkinan masuknya zat radioaktif akibat kontaminasi ketika proses pengambilan uranium dan Sr-90 dari penyimpanan sumber, kegiatan preparasi, dan saat proses pelimbanan. Penelitian ini bertujuan sebagai upaya proteksi dan keselamatan radiasi terhadap pekerja dari kontaminasi pada saat melakukan kegiatan analisis uji *in vitro* di laboratorium kimia PDPL. Pengukuran menggunakan surveimeter didapatkan tingkat kontaminasi tertinggi mencapai  $0,03 \text{ Bq/cm}^2$  pada botol sumber Sr-90. Dari hasil perhitungan tingkat kontaminasi permukaan di botol penyimpanan sumber dan di *hotplate* pemanasan larutan *spike* (larutan yang terdapat sumber uranium dan Sr-90) diperoleh hasil bahwa pada daerah pengawasan tidak memerlukan tindakan proteksi atau keselamatan khusus, yaitu rata-rata tingkat kontaminasi permukaan pada daerah kerja tergolong rendah ( $<3,7 \text{ Bq/cm}^2$ ). Tingkat kontaminasi dapat disebabkan karena aktivitas penggunaan radioisotop setiap harinya berbeda-beda. Dosis yang diterima pekerja pada saat melimbanan limbah padat, cair, dan saat di ruang sumber dikategorikan aman karena tidak melebihi Nilai Batas Dosis (NBD) yang ditentukan, yaitu sebesar  $3 \mu\text{Sv/jam}$ .

**Kata Kunci:** Kontaminasi Radiasi; Uranium; Sr-90; Analisis Uji *In Vitro*.

#### ABSTRACT

*Surface contamination on workspace at PDPL Chemical Laboratory directly and indirectly affects the safety of radiation workers. During in vitro analysis it is possible that any radioactive contamination could happen while taking and preparing uranium and Sr-90 isotopes from their respective source or due to the disposal process. This research aims as a protection and safety measure for radiation workers from contamination during in vitro analysis at PDPL chemical laboratory. By measurements*

M. R. Sarpriani, D. A. Prastowo, & I. D. Junianto

\*Direktorat Pengelolaan Laboratorium, Fasilitas Riset, dan Kawasan Sains dan Teknologi BRIN, e-mail: mell001@brin.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN"

M. R. Sarpriani, D. A. Prastowo, dan I. D. Junianto, "Pengukuran kontaminasi uranium dan stronsium-90 pada kegiatan analisis uji *in vitro* di laboratorium kimia PDPL BATAN," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 17, pp. 173–181, DOI: 10.55981/brin.690.c658 E-ISBN: 978-623-8372-02-7



*conducted using survei meters, contamination up to 0,03 Bq/cm<sup>2</sup> is found on the Sr-90 source bottle. From calculation of surface contamination on the source and on the hotplate used to heat spike solution containing uranium and Sr-90, it is concluded that there is no necessary special safety or protection action in the supervising area as the average surface contamination at the workplaces are quite low (<3,7 Bq/cm<sup>2</sup>). Contamination level difference may occur from different levels of radioisotope usage each day. The absorbed dose received by the workers while disposing solid or liquid waste and while in the source room can be said to be safe as it doesn't exceed specified Hourly Dosage Limit (NBD) of 3  $\mu$ Sv/hour.*

**Keywords:** *Radioactive Contamination; Uranium; Strontium-90; In Vitro Analysis.*

## PENDAHULUAN

Pengukuran dosis personel di Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN) dilakukan dengan metode analisis urin secara *in vitro* oleh subbidang Pemantauan Dosis Personel dan lingkungan (PDPL). Pada metode ini, digunakan sumber uranium untuk pengukuran dosis alfa adalah isotop uranium, sedangkan untuk dosis beta digunakan isotop Sr-90. Dalam kegiatan ini, radionuklida dilarutkan dalam larutan *spike* untuk kemudian dijadikan standar untuk analisis perhitungan besarnya dosis. Sebagai kegiatan yang melibatkan radionuklida, tentu terdapat potensi paparan eksternal dan internal baik pada saat pengambilan sumber, pemanasan larutan *spike*, maupun pelimbahan.

Stronsium-90 merupakan salah satu radionuklida paling berbahaya menurut sudut pandang proteksi radiasi, mengingat sifatnya yang mirip dengan kalsium. Akibatnya, Sr-90 dapat tersimpan di jaringan berkalsium, seperti tulang. Selain itu, Y-90 sebagai hasil peluruhan beta dari Sr-90 menghasilkan partikel beta energi tinggi yang meningkatkan risiko kanker tulang [1]. Studi pada tikus juga menunjukkan bahwa paparan radiasi internal dari Sr-90 dapat mengganggu siklus asam trikarboksilat yang merupakan jalur utama produksi energi [2]. Diketahui bahwa isotop Sr-90 mempunyai umur paruh fisis selama 28,8 tahun dan umur paruh biologis selama 13 tahun [1],[3].

Uranium merupakan unsur radioaktif pemancar partikel alfa yang bersifat racun baik secara kimia maupun radiologi. Kontaminasi uranium dan produk peluruhannya ke lingkungan (udara, tanah, dan air) dapat membahayakan kesehatan tubuh dan lingkungan. Uranium dapat masuk ke tubuh melalui pernapasan, pencernaan, penyerapan kulit, ataupun lewat luka. Masuknya uranium ke dalam tubuh dapat memengaruhi fungsi ginjal, paru-paru, hati, dan jantung. Urutan jaringan tubuh berdasarkan kadar uraniumnya, yaitu paru-paru > rangka > hati > ginjal [4],[5]. Meskipun demikian, risiko kanker dari paparan uranium dapat diturunkan melalui pemantauan medis yang terkendali supaya tingkat paparan uranium di bawah batas toksisitas akut [6].

Berdasarkan hal tersebut, pengukuran kontaminasi bertujuan untuk menganalisis tingkat kontaminasi permukaan dan laju paparan radiasi serta sebagai upaya proteksi radiasi dan keselamatan radiasi terhadap pekerja pada saat melakukan kegiatan analisis



uji *in vitro* di laboratorium kimia PDPL. Dengan demikian, tindakan-tindakan pencegahan dan perbaikan dapat dilakukan demi keselamatan pekerja radiasi di dalamnya.

## METODE PERCOBAAN

### Bahan dan Alat

Pada penelitian ini digunakan dua buah surveimeter, masing-masing untuk mengukur tingkat kontaminasi partikel alfa dan partikel beta. Pada pengukuran kontaminasi alfa digunakan Radiagem 2000 Alpha nomor seri 3235, sedangkan pada pengukuran kontaminasi beta digunakan Radiagem 2000 Beta Gamma nomor seri 3235. Kedua surveimeter masih mempunyai sertifikat kalibrasi yang layak pada saat pengukuran dilakukan.

Selain surveimeter untuk monitor kontaminasi, digunakan pula surveimeter untuk mengetahui laju paparan dalam satuan  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ . Surveimeter yang dipakai adalah *Inspector USB* dengan nomor seri 45665. Surveimeter ini juga masih layak digunakan, ditunjukkan oleh sertifikat kalibrasinya.

### Tata Kerja

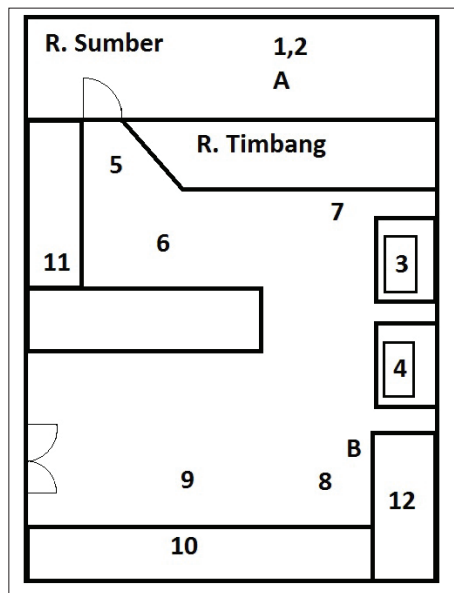
Pengambilan data dilakukan pada bulan April 2021 saat kegiatan analisis urin uji *in vitro* di Laboratorium PDPL (Pemantauan Dosis Personel dan Lingkungan) BRIN. Pengukuran tingkat kontaminasi dilakukan dengan metode usap (*smear/wipe test*), alat yang digunakan surveimeter, kertas saring, pinset, planset, kantong plastik, serta pelindung diri, yaitu sarung tangan, jas laboratorium, masker, dan TLD.

Pengukuran kontaminasi permukaan dilakukan pada dua belas titik yang telah ditentukan. Titik-titik tersebut lebih ditekankan pada daerah-daerah yang mempunyai risiko terkontaminasi baik secara jumlah maupun probabilitas akibat tumpahan zat cair atau larutan radioaktif serta daerah tersebut cukup sering digunakan atau dilalui. Denah ruang laboratorium kimia di PDPL dan penomoran titik-titik pengambilan sampel ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 1, sedangkan diagram alir ditunjukkan pada Gambar 2 [7],[8],[9].

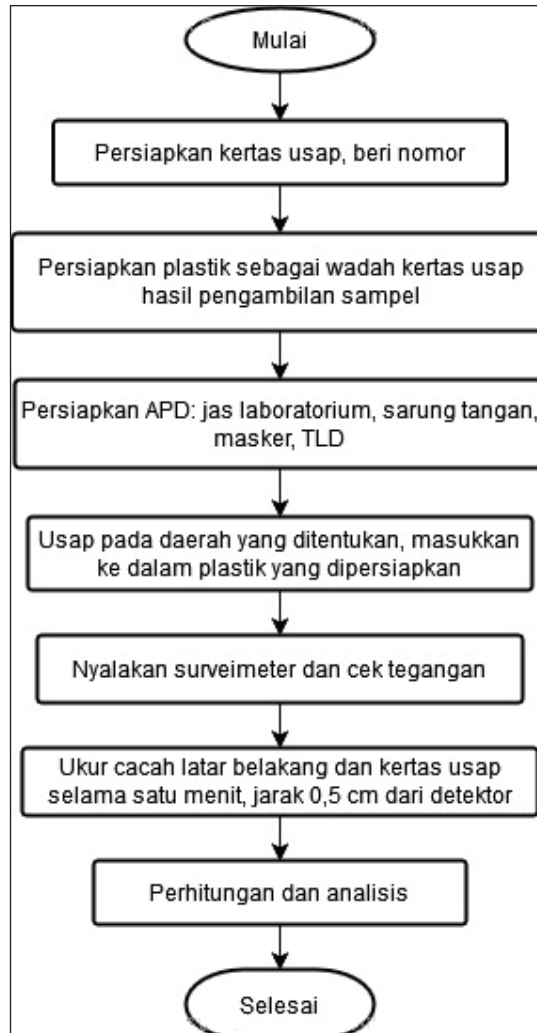


Tabel 1. Data Lokasi Pengukuran

Kode	Nama Tempat
1	Botol sumber uranium
2	Botol sumber Sr-90
3	Hotplate uranium
4	Hotplate Sr-90
5	Lantai daerah A
6	Lantai daerah B
7	Lantai daerah C
8	Lantai daerah D
9	Lantai daerah E
10	Meja laboratorium A
11	Meja laboratorium B
12	Meja laboratorium C
A	Ruang sumber
B	Tempat pelimbahan



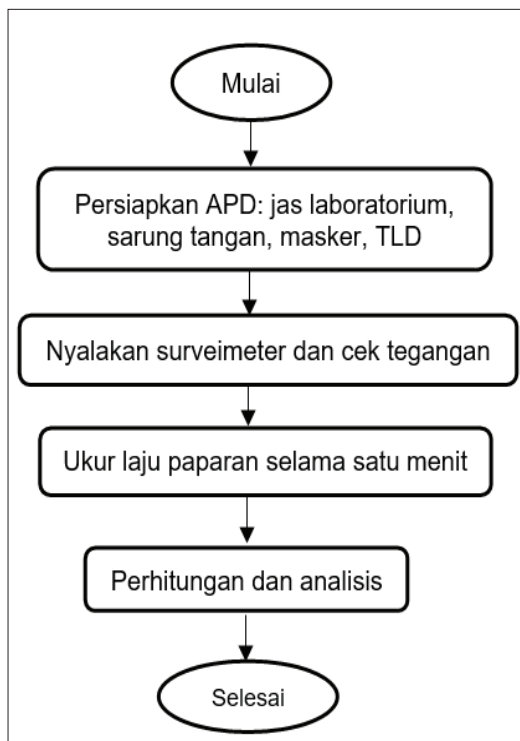
Gambar 1. Denah Lokasi Pengukuran (1-12: kontaminasi, A-B: laju paparan)



**Gambar 2.** Diagram Alir Pengukuran Kontaminasi Permukaan

Selanjutnya, laju dosis diukur menggunakan surveimeter, untuk mengetahui seberapa besar dosis yang diterima pegawai saat berada pada tempat yang terkontaminasi [10]. Sebelum digunakan untuk pengukuran, tegangan baterai dicek dan cacah latar belakang diukur. Kemudian, pengukuran laju paparan radiasi dilakukan pada jarak kontak dan pada jarak satu meter. Lalu hasil yang terbaca pada alat ukur dicatat. Diagram alir untuk pengukuran laju paparan dapat dilihat Gambar 3.





Gambar 3. Diagram Alir Pengukuran Laju Paparan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum pengukuran kontaminasi dilakukan, cacah radiasi latar diukur terlebih dahulu yaitu sebesar  $10,82 \times 10^{-3} \text{ Bq/cm}^2$ . Besar kontaminasi adalah selisih antara radiasi terukur dan radiasi latar. Setelah data-data sampel tes usap diukur maka besarnya kontaminasi dapat ditentukan pada Laboratorium Kimia. Besarnya kontaminasi pada sampel tes usap ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengukuran Kontaminasi pada Bulan April 2021

No. Sampel	Nama Tempat	Besar Kontaminasi
1	Botol sumber uranium	0,01082 Bq/cm <sup>2</sup>
2	Botol sumber Sr-90	0,03 Bq/cm <sup>2</sup>
3	Hotplate uranium	Latar
4	Hotplate Sr-90	0,015 Bq/cm <sup>2</sup>
5	Lantai daerah A	Latar
6	Lantai daerah B	Latar
7	Lantai daerah C	Latar
8	Lantai daerah D	Latar
9	Lantai daerah E	Latar
10	Meja laboratorium A	Latar
11	Meja laboratorium B	Latar
12	Meja laboratorium C	Latar



Hasil perhitungan terhadap data-data pengukuran menunjukkan bahwa tingkat kontaminasi pada daerah yang dipantau relatif bervariasi. Titik lokasi yang mempunyai kontaminasi saat melakukan uji *in vitro*, meliputi *hotplate* tempat pemanasan larutan *spike* stronsium-90, botol sumber uranium, dan stronsium-90. Kontaminasi dapat terjadi akibat tumpahan saat mengambil sumber uranium dan stronsium-90, serta dibawa oleh uap saat pemanasan larutan *spike*. Sementara itu, pada lantai daerah fasilitas laboratorium dan meja laboratorium yang digunakan pekerja radiasi saat melakukan uji *in vitro* terdapat kontaminasi sebesar tingkat radiasi latar. Berdasarkan JAERI, tingkat kontaminasi ini masih tergolong aman bagi pekerja radiasi, yaitu di bawah  $3,7 \text{ Bq/cm}^2$  [11].

Tingkat kontaminasi tertinggi mencapai  $0,03 \text{ Bq/cm}^2$  pada botol sumber Sr-90. Berdasarkan JAERI, nilai ini tergolong kontaminasi tingkat rendah, yaitu di bawah  $3,7 \text{ Bq/cm}^2$  [11]. Meskipun demikian, kontaminasi tetap berpeluang masuk ke dalam tubuh pekerja. Tingkat kontaminasi terendah atau mendekati sama dengan data cacah latar terdapat pada lantai fasilitas laboratorium dan meja laboratorium. Dari hasil perhitungan tingkat kontaminasi permukaan di beberapa lokasi dapat disimpulkan bahwa pada daerah pengawasan tidak diperlukan tindakan proteksi atau keselamatan khusus karena tingkat kontaminasi permukaan pada daerah kerja tersebut tergolong rendah ( $< 3,7 \text{ Bq/cm}^2$ ) [11],[12].

Hasil pengukuran laju paparan dan perkiraan dosis yang diterima pekerja radiasi pada proses pengambilan sumber uranium dan Sr-90 dari ruang penyimpanan sumber dan pada saat proses pelimbahan disajikan pada Tabel 3. Nilai ini masih jauh di bawah nilai batas dosis (NBD) tahunan yang diizinkan. Dosis total maksimum untuk petugas radiasi dalam Laboratorium PDPL adalah  $3/10$  NBD atau  $6 \text{ mSv}$ /tahun. Apabila diasumsikan dalam 1 tahun terdapat 2000 jam waktu kerja maka batas laju dosis rata-rata maksimum untuk petugas radiasi adalah  $3 \text{ } \mu\text{Sv}/\text{jam}$ .

**Tabel 3.** Pengukuran Laju Paparan pada Bulan April 2021

Nama Lokasi	Laju dosis diukur dengan jarak kontak	Laju dosis diukur dengan jarak 1 meter
Ruang Sumber	-	$0,4 \text{ } \mu\text{Sv}/\text{jam}$
Tempat Pelimbahan	$0,15 \text{ } \mu\text{Sv}/\text{jam}$	$0,08 \text{ } \mu\text{Sv}/\text{jam}$

Besarnya nilai laju paparan radiasi yang terukur ini termasuk laju dosis kurang dari  $10 \text{ } \mu\text{Sv}/\text{jam}$ , masih di bawah nilai batas dosis yang diizinkan sehingga aman bagi pekerja radiasi [13]. Daerah kerja dengan laju dosis kurang dari  $10 \text{ } \mu\text{Sv}/\text{jam}$  tidak memerlukan tindakan pencegahan khusus terhadap radiasi eksternal, tetapi tetap harus menerapkan prinsip proteksi radiasi, yaitu justifikasi, limitasi, dan optimasi [6],[14],[15].



## KESIMPULAN

Tingkat kontaminasi permukaan pada pengujian *in vitro* di Laboratorium Kimia PDPL termasuk dalam kategori rendah, yaitu di bawah  $3,7 \text{ Bq/cm}^2$  dengan nilai tertingginya, yaitu  $0,03 \text{ Bq/cm}^2$ . Laju paparan pada saat pengujian *in vitro* sangat kecil, yaitu  $0,4 \mu\text{Sv/jam}$ , tidak melebihi batas rata-rata laju dosis, yaitu di bawah  $10 \mu\text{Sv/jam}$ . Dengan demikian, kegiatan pengujian *in vitro* pada Laboratorium Kimia PDPL BATAN tergolong aman dan tidak memerlukan tindakan proteksi atau keselamatan khusus. Meskipun demikian, prinsip proteksi radiasi, yaitu justifikasi, limitasi, dan optimasi tetap harus dipatuhi dalam rangka meminimalkan risiko akibat paparan dari kontaminasi isotop uranium dan Sr-90 pada saat melakukan pengujian *in vitro*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Bidang Pemantauan Dosis Personel dan Lingkungan, Organisasi Riset Tenaga Nuklir, atas izinnya dalam melakukan pengukuran pada Laboratorium Kimia PDPL BATAN sekaligus memberi izin dalam pembuatan makalah.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Rivera-Silva dkk., "Comparison and validation of methods for the determination of  $^{90}\text{Sr}$  by cerenkov counting in biological and sediment samples, including green chemistry metrics," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 320, no. 1, pp. 109–122, 2019.
- [2] Maryam Goudarzi dkk., "A comprehensive metabolomic investigation in urine of mice exposed to strontium-90," *Radiation Research*, vol. 183, no. 6, pp. 665–674, 2015.
- [3] M.J. Woods dan S.E.M. Lucas, "Half-life of  $^{90}\text{Sr}$ , measurement and critical review," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, vol. 369, no. 2-3, pp. 534–538, 1996.
- [4] S.A. Katz, "The chemistry and toxicology of depleted uranium," *Toxics*, no. 2, pp. 50–78, 2014.
- [5] Jiri Patocka, "Human health and environmental uranium," *Military Medical Science Letter*, vol. 83, no. 3, pp. 120–131, 2014.
- [6] L. Stammler dkk., "Renal effects and carcinogenicity of occupational exposure of uranium: a meta-analysis," *Nephron Extra*, no 6, pp. 1–11, 2016.
- [7] U. L. Nisa dkk., "Analisis tingkat kontaminasi permukaan daerah kerja dan laju paparan radiasi pada instalasi kedokteran nuklir," *Youngster Physics Journal*, vol 6, no 1, pp 76–82, 2017.
- [8] D. C. B. de Souza dan R. Vicente, "Wipe sampling – review of the literature," *2011 International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2011*, 2011.
- [9] University of Western Australia, *Wipe Test Procedure*, 13 Januari 2016, diakses pada 23 Oktober 2021. [Online] Web: <https://www.safety.uwa.edu.au/topics/radiation/radioactive-materials/wipe-test>



- [10] Il Park dkk., “Calculation of dose conversion coefficients for radioactive cesium in contaminated soil by depth and density,” *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 316, pp. 1213–1219, 2018.
- [11] T. Aburai, “Measurement of surface contamination and decontamination,” *Radioisotope and Nuclear Engineering School, JAERI*, 1991.
- [12] IAEA. *Manual on Decontamination on Surface*. Safety Series no 18. Vienna, 1982.
- [13] BAPETEN. “Perka BAPETEN No. 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi,” 2013.
- [14] W. F. Morgan dan W. J. Bair, “Issues in Low Dose Radiation Biology: The Controversy Continues, A Perspective,” *Radiation Research*, vol. 179, no. 5, pp 501–510, 2013.
- [15] Muji Wiyono, “Pengukuran kontaminasi permukaan dan laju pajanan radiasi di RSUD dr. Soetomo Surabaya,” dalam *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Teknis Nonpeneliti*, 10 Desember 2006.



## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

Buku ini tidak diperjualbelikan.



KL-004

## RELIABILITY OF RADIATION PORTAL MONITOR USING FALSE ALARM TESTING

R.L. Tyas, D Listianti, J. Triyanto, dan J. Sutanto

### ABSTRACT

To improve security and safety in the nuclear facility area, The Center for Nuclear Facility Engineering, National Nuclear Energy Agency of Indonesia (PRFN-BATAN) has developed a system for measuring Radiation Portal Monitor (RPM). This facility will be installed at the entrance and exit gates in the nuclear facility area which aims to monitor the safety of radioactive substances in vehicles entering and leaving the nuclear facility area. To ensure the reliability of the radiation portal monitor that has been made, testing and certification of the equipment must be carried out in accordance with the reference standard SNI IEC 62244:2016. One of the radiation characteristics requirements of the standard is to perform a false alarm test with the requirement that no unexplained alarms occur during a 100 hours operating period with the monitor in a stable background. The testing activity was carried out in the Serpong Nuclear Area - National Nuclear Energy Agency of Indonesia, behind Building 71. The test was carried out for 5 days by monitoring the detection of false alarms at RPM which was operated for 100 hours. The results of background testing for 5 days obtained an average count of 745 cps. However, no alarm data is activated (background or occupation). There was an increase in the count due to rain, but it did not activate the alarm.

**Keyword:** Radiation Portal Monitor; Testing; False Alarm; Security; Safety

### INTRODUCTION

In the area of the nuclear facility with radioactive material and radioisotopes, it is very necessary to pay attention to the security and safety factor. This is because there is a huge potential for dangerous risks such as illegal transfer of goods, work accidents, and terrorist attacks. One of the preventive measures is to install a radiation portal monitor in the nuclear facility area. The Center for Nuclear Facility Engineering, National Nuclear Energy Agency of Indonesia (PRFN-BATAN) has developed a system for measuring Radiation Portal Monitor (RPM). The system will be installed at the entrance and exit gates in the nuclear facility area to monitor the safety of radioactive substances in vehicles entering and leaving the nuclear facility area. The

---

R. L. Tyas, D. Listianti, J. Triyanto, & J. Sutanto

\*Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir BRIN, e-mail: rati009@brin.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

R. L. Tyas, D. Listianti, J. Triyanto, & J. Sutanto, "Reliability of radiation portal monitor using false alarm testing," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 18, pp. 183–189, DOI: 10.55981/brin.690.c659

E-ISBN: 978-623-8372-02-7



specifications of the radiation portal monitor that have been developed are listed in Table 1.

To ensure the reliability of the radiation portal monitor, testing and certification of the equipment must be carried out in accordance with the reference standard SNI IEC 62244:2016. The results of the PMR prototype design were expected to have an increase in RPM detection sensitivity and reduction of detection threshold for special nuclear materials to provide dependable radiation monitoring in physical protection systems of nuclear facilities. Improvement of the detection sensitivity depends on parameters like source position and self-shielding of the vehicle [1]. It also can be done by improving the technical features of RPM, optimal design of complex solutions. Software algorithms are effective, modern electronic devices with low noise and new materials, the physical principles and technology must be applied [2]. Radiation portal monitor must operate in the absence of other radiation contamination, so it must be installed and operated in an area with a low radiation background [3].

**Table 1.** Radiation Portal Monitor Specification

<b>Dimensions</b>	2 pillars per lane, each with dimensions: Height: 2200 mm; Width: 257; mm Depth: 257 mm; Height plus 450 mm with alarm indicator.
<b>Detection Performance</b>	According to SNI-IEC 62244:2016
<b>Data Output</b>	Conform to SNI-IEC 62244:2016; TCP/IP communication protocol; report for each alarm or occupancy; provides alarm classification, alarm status, gamma count rates, and background count rates directly to user interfaces.
<b>Gamma Detectors</b>	0.3 liter (50 mm x 125 mm) NaI(TL) with integrated MCA (multichannel analyzer). The detectors provide gamma radiation sensitivity in the energy range from 30 keV to about 3 MeV. Automatic background compensation. Collimator $\pm 30^\circ$ vertically, $\pm 30^\circ$ horizontally.
<b>Measurement Cycle</b>	Minimum 0,5 s
<b>Alarm Categorization</b>	Background mode and Occupancy mode
<b>Peripherals</b>	Occupancy sensors (current loop and optical); optional: CCTV, audible/visual alarm annunciation.
<b>Operating Temperature</b>	-25°C - 55°C
<b>Operating Humidity</b>	40% - 95%
<b>Power</b>	220 VAC/50 Hz (main supply) include surge impulse and static protection; 24 VDC (without main supply)
<b>Ingress Protection</b>	IPX5

Addition, this test aims to establish uniformity in the indication format and alarm recording so that the radiation portal monitor can be used in different locations [4]. There are five requirements in SNI IEC 62244:2016, namely radiation characteristics, electrical characteristics, electromagnetic compatibility, mechanical characteristics,



and environmental characteristics. In the radiation characteristics there is a false alarm test with the requirement that no unexplained alarms occur during the 100 hours operating period with the monitor in a stable background. With this test, the radiation performance of the portal monitor can be assessed from the probability of false negatives and positives alarms occurring. It is intended that the sensors used can maximize the probability of threat detection and maintain a low probability of false alarms [5].

## METHODS

This testing activity was carried out in the Serpong Nuclear Area - National Nuclear Energy Agency of Indonesia behind the 71 Area where the location does not have background exposure. The test was conducted out by identifying the test requirements according to SNI IEC 62244:2016, and then determining the parameters and operating conditions of the test.

For radiation detection applications, false alarm threshold requirements may be directed by user needs, standard requirements, or acquisition requirements. The drive to set minimal false alarm threshold requirements must be balanced with the radiation detection capability of each type of technology. The tradeoff between false alarms and true alarms plays an important role in defining performance requirements for a radiation detection system [6]. A common requirement in ANSI standards in terms of occurrences is to have a probability of false alarm no greater than one alarm in 1000 occupancies [6],[7]. Alarms are often triggered by naturally occurring radioactive materials, therefore, an algorithm is needed to reduce the number of false alarms. The most commonly used algorithm is the windowing algorithm, which is based on the calculation of the ratio between the radiation intensity in the low and high energy windows of the observed scintillation spectrum [8]. For detection of moving radioactive sources, algorithm detection based on the time correlation between channels has been developed [9].

In accordance with the requirements of the radiation characteristics test from SNI IEC 62244:2016, the test was carried out for 5 days by monitoring the detection of false alarms at RPM which was operated for 100 hours. After that, the data were processed and analyzed for acceptability with the standards. The stages of the method are shown in Figure 1.



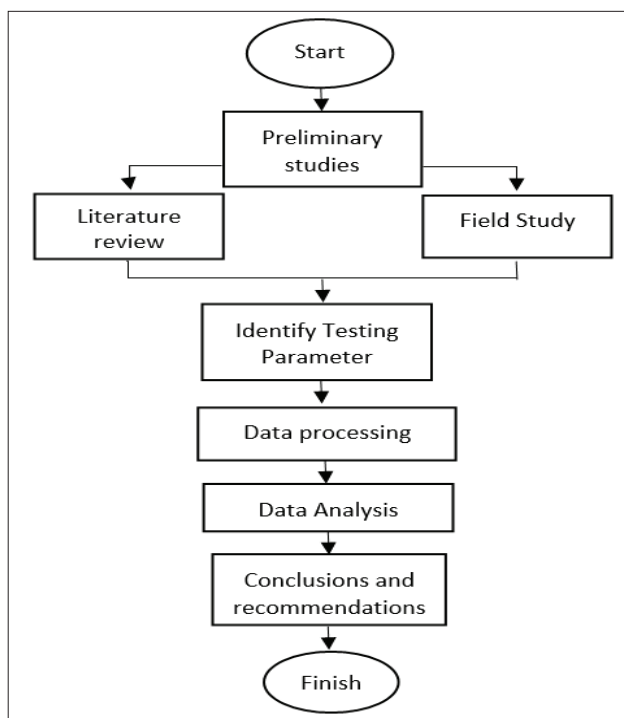


Figure 1. Stages of the Method

## RESULTS AND DISCUSSION

The false alarm test was carried out by operating the RPM by measuring the background for 100 hours with a certain period to see the stability of the count results according to environmental conditions, as in Table 2.

Table 2. RPM Specifications Setting

Parameter	Spesification
Amplifier Settings	R = 1100 $\Omega$ I = 0,9 mA
Alarm Settings	Without occupation 2 x BG Background settings follow the conditions



For the false alarm test, RPM is isolated by installing a safety line, as shown below:



**Figure 2.** Setting Location For Testing

For 100 hours there was no alarm data activated (both background and occupation), when viewed from the recorded count ( $< 2$  times the background count). There was an increase in the count, but it did not activate the alarm ( $< 2$  counts due to background). The increase in background activity associated with rain [10].

The results of background testing for 5 days obtained an average count of 745 cps. Background count measurement of against the time function for 100 hours, can be seen in Figure 3 (a) to (e).

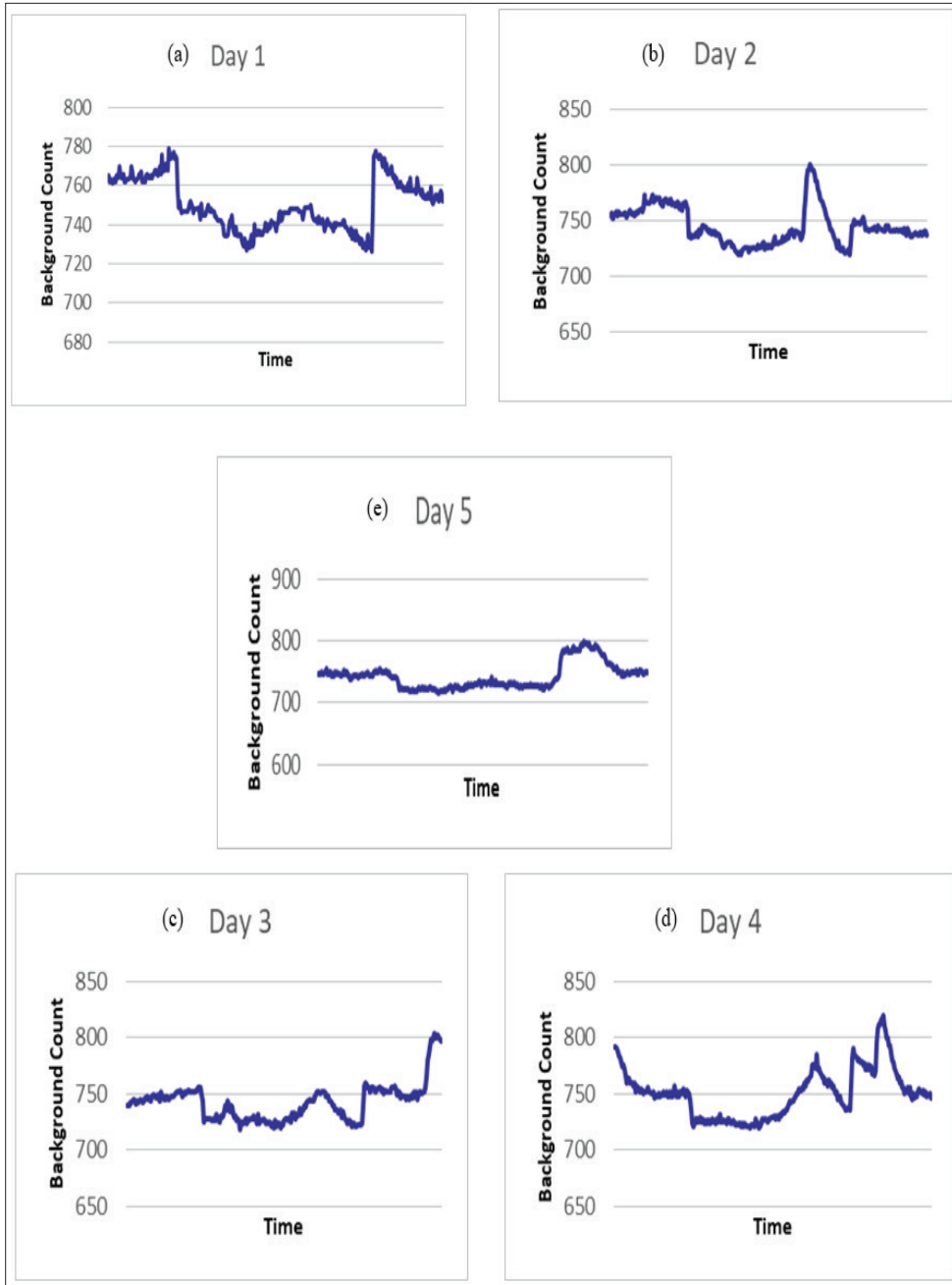


Figure 3. Background Count Measurement From Day 1 to Day 5



## CONCLUSION

One of the tests on the RPM is the false alarm. No unexplained alarm should occur during the 100 hours operating period with the monitor in a stable background. For 100 hours no alarm data was activated (background or occupation), there was an increase in the count due to rain, but it did not activate the alarm. Based on these results, it can be concluded that testing the radiation characteristics of the false alarm meets the requirements according to the standard SNI IEC 62244:2016. Furthermore, RPM will continue other tests in order to meet IEC standards and can be used in nuclear facilities.

## REFERENCES

- [1] T. Schroettner, P. Kindl, and G. Presle, "Enhancing sensitivity of portal monitoring at varying transit speed," *Elsevier*, vol. 67, p. 1878–1886, 2009.
- [2] A. Halevy, *Accreditation and Quality*, vol. 8, p. 286, 2003.
- [3] Y. Jaeryong, et al., "Evaluation of performance characteristics of portal monitor for radiation emergency," *Elsevier Applied Radiation and Isotopes*, vol. 156, 2020.
- [4] M. Tinker, "Standardisation of Radiation Portal Monitor Controls and Readouts," *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 141, no. doi:10.1093/rpd/ncq183, p. 305–308, 2010.
- [5] T. Burr, et al., "Alarm criteria in radiation portal monitoring," *Elsevier Applied Radiation and Isotopes*, vol. 65, no. 2007, pp. 569–580, 2006.
- [6] D. D. Leber and L. Pibida, "False Alarm Testing for Radiation Detection Systems," *NIST Technical Note*, p. 2118, 2020.
- [7] M. Paff, "Performance of a EJ309 organic liquid scintillation detector pedestrian radiation portal monitor prototype at the 2nd SCINTILLA benchmark campaign," in *Institute of Nuclear Materials Management 55th Annual Meeting*, 2014.
- [8] G. T and S. D, "On the ratio distribution of energy windowing algorithms for radiation," *Elsevier*, vol. 132, no. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.12.005>, pp. 195–199, 2018.
- [9] R. Coulon, et al., "Moving Sources Detection Algorithm for Radiation," *Transactions on Nuclear Science*, vol. 61, p. 2189, 2016.
- [10] R. Livesay, "Rain-induced increase in background radiation detected by Radiation Portal Monitors," *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 137, pp. 137–141, 2014.



## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

Buku ini tidak diperjualbelikan.



KL-005

## EVALUASI PENGELOLAAN LIMBAH DI PUSAT RISET TEKNOLOGI APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI

### *EVALUATION OF WASTE TREATMENT MANAGEMENT AT CENTER OF RESEARCH TECHNOLOGY ISOTOPE AND RADIATION APLICATION*

**Niken Hayudanti Anggarini, M. Fajar Sanjaya, Rahmad Ramdhani Sambari, dan  
Megy Stefanus**

#### ABSTRAK

Penggunaan bahan kimia ataupun radioaktif pada penelitian tentunya akan menjadi limbah berbahaya dan beracun bagi lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Limbah yang dihasilkan di Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi/PRTTPR (sebelumnya PRTAIR) dikelola oleh Bidang Keselamatan Kerja dan Lingkungan. Walaupun selama ini sudah berjalan, pelaksanaan manajemen limbah di PRTTPR belum dievaluasi. Berdasarkan pelaksanaan di lapangan, beberapa permasalahan masih ditemukan, di antaranya volume penerimaan limbah dan pengiriman limbah ke pengolah akhir cukup besar sehingga membutuhkan biaya besar. Lebih lanjut, pelimbanahan bahan kimia kedaluwarsa masih cukup besar, teknis pengumpulan limbah residu belum tepat dan limbah tanpa identitas masih diterima oleh kelompok KKL. Berdasarkan hal ini perlu dilakukan evaluasi pada personel laboratorium dan pengelola limbah terkait penerapan manajemen limbah. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui karakter limbah radioaktif dan limbah B3 di PRTTPR, mengetahui sirkulasi limbah radioaktif dan limbah B3 tahunan dari 2015–2020, mengetahui penilaian penerapan manajemen limbah pada personel laboratorium dan pengelola limbah di PRTTPR. Metode penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif. Pelaksanaan kegiatan ini dilakukan dengan menghitung jumlah timbulan limbah, analisis timbulan limbah dan analisis uji-t hasil survei kuesioner para personel laboratorium pada manajemen pengelolaan limbah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakter limbah radioaktif dengan volume terbesar adalah limbah kontaminasi waktu paro pendek dan karakter limbah B3 dengan volume terbesar adalah limbah cair mudah terbakar, sirkulasi limbah tertinggi pada pengelolaan limbah periode 2015–2020 di PRTTPR adalah limbah B3 jenis residu laboratorium, dan sebanyak 80% personel laboratorium menyatakan bahwa pengelolaan limbah, kegiatan minimalisasi limbah laboratorium, dan kegiatan pengelolaan limbah di laboratorium sudah baik, tetapi terdapat beberapa catatan yang harus dilakukan, seperti sosialisasi pengelolaan limbah secara rutin, pembuatan prosedur penyimpanan bahan kimia yang dapat diadopsi oleh seluruh laboratorium, dan area penyimpanan bahan kimia yang mendukung.

N. H. Anggarini, M. F. Sanjaya, R. R. Sambari, & M. Stefanus

\*Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi BRIN, e-mail: nike006@brin.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

N. H. Anggarini, M. F. Sanjaya, R. R. Sambari, dan M. Stefanus, "Evaluasi pengelolaan limbah di Pusat Riset Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 19, pp. 191–203, DOI: 10.55981/brin.690.c660

E-ISBN: 978-623-8372-02-7



**Kata Kunci:** Manajemen Limbah B3; Pengelolaan Limbah; Evaluasi.

### **ABSTRACT**

*The usage of chemical or radioactive materials in research activity will excess hazardous and toxic waste for the environment if not managed properly. Occupational Safety and Environment Division managed the waste at Central for Isotope and Radiation (CIRA). Although it has been running so far, the implementation of waste management has never been evaluated. Based on the implementation in the field, some problems are still originated, including the volume of waste receipts and waste delivery to the final processor which is quite large consequently it requires grater costs. Furthermore, expired chemicals are still being dumped, the technique for collecting residual waste is not appropriate and waste without identity is accepted yet. It is necessary to evaluate laboratory personnel and waste management regarding the implementation of waste management. The purpose of this study was to determine the character of radioactive waste and hazardeous waste, to identify the annual circulation of radioactive and toxic waste from 2015–2020, to determine the assessment of laboratory personnel related to laboratory waste management. The research method is descriptive quantitative. The activity is calculating the amount of waste generation, analysis of waste generation and t-test analysis for the questionnaire survei. The results show that the character of radioactive waste with the largest volume is short half-life contamination waste and the character of hazardeous waste with the largest volume is flammable liquid waste, the highest waste circulation in 2015–2020 is hazardeous laboratory residue. 80% of laboratory personnel stated that waste management, laboratory waste minimization activities, and waste management activities in the laboratory are respectable, but there are some notes that nescesity, such as routine waste management socialization, writing down chemical storage procedures that can be adopted by all laboratories, and locating chemical storage area.*

**Keywords:** Waste Manajemen; Evaluation; Waste Treatment.

### **PENDAHULUAN**

Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi (PRTPR)—sebelumnya Pusat Riset Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi (PRTAIR)—adalah salah satu unit kerja di Organisasi Riset Teknologi Nuklir (ORTN) Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) yang melaksanakan pengembangan dan aplikasi teknologi isotop dan radiasi. Pengembangan dan penelitian di PRTPR didukung oleh beberapa laboratorium penelitian yang pada kegiatannya menggunakan bahan kimia ataupun radioaktif yang mungkin berbahaya dan beracun. Sisa penggunaan bahan kimia ataupun radioaktif tentunya akan menjadi limbah berbahaya dan beracun bagi lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik.

Beberapa laboratorium yang menggunakan bahan berbahaya dan beracun di PRTPR adalah 11 laboratorium, yaitu laboratorium uji tak rusak; laboratorium hidrologi dan panas bumi; laboratorium sedimentologi, kelautan, dan lingkungan; laboratorium lingkungan/bioremediasi; laboratorium pemupukan dan nutrisi tanaman; laboratorium nutrisi ternak; laboratorium kesehatan dan reproduksi ternak; laboratorium bank jaringan; laboratorium pangan iradiasi; laboratorium bahan industri; dan laboratorium analisis sampel lingkungan. Di antara limbah yang dihasilkan di PRTPR adalah limbah B3 yang terdiri dari limbah bahan



kimia kedaluwarsa, limbah botol bekas kimia, limbah sisa analisis, dan limbah biologi. Lebih lanjut, penelitian di PRTPR juga menghasilkan limbah radioaktif yang terdiri dari limbah kontaminasi zat radioaktif dan limbah sumber bekas. Selain itu, gudang penyimpanan sementara limbah B3 di PRTPR memiliki limbah bahan kimia kedaluwarsa dengan volume cukup tinggi [8]. Tingginya kuantitas limbah, terutama limbah bahan kimia kedaluwarsa menjadi suatu perhatian, karena kuantitas limbah dan pengelolaannya menjadi indikator seberapa baik tata kelola limbah atau manajemen limbah [6].

Pelaksanaan manajemen limbah memiliki payung hukum dalam struktur organisasi di PRTPR. Kegiatan ini adalah tugas pokok dan fungsi dari kelompok Keselamatan Kerja dan Lingkungan (KKL). Lingkup kegiatan pengelolaan limbah yang dilakukan adalah melakukan pengangkutan limbah, penyimpanan sementara dan karakterisasi limbah, serta pengiriman ke pengolah akhir. Lebih lanjut, pengelola laboratorium juga memiliki peran dalam melakukan manajemen limbah, yaitu pada kegiatan minimalisasi limbah, pengumpulan limbah, dan penyimpanan sementara di laboratorium. Kegiatan ini adalah kegiatan yang harus dilakukan bersama antara pengelola laboratorium sebagai penghasil limbah dan kelompok KKL sebagai pengelola limbah.

Manajemen limbah yang sudah berjalan di PRTPR belum pernah dievaluasi pelaksanaannya. Berdasarkan pelaksanaan di lapangan, beberapa kendala ditemukan, di antaranya volume penerimaan limbah dan pengiriman limbah ke pengolah akhir yang sangat besar. Hal ini tentunya kurang sejalan dengan hierarki manajemen limbah dalam mengurangi timbulan limbah. Pada hierarki manajemen limbah terdapat beberapa pilihan yang dapat digunakan oleh para pengelola laboratorium. Pilihan teratas adalah melakukan minimalisasi penggunaan bahan beracun atau berbahaya yang berpotensi menjadi limbah sejak dari proses perencanaan pembelian dan pengadaan bahan. Pada tingkatan selanjutnya adalah penggunaan ulang, *recycle*, pengolahan limbah, dan terakhir adalah pemusnahan [9].

Kendala yang terlihat di lapangan selanjutnya adalah penerimaan limbah bahan kimia kedaluwarsa masih ada, pengumpulan limbah residu yang tidak tepat dan limbah tanpa identitas masih diterima oleh kelompok KKL. Berdasarkan hal ini perlu dilakukan evaluasi kegiatan manajemen limbah, di antaranya identifikasi karakteristik dan pengelolaan limbahnya, sirkulasi limbah dan penilaian pada pengelola laboratorium dan pengelola limbah terkait penerapan manajemen limbah. Kegiatan ini diperlukan untuk menjadi ukuran efektivitas kegiatan pengelolaan limbah. Hal ini juga dapat menjadi dasar pembuatan kebijakan terkait pengelolaan limbah di PRTPR. Oleh karena itu, perlu suatu penelitian untuk mengetahui karakteristik limbah, sirkulasi limbah dalam 5 tahun terakhir, serta mengetahui penilaian penerapan pengelolaan limbah. Berdasarkan rumusan masalah yang dituliskan, penelitian ini memiliki tujuan di antaranya mengetahui karakter dan sirkulasi limbah radioaktif





dan limbah B3 periode tahun 2015–2020, serta mengetahui penilaian penerapan manajemen limbah pada personel laboratorium dan pengelola limbah di PRTPR.

## METODE PERCOBAAN

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penentuan karakter limbah dan perhitungan sirkulasi limbah adalah data timbulan limbah tahun 2015–2020, data limbah yang tersimpan di Gudang Penyimpanan Sementara Limbah. Lebih lanjut, bahan dalam penilaian penerapan manajemen limbah pada personel laboratorium dan pengelola limbah adalah lembar kuesioner yang dibuat dalam bentuk *GForm*.

### Tata Kerja

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian deskriptif kuantitatif. Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari–Mei tahun 2021. Alur penelitian ini, yaitu pada analisis timbulan limbah dimulai dengan studi dokumen pengelolaan limbah, identifikasi limbah, melakukan karakterisasi limbah, dan analisis limbah. Pada penilaian pengelola laboratorium terkait pengelolaan limbah dimulai dari studi dokumen pengelolaan limbah, penyusunan lembar perekam data, kegiatan survei, pengumpulan survei, dan analisis data survei.

Karakterisasi limbah B3 dilakukan dengan melakukan pengelompokan limbah B3 berdasarkan bentuk fisik, kimia, dan potensi bahaya. Pengelompokan limbah B3 ini dilakukan pada semua limbah B3 yang terdapat di Gudang Penyimpanan Limbah B3 Sementara Bidang KKL. Hasil karakterisasi ini selanjutnya akan dibandingkan data pada tahun 2014. Hal ini dilakukan untuk mengetahui adanya kemungkinan perbedaan jenis kegiatan dan timbulan limbah. Perhitungan pemasukan limbah didasarkan pada dokumen pengelolaan limbah B3 yang terdiri dari permintaan pengangkutan limbah B3 dari bidang-bidang, rekapitulasi limbah B3 tahunan, dan dokumen pengiriman limbah B3 ke pengolah akhir. Penilaian persepsi personel laboratorium pada manajemen pengelolaan limbah akan dilakukan pengumpulan data kuesioner. Kuesioner yang digunakan mengacu pada Pedoman Teknis untuk Pengelolaan Limbah Laboratorium untuk Akreditasi Laboratorium Lingkungan (KAN G15).

Populasi pada penelitian ini adalah pegawai PRTPR yang bekerja di laboratorium bidang penelitian dan pengembangan serta berpotensi menghasilkan limbah B3 dan/atau limbah radioaktif pada kegiatannya. Total jumlah populasi adalah 100 orang. Jumlah sampel minimal ditentukan menggunakan rumus Slovin, yaitu:

$$n = \frac{N}{1+(Nxe^2)} n = \frac{N}{1+(Nxe^2)}$$



Keterangan:

- n : jumlah minimal sampel  
 N : populasi  
 e : taraf signifikansi

Berdasarkan rumus slovin tersebut, jumlah sampel minimal pada penelitian ini adalah 80 orang.

Pertanyaan yang diajukan kepada responden dibagi menjadi 3 kelompok pertanyaan, di mana setiap kelompok pertanyaan akan diuji menggunakan uji-z untuk menguji hipotesis. Lebih lanjut, teknik ukuran yang digunakan adalah skala *likert*. Kelompok pertanyaan tersebut dan masing-masing hipotesis operasionalnya, yaitu:

- 1) Kelompok pertanyaan untuk penilaian manajemen pengelolaan limbah, dengan hipotesis operasional.
  - Ha: kualitas manajemen pengelolaan limbah di PRTPR lebih dari atau sama dengan 80% responden menyatakan baik.
  - H0: kualitas manajemen pengelolaan limbah di PRTPR kurang dari 80% responden menyatakan baik.
- 2) Kelompok pertanyaan untuk penilaian kegiatan pengelolaan limbah di laboratorium, dengan hipotesis operasional.
  - Ha: kegiatan pengelolaan limbah di laboratorium lebih dari atau sama dengan 80% responden menyatakan baik.
  - H0: kegiatan pengelolaan limbah di laboratorium kurang dari 80% responden menyatakan baik.
- 3) Kelompok pertanyaan untuk penilaian kegiatan minimalisasi limbah di laboratorium, dengan hipotesis operasional.
  - Ha: kegiatan minimalisasi limbah di laboratorium lebih dari atau sama dengan 80% responden menyatakan baik.
  - H0: kegiatan minimalisasi limbah di laboratorium kurang dari 80% responden menyatakan baik.

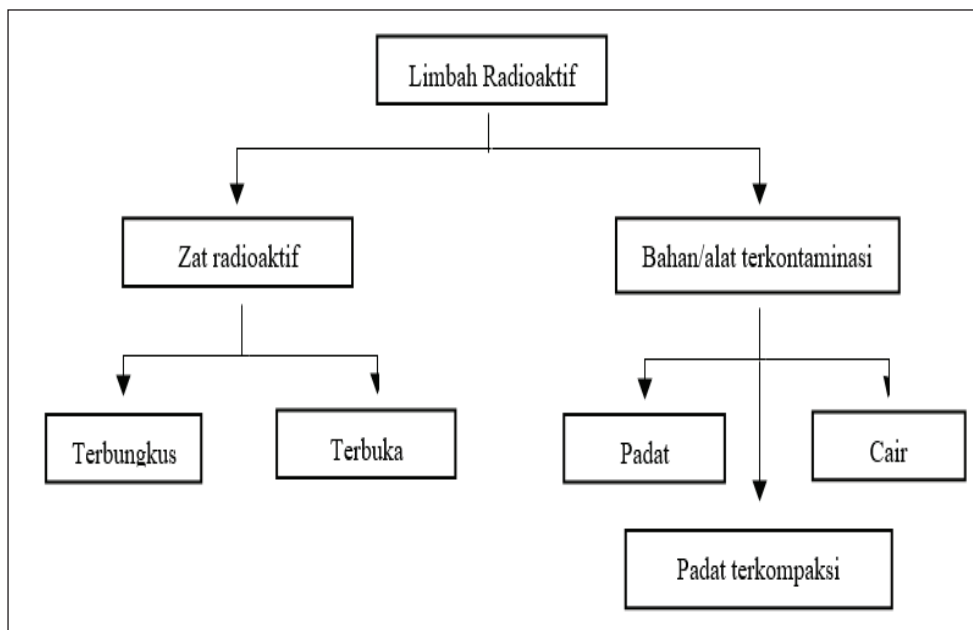
## HASIL DAN PEMBAHASAN

PRTPR sebagai salah satu lembaga penelitian dan pengembangan di bidang aplikasi isotop dan radiasi menghasilkan limbah radioaktif dan limbah B3 sebagai bagian dari kegiatan laboratoriumnya. Limbah radioaktif dan limbah B3 yang tersimpan dalam Gedung Penyimpanan Sementara Limbah radioaktif dan limbah B3 terdiri dari beberapa karakteristik. Beberapa karakteristik limbah tersebut dilakukan pengelompokan yang bertujuan untuk memudahkan dalam melakukan pengelolaan selanjutnya. Beberapa artikel menyebutkan bahwa pengelompokan



limbah berdasarkan karakteristik diperlukan dalam penanganan limbah [11][3] dan dapat menentukan penanganan secara tepat apabila terjadi kecelakaan pada tiap proses pengelolaan limbah [10]. Lebih lanjut, hal ini dapat menjadi salah satu langkah dalam penerapan manajemen limbah bahan kimia [4].

Karakteristik limbah radioaktif yang terdapat di Gedung Penyimpanan Sementara Limbah Radioaktif terdiri dari zat radioaktif terbuka, zat radioaktif terbungkus, dan limbah bahan/alat terkontaminasi. Pada limbah bahan/alat terkontaminasi dibagi kembali menjadi limbah terkontaminasi cair, limbah terkontaminasi padat terbakar dan limbah terkontaminasi padat terkompaksi. Pengelompokan berdasarkan karakterisasi ini telah sesuai dengan Peraturan Kepala BAPETEN No. 8 Tahun 2016 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif tingkat sedang dan rendah. Diagram karakterisasi limbah radioaktif dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Karakterisasi Limbah Radioaktif

Pengelompokan limbah radioaktif berdasarkan karakteristik limbah bertujuan untuk memudahkan pendataan dan pengelolaan lebih lanjut. Limbah zat radioaktif terbungkus dan terbuka ditempatkan terpisah dengan limbah bahan/alat terkontaminasi. Hal ini dilakukan untuk memudahkan pengelolaan limbah bahan/alat terkontaminasi yang sudah masuk tingkat *clearance*. Jumlah limbah radioaktif yang terdapat di Ruang Penyimpanan Limbah Radioaktif Sementara dapat dilihat pada Tabel 1.

Pada Tabel 1 dapat dilihat, limbah radioaktif yang tersimpan di Ruang Penyimpanan Limbah Radioaktif adalah limbah alat/bahan terkontaminasi. Kontaminan

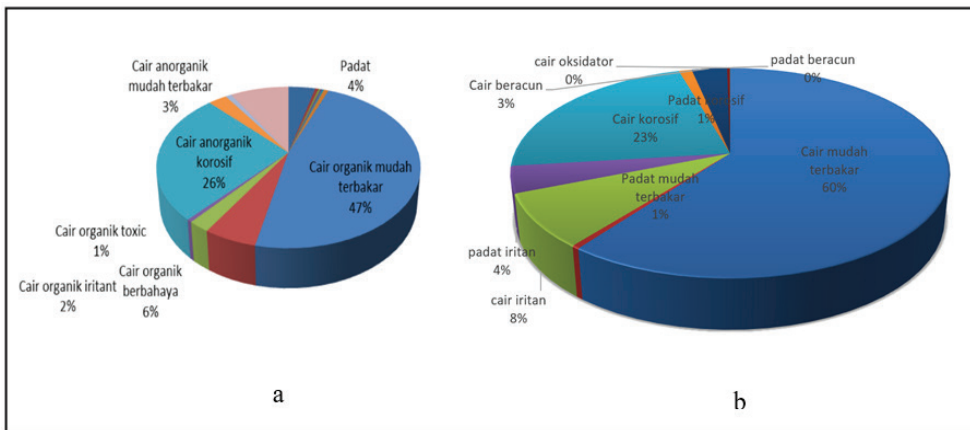


limbah ini sebagian besar adalah zat radioaktif dengan waktu paro pendek dan sedang, di antaranya P-32 dengan waktu paro 14 hari, I-125 waktu paro 59,4 hari, Zn-65 waktu paro 244 hari, Pb-210 waktu paro 13,3 hari, Sc-46 waktu paro 83 hari, dan Co-60 waktu paro 5,2 tahun. Terlebih, limbah terkontaminasi yang tersimpan sampai saat ini belum dilakukan pengelolaan lebih lanjut. Hal ini tentunya dapat membebani kapasitas penyimpanan, padahal limbah yang sudah melebihi waktu paro dapat dilakukan upaya penerapan tingkat klirens, setelah dilakukan analisis aktivitas/laju dosis dan penetapan klirens ke BAPETEN [7].

**Tabel 1.** Limbah Radioaktif Sisa Penelitian dan Pengembangan di PRTPR Periode 2015–2020

No.	Jenis Limbah	Radioaktif
1	Zat radioaktif terbuka	Sr-90, Zn-65, Cs-137, Co-60
2	Zat radioaktif tertutup	Co-60, Cs-137
3	Alat/bahan terkontaminasi padat	P-32, I-125, Sc-46, Co-60, Co-57, C-14
4	Bahan terkontaminasi cair	P-32, Zn-65, Pb-210, H-3, larutan Th-232, Pu-239+Pu-240

Pengelompokan limbah berdasarkan karakteristik juga dilakukan pada limbah B3. Limbah B3 yang tersimpan di Ruang Penyimpanan Sementara Limbah B3 terbagi menjadi limbah cair dan padat mudah terbakar, limbah cair dan padat korosif, limbah cair iritan, limbah cair beracun, dan karakteristik lainnya dalam jumlah sedikit. Persentase jumlah limbah B3 berdasarkan karakteristiknya dapat dilihat pada Gambar 2.



Keterangan: a. tahun 2014; b. periode tahun 2015–2020

**Gambar 2.** Persentase Jumlah Limbah B3 Berdasarkan Karakteristik di Ruang Penyimpanan Sementara Limbah B3

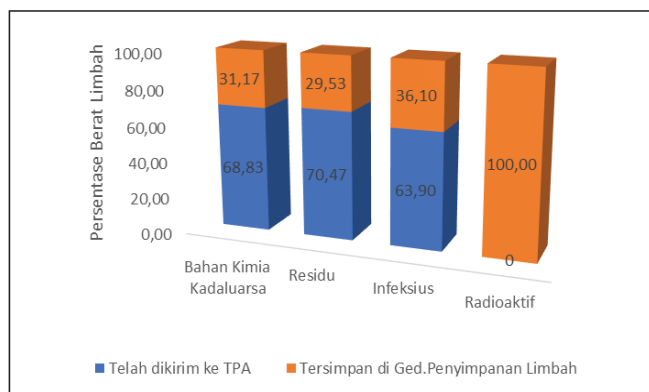
Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa komposisi terbesar adalah limbah cair mudah terbakar sebesar 60% dan dilanjutkan oleh limbah cair korosif sebesar 23%. Hal ini jika dibanding dengan komposisi limbah di tahun 2014 tidak berubah,

Buku ini tidak diperjualbelikan.



di mana karakteristik limbah B3 terbesar adalah limbah cair mudah terbakar dan kedua terbesar adalah limbah cair korosif [8]. Komposisi limbah yang hampir sama antara saat ini dan di tahun 2014 menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan kegiatan laboratorium yang signifikan selama tahun pengumpulan limbah sebelum tahun 2014 sampai tahun 2020. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik limbah tergantung dari sumber limbah dan aktivitas penghasil limbah [4]. Lebih lanjut, berdasarkan data pengumpulan limbah, PRTPR juga menghasilkan limbah B3 dengan karakteristik infeksius dalam jumlah sedikit. Limbah infeksius yang dihasilkan berasal dari tiga kelompok penelitian, yaitu dua laboratorium kelompok bahan kesehatan dan satu laboratorium kelompok reproduksi ternak. Limbah infeksius dari kelompok bahan kesehatan tidak disimpan lama dalam Ruang Penyimpanan Limbah Sementara karena sudah terkelola setiap 3 bulan melalui jasa pengangkutan limbah B3. Sementara itu, limbah dari kelompok reproduksi ternak masih tersimpan di Gudang Penyimpanan Limbah dan akan dikirim kemudian.

Pengiriman limbah B3 ataupun limbah radioaktif ke pengolah akhir adalah salah satu tanggung jawab pengolah limbah apabila tidak dapat melakukan pengolahan limbah sendiri. Oleh karena itu, PRTPR selalu berupaya melakukan pengiriman limbah untuk mengurangi volume di gudang penyimpanan limbah. Pengiriman limbah selama periode 2015–2020 masih diprioritaskan untuk pengiriman limbah B3. Hal ini karena volume limbah B3 yang masih tersimpan di gudang penyimpanan limbah B3 masih tinggi dan kapasitas penyimpanan terbatas, sedangkan permintaan pengelolaan limbah B3 dari laboratorium di PRTPR selalu ada. Kondisi ini yang mengharuskan adanya perencanaan pengiriman limbah B3 setiap tahunnya. Lebih lanjut, volume limbah radioaktif sampai tahun 2020 tidak tinggi dan sebagian besar adalah limbah bahan terkontaminasi zat radioaktif waktu paro pendek. Oleh sebab itu, pengiriman limbah radioaktif ke pengolah akhir belum menjadi prioritas selama periode ini. Gambar 3 menunjukkan persentase total limbah yang dikelola oleh Bidang Keselamatan Kerja dan Lingkungan periode 2015–2020.



**Gambar 3.** Persentase total limbah yang dikelola oleh Bidang Keselamatan Kerja dan Lingkungan periode 2015–2020.



Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa limbah B3 dengan jenis bahan kimia kedaluwarsa, residu laboratorium, dan limbah infeksius lebih dari 50% sudah dikelola lebih lanjut. Limbah ini dikirimkan ke pihak ketiga sebagai pengolah akhir. Lebih lanjut, Peraturan Pemerintah RI No. 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah B3 telah mengatur batasan waktu penyimpanan limbah B3 sementara, yaitu selama 365 hari untuk limbah B3 yang dihasilkan kurang dari 50 kg perhari. Apabila melebihi batasan ini maka penghasil wajib menyerahkan kepada pihak lain. Hal inilah yang mendasari kegiatan pengelolaan limbah B3 di PRTPR, walaupun pengiriman limbah B3 ke pengolah akhir belum maksimal karena terkendala dana. Pada sisi lain, dapat dilihat pada Gambar 3 bahwa limbah radioaktif belum dikelola lebih lanjut pada periode 2015–2020. Meskipun demikian, penyimpanan sementara limbah radioaktif tetap mengikuti prinsip justifikasi dengan mempertimbangkan proteksi dan keselamatan radiasi, sosial, ekonomi, dan keamanan sumber radioaktif. Hal ini sesuai dengan Peraturan Kepala BAPETEN No. 8 Tahun 2016 tentang Pengolahan Limbah Radioaktif Tingkat Rendah dan Tingkat Sedang.

Kegiatan pengelolaan limbah di PRTPR pada prinsipnya berusaha mengacu pada peraturan yang sudah ditetapkan oleh pemerintah. Kegiatan ini menjadi tugas pokok dan fungsi dari Bidang Keselamatan Kerja dan Lingkungan dalam memberikan layanan pengelolaan limbah. Meskipun demikian, kegiatan ini perlu didukung oleh para penghasil limbah dalam mengelola limbahnya di laboratorium. Kemampuan penghasil limbah dalam memperlakukan limbahnya, respons positif kegiatan layanan pengelolaan limbah, dan peran penghasil limbah dalam meminimalisasi jumlah limbah menjadi standar untuk mengetahui efektivitas kegiatan ini. Berdasarkan hasil survei yang dilakukan pada 80 orang pegawai PRTPR yang melakukan kegiatan di laboratorium, didapatkan gambaran.

### 1. Penilaian Manajemen Pengelolaan Limbah

Penilaian manajemen pengelolaan limbah dilakukan berdasarkan pada pengetahuan, pemahaman, dan penerapan prosedur pengelolaan limbah radioaktif dan limbah B3 di laboratorium masing-masing, penunjukan personel laboratorium yang bertanggung jawab untuk menangani pengelolaan limbah, pelaksanaan kegiatan sosialisasi pengelolaan limbah, dan pelayanan pengelolaan limbah di PRTPR. Berdasarkan analisis deskriptif data kuesioner terhadap 80 responden didapatkan hasil statistik sesuai Tabel 2.

**Tabel 2.** Data uji statistik pada kelompok pertanyaan manajemen pengelolaan limbah.

	N	df	$\alpha$	SD	$t_{hitung}$	$Z_{tabel}$
nilai	80	79	0,05	3,989	6,559	1,0219



Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa  $-Z_{\text{tabel}} < t_{\text{hitung}} > Z_{\text{tabel}}$  sehingga ditentukan  $H_0$  ditolak. Hasil uji statistik pada penilaian manajemen pengelolaan limbah menyatakan bahwa kualitas manajemen pengelolaan limbah di PRTPR lebih dari atau sama dengan 80% responden menyatakan baik. Hal ini dapat dilihat dari sudah adanya penunjukan penanggung jawab pengelolaan limbah di setiap laboratorium. Lebih lanjut, PRTPR sebagai suatu organisasi memiliki satu bidang yang bertugas mengelola limbah radioaktif dan limbah B3. Sebagian besar responden juga sudah mengetahui dan menerapkan prosedur pengelolaan limbah di laboratorium. Hal ini sesuai dengan syarat manajemen yang baik dari parameter pengelolaan limbah, yaitu setiap laboratorium harus memiliki kebijakan secara tertulis mengenai pengelolaan limbah [5] dan mengerti manajemen laboratorium dan pengolahan limbah [1]. Meskipun demikian, dapat menjadi catatan bahwa beberapa responden menyatakan perlu dilakukannya kegiatan *Forum Group Discussion (FGD)* ataupun sosialisasi secara rutin yang diinisiasi oleh kelompok KKL. Hal ini juga sesuai dengan artikel yang menyatakan bahwa salah satu strategi yang tepat dalam keberhasilan pengelolaan limbah dengan melakukan kegiatan workshop, optimalisasi peran, dan pemberian motivasi [2].

## 2. Kegiatan Pengelolaan Limbah di Laboratorium

Pada penilaian kegiatan pengelolaan limbah di laboratorium, pertanyaan yang diajukan terkait tentang kondisi dan kebiasaan petugas laboratorium dalam menangani limbah yang dihasilkan. di antaranya adalah pertanyaan terkait penyediaan area dan wadah penampungan limbah, kebiasaan membuang limbah laboratorium, dan respons petugas pengelola limbah. Berdasarkan beberapa pertanyaan yang diajukan dan analisis deskriptif uji t pada data kuesioner 80 responden didapatkan hasil uji t sesuai Tabel 3.

**Tabel 3.** Data uji t pada kelompok pertanyaan kegiatan pengelolaan limbah di laboratorium.

	N	df	$\alpha$	SD	$t_{\text{hitung}}$	$Z_{\text{tabel}}$
Nilai	80	79	0,05	2,9656	5,7304	1,0219

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa  $-Z_{\text{tabel}} < t_{\text{hitung}} > Z_{\text{tabel}}$  sehingga ditentukan  $H_0$  ditolak. Hasil uji statistik pada penilaian kegiatan pengelolaan limbah di laboratorium menyatakan bahwa kegiatan pengelolaan limbah di laboratorium PRTPR lebih dari atau sama dengan 80% responden menyatakan baik. Sebagian besar responden menyatakan bahwa laboratoriumnya sudah menentukan area penyimpanan limbah sementara dan memiliki wadah penampungan limbah. Mereka sebagian besar juga menyatakan tidak pernah membuang limbah cair laboratorium ke lingkungan. Selain itu, respons personel pengangkut limbah BKKL dinilai baik setiap ada permintaan pengangkutan limbah. Hal ini menjadi penting karena pengelolaan limbah yang



baik turut memperhatikan penampungan limbah berdasarkan karakteristiknya secara konsisten [3].

### 3. Kegiatan minimalisasi limbah di laboratorium

Penilaian responden pada kegiatan minimalisasi limbah di laboratorium didasarkan pada beberapa peranan responden dalam melakukan pengelolaan bahan kimia di laboratorium. Pengelolaan bahan kimia di laboratorium di antaranya terkait penyimpanan dan perhitungan ketersediaan bahan kimia. Dari beberapa pertanyaan yang diajukan pada 80 responden, hasil analisis uji t yang di dapatkan dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Data uji t pada kelompok pertanyaan kegiatan minimalisasi limbah di laboratorium.

	N	df	$\alpha$	SD	$t_{hitung}$	$Z_{tabel}$
Nilai	80	79	0,05	3,2801	3,3404	1,0219

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa  $-Z_{tabel} < t_{hitung} > Z_{tabel}$  sehingga  $H_0$  ditolak dan didapatkan kesimpulan bahwa kegiatan minimalisasi limbah di laboratorium lebih dari atau sama dengan 80% responden menyatakan baik. Berdasarkan data komentar yang dihimpun dan pengamatan lapangan, beberapa laboratorium sudah memisahkan bahan kimia berdasarkan suhu penyimpanan untuk menghindari kerusakan bahan kimia. Pemisahan bahan kimia berdasarkan karakteristik juga sudah dilakukan di beberapa laboratorium, walaupun tidak semua melakukannya. Lebih lanjut, beberapa responden menyatakan bahwa prosedur penyimpanan bahan kimia belum ada dan mengharapkan adanya prosedur induk dari BKKL. Pengelolaan bahan kimia untuk tujuan minimalisasi limbah B3 baru dilakukan oleh sebagian laboratorium di PRTPR. Penempatan bahan kimia terkadang tidak memenuhi persyaratan penyimpanan sehingga menyebabkan bahan kimia terkadang menjadi rusak dan tidak dapat dipakai. Hal ini menyebabkan beberapa laboratorium masih banyak memiliki bahan kimia kedaluwarsa dan rusak kemasan [6]. Oleh karena itu, yang dibutuhkan untuk meningkatkan kegiatan minimalisasi limbah adalah pembuatan prosedur penyimpanan bahan kimia yang dapat diadopsi oleh seluruh laboratorium, area penyimpanan bahan kimia yang mendukung, dan sosialisasi terkait pengelolaan bahan kimia di laboratorium.

Berdasarkan dari hasil evaluasi yang telah dibahas, metode pengelolaan limbah yang diterapkan di PRTPR saat ini berdasarkan hierarki manajemen limbah lebih cenderung pada pemusnahan khususnya pada bahan kimia. Tahapan minimalisasi limbah dilakukan oleh beberapa laboratorium walaupun masih sebatas pengelolaan bahan kimia yang baik dan pembelian bahan laboratorium sesuai kebutuhan. Kegiatan pemakaian ulang atau *recoveri*, daur ulang, ataupun pengolahan limbah belum dapat dilakukan karena kegiatan penelitian di PRTPR membutuhkan tingkat keakuratan





yang tinggi sehingga tidak memungkinkan untuk melakukan pemakaian ulang pada bahan kimia.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan.

- 1) Karakter limbah radioaktif dengan volume terbesar adalah limbah kontaminasi waktu paro pendek dan karakter limbah B3 dengan volume terbesar adalah limbah cair mudah terbakar.
- 2) Sirkulasi limbah tertinggi pada pengelolaan limbah periode 2015–2020 di PRTPR adalah limbah B3 jenis residu laboratorium.
- 3) Sebanyak 80% personel laboratorium menyatakan bahwa pengelolaan limbah, kegiatan minimalisasi limbah laboratorium, dan kegiatan pengelolaan limbah di laboratorium sudah baik, tetapi terdapat beberapa catatan yang harus dilakukan, seperti sosialisasi pengelolaan limbah secara rutin, pembuatan prosedur penyimpanan bahan kimia yang dapat diadopsi oleh seluruh laboratorium, area penyimpanan bahan kimia yang mendukung, dan sosialisasi terkait pengelolaan bahan kimia di laboratorium.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada koordinator KKL yang telah memberikan dukungan secara moral, kepada rekan-rekan di KKL atas kerja samanya, dan kepada seluruh pegawai PRTPR yang terlibat dalam pengisian kuesioner penilaian pengelolaan limbah di PRTPR ORTN BRIN.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Rahmawati and A. Alpiana, "Identifikasi limbah kimia laboratorium Kampus Universitas Muhammadiyah Mataram," *Jurnal Ulul Albab LPPM UMM*, Vol.2, No.1, pp. 32–35. 2018.
- [2] D. Rahno, J. Roebijoso, and A. S. Leksono, "Pengelolaan limbah medis padat di Puskesmas Borong Kabupaten Manggarai Timur Propinsi Nusa Tenggara Timur," *J-PAL*, vol. 6, no. 1, 2015.
- [3] F. Malayadi, "Karakteristik dan sistem pengelolaan limbah B3 laboratorium Universitas Hasanuddin Kota Makassar," Skripsi di Fakultas Kesehatan Masyarakat. Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia. 2017.
- [4] I. D. P. Subamia, S. Wahyuni, and N. N. Widiasih, "Implementasi 3RH (reduce, reuse, dan handle) dalam manajemen bahan dan limbah laboratorium kimia dasar FMIPA UNDIKSHA sebagai upaya efisiensi dan depolutansi," Prosiding Seminar Nasional MIPA, 2016.
- [5] L. Maulana, S. Yuniarti, and A. Kasiat, "Kajian model manajemen laboratorium lingkungan sebagai upaya menuju green campus," *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, vol. 19, no. 2, 2019.



- [6] L. Sulman and J. Irawan, “Pengelolaan limbah kimia di laboratorium kimia PMIPA FKIP UNRAM,” *Jurnal Pijar MIPA*, vol. XI, no. 2, pp. 135–141, 2016.
- [7] M. C. C. Hikmat, M. H. Thayib, and D. Iskandar, “Aspek lingkungan dalam penerapan tingkat klierens limbah radioaktif,” *prosiding seminar nasional teknologi pengelolaan limbah xv*, 2017.
- [8] NH. Anggarini, M. Stefanus, and Prihatiningsih, “Pengelolaan dan karakterisasi limbah B3 di PRTAIR berdasarkan potensi bahaya,” *Majalah Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi Beta Gamma*, vol. 5, no. 1, 2014.
- [9] R. Lasut, “Implementasi manajemen bahan kimia dan limbah laboratorium kimia (studi kasus di Laboratorium PT Pupuk Kaltim, Tbk),” Tesis Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia, 2006.
- [10] V. Ratano, M. Raharjo, and Nurjazuli. “Evaluasi pengelolaan limbah padat di RSUD Hj. Anna Lasmanah Banjarnegara,” *Jurnal Media Kesehatan Masyarakat Indonesia*, vol.18, no.3, 2019.
- [11] W. Larastika, “Studi Awal karakterisasi dan pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) di Universitas Indonesia (Studi kasus: beberapa laboratorium di FT, FMIPA, FK, dan FKG),” Skripsi di Fakultas Teknik Lingkungan Universitas Indonesia, Depok, Indonesia, 2011.



## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

Buku ini tidak diperjualbelikan.



KL-006

## EVALUASI DOSIS RADIASI INTERNA PEKERJA RADIASI PUSAT TEKNOLOGI RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA (PTRR) DARI TAHUN 2011 SAMPAI 2020

### *EVALUATION OF INTERNAL RADIATION DOSE OF PTRR RADIATION WORKERS FROM 2011 TO 2020*

Rr. Djarwanti RPS, Adelili Hermana, Fath Priyadi, dan Hadirahman

#### ABSTRAK

Penerimaan dosis radiasi interna, baik secara langsung dengan *whole body counter* (WBC) maupun tidak langsung dengan pemeriksaan sampel urine selama 10 tahun akan dianalisis untuk mengetahui pengaruh penerimaan dosis radiasi interna tersebut terhadap dosis seluruh tubuh. Penerimaan dosis radiasi interna tertinggi akan dianalisis kontribusinya terhadap dosis radiasi seluruh tubuh. Selanjutnya, akan dihitung kontribusi terendah dan tertinggi penerimaan dosis radiasi interna terhadap penerimaan dosis seluruh tubuh. Data dosis radiasi dimasukkan ke dalam rekapitulasi data penerimaan dosis radiasi interna dengan WBC dan sampel urine maksimum pekerja radiasi PTRR tiap bidang. Selanjutnya, dilakukan penelusuran pekerja radiasi yang menerima dosis radiasi maksimum. Dosis radiasi interna maksimum WBC atau sampel urine akan ditambahkan pada penerimaan dosis radiasi seluruh tubuh atau eksternal. Dosis radiasi interna sekecil apapun memberikan kontribusi penambahan terhadap dosis radiasi seluruh tubuh dari 15,94% sampai 98,28%. Pekerja Radiasi yang bekerja di PTRR bekerja dengan aman, selamat, dan sehat.

**Kata kunci** : Dosis; Radiasi Interna; WBC; Sampel Urine; Dosis Seluruh Tubuh.

#### ABSTRACT

*The reception of internal radiation doses, either directly with whole body counter (WBC) or indirectly by examining urine samples for 10 years will be analyzed to determine the effect of receiving the internal radiation dose on the whole-body dose. The highest received internal radiation dose will be analyzed for its contribution to the whole body radiation dose. Furthermore, the contribution of the lowest and highest internal radiation dose reception to the whole body dose reception will be calculated. Radiation dose data is entered into the recapitulation of internal radiation dose reception data with WBC and maximum urine sample of PTRR radiation workers for each field. Subsequently, radiation workers were searched who received the maximum radiation dose. The maximum dose of WBC or*

R. D. R. P. Sudjarwo, A. L. Hermana, F. Priyadi, & Hadirahman

\*Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran BRIN, e-mail: rrdj001@brin.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

R. D. R. P. Sudjarwo, A. L. Hermana, F. Priyadi, dan Hadirahman, "Evaluasi dosis radiasi interna pekerja radiasi Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PTRR) dari tahun 2011 sampai 2020," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 20, pp. 205–212, DOI: 10.55981/brin.690.c661, E-ISBN: 978-623-8372-02-7



*urine sample will be added to the total body or external radiation dose received. The smallest dose of internal radiation contributes to the whole body radiation dose from 15.94% to 98.28%. Radiation workers who work at PTRR work safely, safely, and in good health.*

**Keywords:** *Dosage, Internal Radiation, WBC, Urine Sample, Whole Body Dose.*

## PENDAHULUAN

Pusat Teknologi Radioisotop dan Radio-farmaka (PTRR) Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) berdasarkan Peraturan Kepala BATAN Nomor 16 Tahun 2014 tentang Perubahan atas Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional nomor 14 Tahun 2013 [1] tentang Organisasi dan Tata Kerja Badan Tenaga Nuklir Nasional merupakan salah satu unit kerja yang ada di lingkungan BATAN yang mempunyai tugas melaksanakan perumusan dan pengendalian kebijakan teknis, pelaksanaan dan pembinaan bimbingan di bidang teknologi produksi dan radioisotop. PTRR menyelenggarakan fungsi, sebagai berikut:

- 1) pelaksanaan urusan perencanaan, persuratan dan kearsipan, kepegawaian, keuangan, perlengkapan dan rumah tangga, dokumentasi ilmiah dan publikasi serta pelaporan;
- 2) pelaksanaan pengembangan teknologi produksi radioisotop;
- 3) pelaksanaan pengembangan teknologi produksi radiofarmaka;
- 4) pelaksanaan pengelolaan fasilitas proses radioisotop;
- 5) pelaksanaan pengendalian keselamatan kerja dan proteksi radiasi serta pengelolaan limbah;
- 6) pelaksanaan jaminan mutu; dan
- 7) pelaksanaan tugas lain yang diberikan oleh Deputi Bidang Pendayagunaan Teknologi Nuklir.

Struktur Organisasi Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PTRR) terdiri atas:

- 1) Bagian Tata Usaha;
- 2) Bidang Teknologi Radioisotop;
- 3) Bidang Teknologi Radiofarmaka;
- 4) Bidang Pengelolaan Fasilitas Proses
- 5) Bidang Keselamatan dan Pengelolaan Limbah;
- 6) Unit Jaminan Mutu; dan
- 7) Kelompok Jabatan Fungsional.

Bidang Keselamatan dan Pengelolaan Limbah menyelenggarakan fungsi:

- 1) pelaksanaan pemantauan keselamatan kerja, proteksi radiasi, dan koordinasi kedaruratan nuklir fasilitas; dan
- 2) pelaksanaan pengelolaan limbah fasilitas.



Bidang Keselamatan dan Pengelolaan Limbah terdiri atas:

- 1) Subbidang Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi (KKPR); dan
- 2) Subbidang Pengelolaan Limbah (PL).

Uraian tugas masing-masing Sub bidang :

- 1) Subbidang Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi mempunyai tugas melakukan pemantauan keselamatan kerja, proteksi radiasi, dan koordinasi kedaruratan nuklir fasilitas.
- 2) Subbidang Pengelolaan Limbah mempunyai tugas melakukan pengelolaan limbah radioaktif dan limbah B3 di fasilitas.

Dari uraian tugas tersebut maka tugas proteksi dan keselamatan radiasi berada di subbidang Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi (KKPR). Tugas subbidang KKPR terdiri dari pengendalian personel, pengendalian daerah kerja dan keselamatan kerja umum (non radiasi). Pengendalian personel di PTRR, terdiri dari pemantauan dosis radiasi personel, baik dosis radiasi eksternal [2] maupun internal [3], pemantauan tingkat kontaminasi personel, pemantauan penggunaan perlengkapan proteksi radiasi personel, pengendalian lalu lintas pekerja radiasi di Laboratorium Radioisotop dan Radiofarmaka (LRR) dan kalibrasi alat ukur radiasi. Pengendalian personel dilakukan oleh beberapa staf subbidang KKPR agar tugas yang ada dapat dibagi habis dan dapat dilaksanakan dengan baik sesuai profesi masing-masing staf sebagai Petugas Proteksi Radiasi (PPR).

Manajemen PTRR telah menyusun Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi [4] agar semua kegiatan di lingkungan PTRR dapat berjalan dengan aman dan selamat, baik pekerja radiasi yang berada di PTRR maupun pekerja non radiasi serta tamu dijamin aman dan selamat di tempat kerja PTRR.

Tugas pengendalian personel terdiri dari pemantauan dosis radiasi eksternal dan pemantauan dosis radiasi internal. Pemantauan dosis radiasi internal merupakan bagian dari pengendalian penerimaan dosis seluruh tubuh pekerja radiasi. Dosis radiasi internal dengan *whole body counter* (WBC) dan *sample urine* selanjutnya akan diinputkan pada penerimaan dosis radiasi seluruh tubuh sehingga dosis seluruh tubuh terdiri dari penjumlahan dosis radiasi eksternal dengan *thermoluminescent dosimeter* (TLD) dari dosis radiasi internal hasil pemeriksaan *sample urine* dan pemeriksaan tubuh pekerja radiasi dengan WBC.

Setiap pekerja radiasi PTRR wajib mengikuti pemeriksaan dosis radiasi internal dengan WBC minimal satu kali dalam satu tahun. Pemeriksaan dosis radiasi dengan WBC untuk setiap pekerja radiasi PTRR diperlukan karena sebagian besar pekerja radiasi PTRR bekerja dengan sumber radiasi terbuka. Penanganan sumber radiasi terbuka berpotensi menimbulkan penerimaan dosis radiasi internal.

Penerimaan dosis radiasi internal baik secara langsung dengan WBC maupun tidak langsung dengan pemeriksaan *sample urine* selama 10 tahun akan dianalisis



untuk mengetahui pengaruh penerimaan dosis radiasi interna tersebut terhadap dosis seluruh tubuh (baik ekstena maupun interna).

## METODE PERCOBAAN

### Bahan dan Alat

Pengendalian dosis radiasi personel, terdiri dari penerimaan dosis radiasi eksterna dengan TLD dan dosis radiasi interna baik secara langsung dengan WBC maupun dosis radiasi interna dengan pemeriksaan *sample urine* pekerja radiasi.

### Tata Kerja

Penerimaan dosis radiasi interna tertinggi akan dianalisa kontribusinya terhadap dosis radiasi seluruh tubuh setiap tahun pada personel yang menerima dosis radiasi interna tertinggi tersebut. Selanjutnya, akan dihitung kontribusi terendah dan tertinggi penerimaan dosis radiasi interna terhadap penerimaan dosis seluruh tubuh.

Kecenderungan pengaruh kontribusi dosis radiasi interna terhadap dosis seluruh tubuh dilakukan dari data sepuluh tahun untuk memberikan keakuratan pengaruhnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut tahap kegiatan pemantauan dosis radiasi interna dengan WBC [3] di LRR.

- 1) Penyusunan daftar nama.
- 2) Pembuatan surat permohonan pemeriksaan WBC pekerja radiasi PTRR per triwulan.
- 3) Pembuatan surat undangan WBC.
- 4) Pemantauan pelaksanaan pemeriksaan WBC.
- 5) Penerimaan hasil pemeriksaan WBC dari PPIKSN.
- 6) Dokumentasi atau pencatatan data dosis radiasi interna pada kartu dosis.

Berikut tahap kegiatan pemantauan dosis interna dengan *sample urine* di LRR.

- 1) Penyusunan daftar nama pekerja yang akan diperiksa *sample urine*-nya.
- 2) Pembuatan surat permohonan pemeriksaan *sample urine* pekerja radiasi PTRR per triwulan.
- 3) Penyiapan wadah dan label wadah *sample urine*.
- 4) Pengumpulan *sample urine*.
- 5) Pengiriman *sample urine* ke PPIKSN.
- 6) Penerimaan hasil pemeriksaan *sample urine*.
- 7) Dokumentasi atau pencatatan data dosis radiasi interna pada kartu dosis.

Selanjutnya, Petugas Proteksi Radiasi (PPR) melakukan evaluasi dosis radiasi interna pekerja radiasi PTRR.



- 1) Menerima data dosis radiasi interna.
- 2) Menginput data pada formulir rekapitulasi dosis.
- 3) Menginput data pada kartu dosis elektronik.
- 4) Menginput data pada kartu dosis manual.
- 5) Menganalisa data dengan membandingkan dosis radiasi setiap pekerja radiasi dengan pembatas dosis per triwulan.
- 6) Jika terdapat ketidaksesuaian maka dilakukan perhitungan untuk manajemen penerimaan dosis radiasi pada triwulan selanjutnya.

Data hasil evaluasi disusun dalam laporan evaluasi dosis radiasi personel setiap tahun. Tabel 1 dan Tabel 2 pada lampiran menunjukkan rekapitulasi data penerimaan dosis radiasi interna dengan WBC dan *sample urine* maksimum pekerja radiasi PTRR tiap bidang.

Dalam melakukan analisis terhadap penerimaan dosis radiasi interna maka dilakukan penelusuran pekerja radiasi yang menerima dosis radiasi maksimum, seperti terlihat pada Tabel 3 dan 4.

**Tabel 3.** Dosis Maksimum WBC dari Tahun 2011–2020 [5]

No	Tahun	Dosis maksimum (mSv)	Kode
1	2011	0,95	Moe
2	2012	2,20	B P
3	2013	1,70	B P
4	2014	0,50	B P
5	2015	0,15	B P
6	2016	0,13	B P
7	2017	0,35	Ma
8	2018	0,036	Hb
9	2019	0,11	A H G
10	2020	0,036	A F

**Tabel 4.** Dosis Maksimum Hasil Pemeriksaan *Sample Urine* dari 2011–2020 [6]

No	Tahun	Dosis maksimum (mSv)	Kode
1	2011	0,20	A A
2	2012	0,30	He
3	2013	0,20	He
4	2014	0,02	He
5	2015	0,01	Y S
6	2016	0,01	SI
7	2017	0,02	Hb
8	2018	0,02	A R P
9	2019	0,02	E L
10	2020	0,02	A J





Dari data pada Tabel 3 dan 4 terlihat dalam kolom kode menunjukkan bahwa hanya terdapat satu kode yang sama, yaitu Hb. Pada Tabel 3 dosis maksimum WBC yang diterima dengan kode Hb terjadi pada tahun 2018, sedangkan Tabel 4 dosis maksimum hasil pemeriksaan *sample urine* yang diterima Hb pada tahun 2017. Hal ini menandakan bahwa penerimaan maksimum tidak terjadi pada satu orang yang sama dalam tahun yang sama sehingga penambahan atau akumulasi dosis seluruh tubuh tidak ditambahkan kepada dosis maksimum ekterna dan dosis interma maksimum, baik melalui pemeriksaan WBC maupun pemeriksaan *sample urine*. Dosis radiasi maksimum WBC atau *sample urine* akan ditambahkan pada penerimaan dosis radiasi seluruh tubuh atau ekterna sesuai dengan kode yang ada. Misal dosis radiasi maksimum WBC sebesar 2,20 mSv pada tahun 2012 hanya ditambahkan pada penerimaan dosis radiasi ekterna [7] atas personel dengan kode BP. Selanjutnya, perhitungan dilakukan dengan cara yang sama sehingga menghasilkan data sebagai berikut.

**Tabel 5.** Perhitungan Dosis Maksimum Seluruh Tubuh Setelah Penambahan Dosis Maksimum

No	Tahun	Kode	Dosis (mSv)
1	2011	Moe	$0,95 + 0,20 = 1,15$
2	2011	AA	$0,20 + 0,35 = 0,55$
3	2012	BP	$2,20 + 0,14 = 2,34$
4	2012	He	$0,30 + 2,52 = 2,82$
5	2013	BP	$1,70 + 0,03 = 1,73$
6	2013	He	$0,20 + 1,19 = 1,39$
7	2014	BP	$0,50 + 0,03 = 0,53$
8	2014	He	$0,02 + 1,74 = 1,76$
9	2015	BP	$0,15 + 0,03 = 0,18$
10	2015	YS	$0,01 + 4,94 = 4,95$
11	2016	BP	$0,13 + 0,06 = 0,19$
12	2016	SI	$0,01 + 6,26 = 6,27$
13	2017	Ma	$0,35 + 0,33 = 0,68$
14	2017	Hb	$0,02 + 1,11 = 1,13$
15	2018	Hb	$0,036 + 1,76 = 1,796$
16	2018	ARP	$0,02 + 0,80 = 0,82$
17	2019	AHG	$0,11 + 2,96 = 3,07$
18	2019	EL	$0,02 + 2,84 = 2,86$
19	2020	AF	$0,036 + 1,93 = 1,996$
20	2020	AJ	$0,02 + 0,38 = 0,40$

Jika dihitung persentasi pengaruh terendah dari dosis interna adalah  $0,01:6,27 \times 100\% = 15,95\%$  dan perhitungan persentase tertinggi adalah  $1,70:1,73 \times 100\% = 98,27\%$  dibanding dengan dosis interna tertinggi 2,20 mSv yang memberikan pengaruh  $2,20:2,34 \times 100\% = 94,02\%$ .



## KESIMPULAN

Hasil analisis pengaruh dosis radiasi interna, baik dari pemeriksaan seluruh tubuh pekerja radiasi dengan *Whole Body Counter* (WBC) maupun pemeriksaan *sample urine* terhadap penerimaan dosis radiasi seluruh tubuh dari tahun 2011 sampai 2020 memperlihatkan bahwa dosis radiasi interna sekecil apapun memberikan kontribusi penambahan terhadap dosis radiasi seluruh tubuh dari 15,94% sampai 98,28%.

Dosis radiasi seluruh tubuh maksimum 6,27 mSv ini tidak melebihi Nilai Batas Dosis (NBD) sebesar 20 mSv dan tidak melebihi Pembatas Dosis (*dose constrain*) sebesar 15 mSv [8] sehingga pekerja radiasi yang bekerja di PTRR bekerja dengan aman, selamat, dan sehat.

Pekerja radiasi yang terlibat dalam proses penelitian dan pengembangan radioisotop dan radiofarmaka yang langsung bekerja dengan sumber radiasi terbuka harus bekerja dengan lebih hati-hati agar dalam bekerja dengan radiasi tidak menimbulkan dosis radiasi interna.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Kepala Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PTRR), Koordinator Bidang Keselamatan dan Pengelolaan Limbah (KPL), Koordinator Subbidang Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi (KKPR), dan teman-teman Bidang Keselamatan dan Pengelolaan Limbah atas bantuan bapak/ibu hingga tersusunnya makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] BATAN, "Peraturan Kepala BATAN Nomor 16 Tahun 2014 tentang Perubahan atas Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional nomor 14 Tahun 2013 tentang Organisasi dan Tata Kerja Badan Tenaga Nuklir Nasional," Jakarta 2014.
- [2] Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka, "SOP pemantauan dosis radiasi eksternal," Serpong, 2017.
- [3] Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka, "SOP pemantauan dosis radiasi interna," Serpong, 2017
- [4] Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka, "Program proteksi dan keselamatan radiasi PTRR tahun 2015," Serpong 2015.
- [5] Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka, "Rekapitulasi data dosis interna dengan WBC dari tahun 2011–2020," Serpong 2020.
- [6] Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka, "Rekapitulasi data dosis pemeriksaan *sample urine* dari tahun 2011–2020," Serpong 2020.
- [7] Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka, "Rekapitulasi data dosis eksternal tahun 2011–2020," Serpong, 2020
- [8] Djarwanti, "Perhitungan dose constrain PTRR," Serpong, 2015.



## LAMPIRAN

**Tabel 1.** Data dosis radiasi interna maksimum dari pemantauan dosis radiasi interna dengan *Whole Body Counter (WBC)* dari tahun 2011–2020 pekerja radiasi Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka.

No.	BIDANG	DOSIS RADIASI INTERNA MAXIMUM (m Sv)									
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	TRI	0,95	<b>2,20</b>	1,70	0,09	0,15	0,13	0,00	0,036	0,05	0,030
2	TRF	0,36	1,60	0,55	0,00	0,02	0,00	0,35	0,032	0,014	0,036
3	PFPR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00
4	KPL	0,00	0,00	0,52	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,011
5	UJM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**Tabel 2.** Data dosis radiasi interna maksimum dari pemeriksaan *sample urine* dari tahun 2011–2020 pekerja radiasi Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka.

No.	BIDANG	DOSIS RADIASI INTERNA MAXIMUM (m Sv)									
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	TRI	0,00	<b>0,30</b>	0,20	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00
2	TRF	0,20	0,10	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
3	PFPR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02
4	KPL	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,0
5	UJM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02



KL-007

## VIBRATION TEST WITH ACCELERATION FOR PORTAL RADIATION MONITOR BASED ON SNI IEC 62244:2016

D. Intaningrum, I.D. Junianto, R.L. Tyas, dan M. Amin

### ABSTRAK

Portal monitor radiasi (RPM) karena proses sertifikasi harus diuji sesuai SNI IEC 62244:2016. Standar ini memerlukan beberapa pengujian untuk diterapkan, seperti uji mekanik yang dilakukan dengan uji getaran. Persyaratan yang harus dipenuhi adalah tidak ada alarm atau perubahan lain yang terjadi selama proses indikasi monitor yang bervariasi tidak lebih dari 15%, dan tidak ada kerusakan pada komponen monitor. RPM diuji dalam kondisi operasi dan terkena sumber radiasi. Sumber radioaktif diatur 50 cm dari titik referensi. Pada uji frekuensi, RPM diberi beban harmonik  $0,5 g_n$  selama 10 menit dengan frekuensi yang dinaikkan secara bertahap dari 10 Hz menjadi 150 Hz, kemudian menurun dari 150 Hz menjadi 10 Hz pada masing-masing arah ortogonal ( $x, y$ , dan  $z$ ). Ketahanan selama pengiriman diuji dengan memberikan beban harmonik sebesar  $2 g_n$  selama 15 menit dalam tiga arah ortogonal ( $x, y$ , dan  $z$ ). Frekuensi untuk setiap rentang adalah 10 Hz hingga 21 Hz, dan 22 Hz hingga 33 Hz. Hasil dari semua pengujian menunjukkan bahwa RPM memenuhi semua persyaratan.

**Kata Kunci:** Portal Monitor Radiasi; SNI IEC 62244:2016; Uji Getaran; Beban Harmonik; Arah Orthogonal.

### ABSTRACT

*Radiation portal monitor (RPM) due to the certification process should be tested according to SNI IEC 62244:2016. This standard required several tests to be applied such as mechanical shock that was conducted by vibration test. The requirement that should be complied with is no alarms or other changes happening during the process, the varying indications of the monitor are not more than 15%, and no damage to the monitor component. RPM was tested in operating conditions and was exposed to radiation sources. Radioactive sources are set 50 cm from the reference point. For frequency test, RPM was given harmonic load  $0,5 g_n$  for 10 minutes with frequencies that increase gradually from 10 Hz to 150 Hz then decreases from 150 Hz to 10 Hz in each orthogonal direction ( $x, y$ , and  $z$ ). The durability while shipping was tested by giving a harmonic load of  $2 g_n$  for 15 minutes in three orthogonal directions ( $x, y$ , and  $z$ ). The frequencies for each range are 10 Hz to 21 Hz, and 22 Hz to 33 Hz. The result of all tests indicated that RPM complies with all of the requirements.*

**Keywords:** *Radiation Portal Monitor; SNI IEC 62244:2016; Vibration Test; Harmonic Load; Orthogonal Direction.*

D. Intaningrum, I. D. Junianto, R. L. Tyas, & M. Amin

\*Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi dan Mutu Nuklir BRIN, e-mail: dinn002@brin.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

D. Intaningrum, I. D. Junianto, R. L. Tyas, & M. Amin, "Uji getaran dengan percepatan untuk portal monitor radiasi berdasarkan SNI IEC 62244:2016," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 21, pp. 213–224, DOI: 10.55981/brin.690.c662, E-ISBN: 978-623-8372-02-7



## INTRODUCTION

The nuclear industry increased rapidly in a lot of aspects, such as medicine, computed tomography, non-destructive test, and x-ray imaging [1]. Proportional to these conditions, transport of nuclear material or nuclear sources become high securities issues. Transport around international borders has been performed cargo screening using Radiation Portal Monitors (RPMs) [2].

RPM is a detector designed to examine radioactive sources/materials carried out by people or vehicles passing through the detection areas. RPM is commonly installed at checkpoints of port, airport, industry, and health facilities to ensure the security entry and exit of goods related to nuclear material or sources [3].

In Indonesia, RPMs are still imported. If there are some troubles, we have to call an expert and costs a lot of money. Due to these concerns, the National Research and Innovation Agency of Indonesia (BRIN) developed prototypes of RPM. Indonesian RPM was made from NaI(Tl) Sodium Iodide crystal scintillators detectors [4].

Due to the certification process, RPM should be tested according to SNI IEC 62244:2016. This standard required several tests to be applied such as mechanical shock that was conducted by vibration test [5].

Previous researchers have been done for testing the performance of RPM [1], distribution of energy [6], and the effect of natural gamma background [7]. Mechanical test for RPM still has limited references even though this research is important.

The mechanical test proved that RPM can withstand without affecting its performance. While operating, the mechanical shock (half-sine) was given in any direction at an acceleration of  $300 \text{ m/s}^2$ . The time interval for the acceleration is 6 milliseconds. After the test, RPM should be checked if there are some loose and damaged components [5].

This test also giving assured that RPM is safe while shipping. The vibration while shipping is affected by several factors such as the condition of the roads and vehicles that were used. The position of RPM while shipping is also affected by vibration and acceleration [8].

Aside from shipping, this test also assured that RPM is safe when comes to the earthquake. Indonesia is the meeting point of the Pacific, Eurasian and Indo-Australian plates. If these three plates experience several conditions such as shifting, braking, or sticking up, it will cause an earthquake. So, the aim of this paper is forgiving prove that Indonesian RPM meets the requirement of the vibration test according to SNI IEC 6224: 2016.



## MATERIALS AND METHODS

### Materials and Equipment

RPM was made from scintillator plastic NaI(Tl) Sodium Iodide crystal detectors and followed the requirement in IAEA-TECDOC-1312. The NaI(Tl) detector has a high ability to detect gamma-ray radiation and was integrated with a multichannel analyzer (MCA). The complete basic design and specification have been described in the previous research by other researchers [9].

This RPM was designed for vehicles with a maximum height of 220 cm and the detection zone is height 220 cm, length 62 cm, and wide 320 cm. The configuration of the RPM can be described in the picture below:



**Figure 1.** The Configuration of RPM [4]

The equipment used for the vibration test was a Vibrator combo system (LDS / Bruel & Kjaer) with V850-440 HBT900C models. For accelerating used Bruel & Kjaer Accelerometer, 4508 models. The temperature and humidity were constant.



## Methods

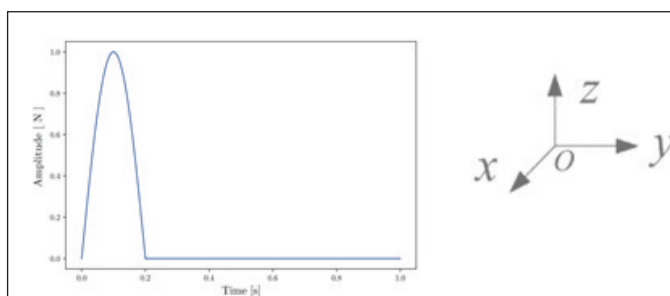
This research accordance with SNI IEC 62244:2016 for vibration test. While operating, the mechanical shock (half-sine) was given to RPM from all of the directions (x, y, and z) at an acceleration of  $300 \text{ m/s}^2$ . The time interval for the acceleration is 6 milliseconds. This test was conducted 10 times while observing the function of the monitor. After these tests, RPM should be checked if there are some loose and damaged components [5].

The requirement for vibration tests based on standards are:

1. No alarms or others change happened during the process
2. The varying indications of the monitor not more than 15%
3. No damage to the monitor component [5].

For the purpose above, the research was conducted with the method as followed:

1. RPM should be in operating conditions.  
That is why RPM should be exposed to sufficient radiation sources to minimize the effect of statistical fluctuations. Radioactive sources are set 50 cm from the reference point. The count rate and average count rate should be recorded and determined.
2. Frequency Test  
RPM was given harmonic load  $0,5 g_n$  with the frequency that increases gradually from 10 Hz to 150 Hz then decreases from 150 Hz to 10 Hz in each orthogonal direction (x,y, and z). For every cycle, the time recommendation is 10 minutes. The average result must be determined and recorded during the vibration.
3. Durability to vibration during shipping  
The endurance of RPM during shipment was tested by giving a harmonic load of  $2 g_n$  for 15 minutes in three orthogonal directions (x,y, and z). The frequencies for each range are 10 Hz to 21 Hz, and 22 Hz to 33 Hz. However, if there is a mechanical resonance in point (a) the frequency was selected among the resonant frequencies. The average of the geometric exposure should be determined [5].



**Figure 2.** Normalize Half-Sine Impulse [10] and the Direction of the Test



**Figure 3.** Test Set Up – Vibration (X-axis) Left, and (Y-axis) Right



**Figure 4.** Test Set Up – Vibration (Z-axis)

Buku ini tidak diperjualbelikan.



## RESULT AND DISCUSSION

### Accelerated vibration at $300 \text{ m/s}^2$ with $0,5 g_n$ Harmonic Load

The test was conducted with half-sine mechanical shock for all the directions. From the result of the test in Fig 5a and 5c, we can conclude that in the x and y-axis RPM was vibrated throughout the testing process. In the x-axis, there were two high peaks with  $g_n \pm 2,9000$  and  $\pm 2,5500$  while in the y-axis there were 5 high peaks with  $g_n \pm 6,5000$ ;  $8,000,0$  and  $7,0000$ .

The peak indicated the amplitude/ displacement of the wave. It means that RPM moving and displace caused by accelerated vibration. The trend in the x and y-axis was quite similar but with a different impact on RPM based on the amplitude.

The trend of the graph on the z-axis was different from the x and y-axis. It was because the vibration tends to up and down in the z-axis. From Fig 6c we could conclude that only one peak was indicated. The highest peak happened after 1 minute with  $g_n \pm 0,9750$ .

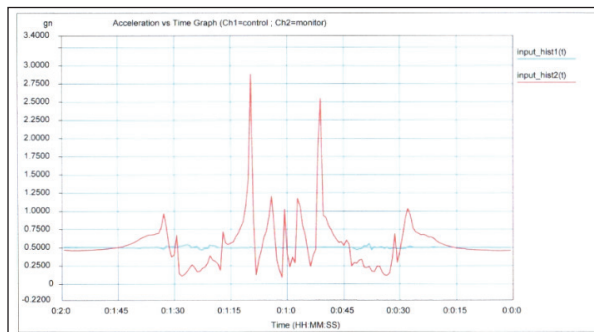


Figure 5a. Acceleration vs Time Graph (x-axis)

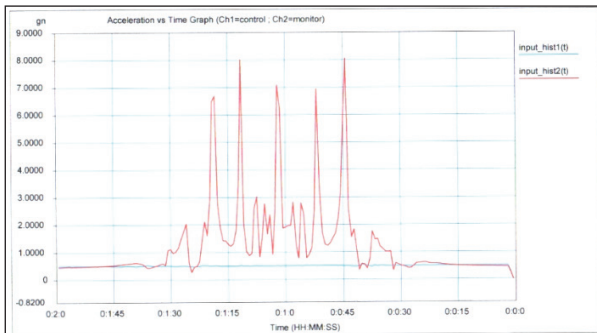


Figure 5b. Acceleration vs Time Graph (y-axis)

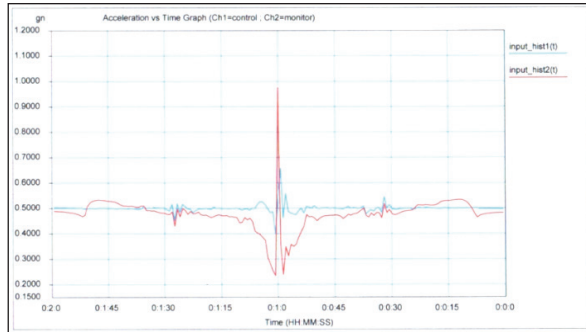


Figure 5c. Acceleration vs Time Graph (z-axis)

### Frequency Scan

The frequency scan conducted by increases and decreases the frequency gradually as shown in Figure 6.

The transmissibility test was also conducted and documented in Figure 7a, 7b, and 7c. The harmonic load for the test was determined from the first peak shown in Fig. 5a, 5b, and 5c. The resonance frequency of the three directions were x-axis = 68 Hz, y-axis = 39 Hz, z-axis = 142 Hz.

Along this process, there were No alarms or other changes that happened. That is why we could conclude that for this test RPM meets the requirement.

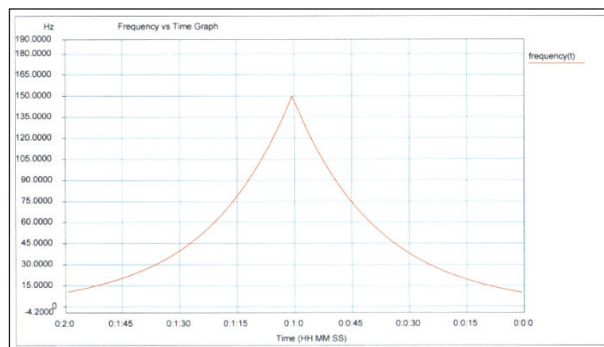


Figure 6. Frequency vs Time Graph (x, y, and z-axis)

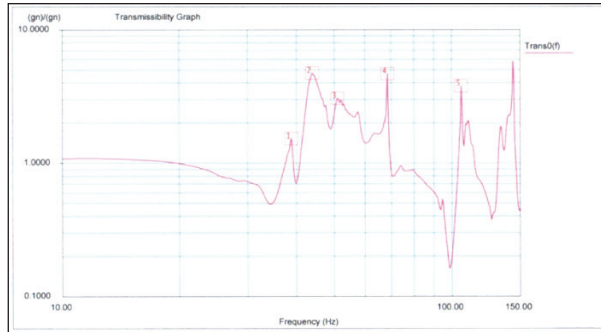


Figure 7a. Transmissibility Graph (x-axis)

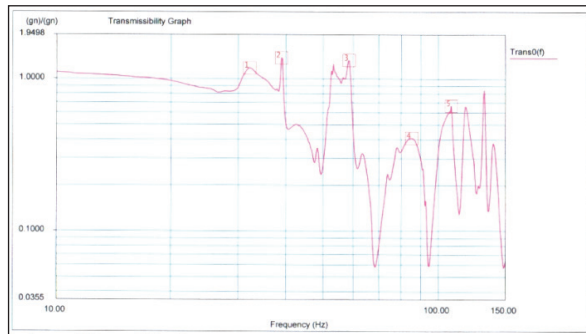


Figure 7b. Transmissibility Graph (y-axis)

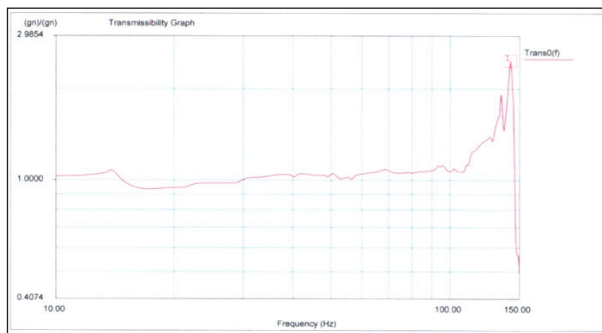
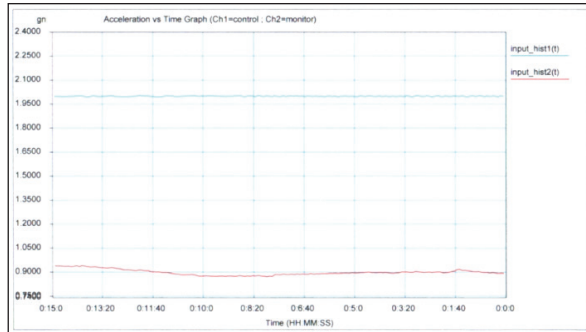


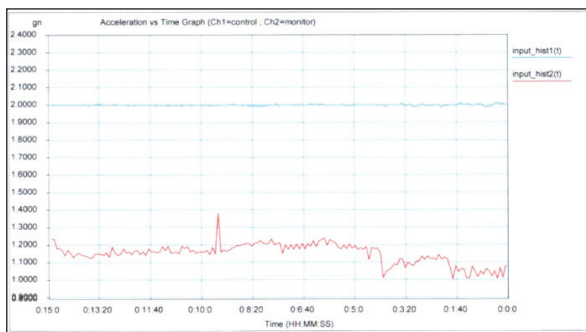
Figure 7c. Transmissibility graph (y-axis)

### Durability to vibration during shipping

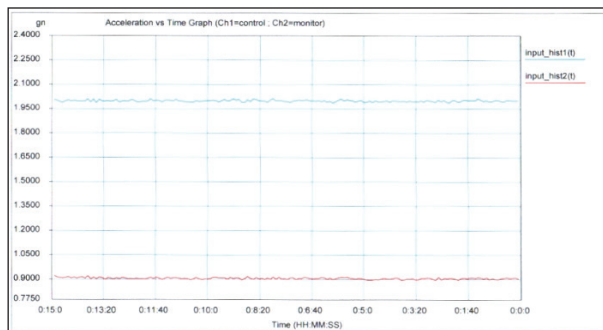
From the result of the test that was shown in Figure 8a, 8b, and 8c we could conclude that RPM was safe during the shipment. The RPM in the x, y, and z-axis vibration was not much affected.



**Figure 8a.** Endurance Test – Acceleration vs Time Graph (x-axis)



**Figure 8b.** Endurance Test – Acceleration vs Time Graph (y-axis)

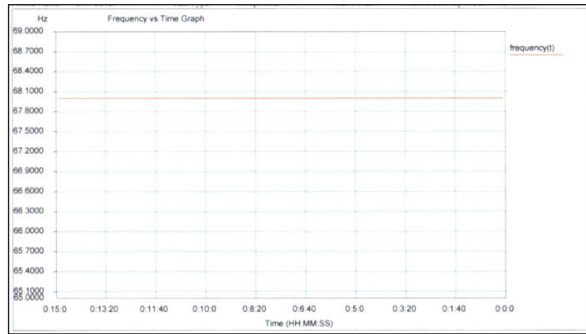


**Figure 8c.** Endurance Test – Acceleration vs Time Graph (z-axis)

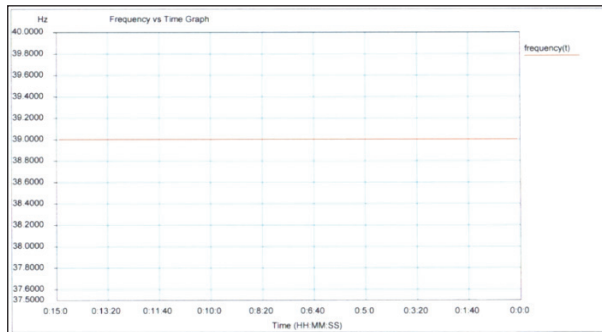
For determining the deviation of the enumeration result of the RPMs was conducted by vibration test at the resonance frequency for 15 minutes. The deviation of the average enumeration in the RPM monitor's before and after vibrating was less than 15% that means RPM meet the requirement of the standards. The result can be seen in Table 1.



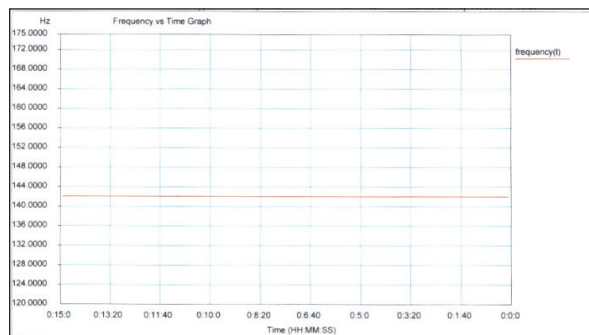
Due to the mechanical resonance was found in the test, the geometric exposure was conducted by endurance test for each frequency at each orthogonal direction. The result can be seen in Fig. 9a, 9b, and 9c.



**Figure 9a.** Endurance Test – Frequency vs Time Graph (x-axis)



**Figure 9b.** Endurance Test – Frequency vs Time Graph (y-axis)



**Figure 9c.** Endurance Test – Frequency vs Time Graph (z-axis)



**Table 1.** Vibration Measurement Result

Frequency	Average Initial Value	Average Final Value	Deviation (%)
68	1749	1986	13,5
39	1886	1879	0,4
142	1487	1497	0,6

For all the tests that have been conducted, RPM meets all of the requirements of the mechanical shock SNI IEC 62244:2016. The summary of the test can be seen in Table 2.

**Table 2.** Result of the Vibration Test

No.	Requirement - Test	Result
1.	Frequency scan	
	No alarm or other changes in operation while vibration exposure	No alarm and other changes
	Resonance frequency	
	X-axis	68 Hz
	Y-axis	39 Hz
2.	Z-axis	142 Hz
	Durability to vibration during shipping	
	The result should not vary by more than 15% of the reference value	< 15%
	The physical of a monitor is not affected by vibration	The monitor was not affected

## CONCLUSION

In this research, RPM was tested for mechanical shock based on SNI IEC 62244:2016 and shown that it's meet all the requirements. There were no alarms or other changes during the vibration, the durability of RPM during shipping also was not affected. The resonance frequencies were found in this research for each orthogonal direction ( $x = 68$ ,  $y = 39$ , and  $z = 142$ ).

## ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank PRSMN, P2SMTP LIPI, and PRFN for permission to use data and documents.

## REFERENCES

- [1] J. Yoo dkk., "Evaluation of performance characteristics of portal monitor for radiation emergency," *Appl. Radiat. Isot.*, vol. 156, October 2019, 2020, doi: 10.1016/j.apradi-so.2019.109015.
- [2] B. Tack dkk., "Development of a radionuclide identification algorithm based on a convolutional neural network for radiation portal monitoring system," *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 180, May 2020, p. 109300, 2021, doi: 10.1016/j.radphyschem.2020.109300.
- [3] M. W. Nugraheni, "Pentingnya pengaturan mengenai keamanan nuklir dalam suatu undnag-undang," *Semin. Keselam. Nukl.*, pp. 1–7, 2016, [Online]. Tersedia: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/50/022/50022717.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/50/022/50022717.pdf).



## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

- [4] C. Series, "Design of the controller module of mobile carrier radioactive source Design of the controller module of mobile carrier radioactive source," 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1436/1/012074.
- [5] Standar Nasional Indonesia, "Instrumentasi proteksi radiasi - Monitor radiasi yang terpasang untuk deteksi bahan nuklir khusus dan radioaktif di perbatasan wilayah," SNI IEC 62244: 2016.
- [6] T. Grisa dan D. Sas, "On the ratio distribution of energy windowing algorithms for radiation portal monitors," *Appl. Radiat. Isot.*, vol. 132, September 2017, pp. 195–199, 2018, doi: 10.1016/j.apradiso.2017.12.005.
- [7] M. Weiss dkk., "Effect of natural gamma background radiation on portal monitor radioisotope unmixing," *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, vol. 1002, March, p. 165269, 2021, doi: 10.1016/j.nima.2021.165269.
- [8] I. Fernando dkk., "Developing an accelerated vibration simulation test for packaged bananas," *Postharvest Biol. Technol.*, vol. 173, September 2019, p. 111400, 2021, doi: 10.1016/j.postharvbio.2020.111400.
- [9] A. Cahyono, J. Triyanto, dan D. Handoyo, "Desain dasar portal monitor radiasi untuk kendaraan," *Prima*, vol. 11, no. 1, pp. 32–43, 2014.
- [10] P. Ogrinec dkk., "Vibration fatigue at half-sine impulse excitation in the time and frequency domains," *Int. J. Fatigue*, vol. 123, February, pp. 308–317, 2019, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2019.02.031.



KL-008

## PENGUKURAN RADON DENGAN TEKNIK *GRAB* DAN *SNIFF* MENGGUNAKAN RAD7: STUDI PERBANDINGAN METODE

M.F. Ramadhani, R. Prasetyo, dan N. Laksmiingpuri

### ABSTRAK

Telah dilakukan pengukuran aktivitas radon dengan 2 metode, yaitu metode *grab* dan *sniff* di lokasi Cilandak dan Pondok Aren menggunakan RAD7. Penelitian ini bertujuan untuk melihat kemampuan 2 metode pengukuran aktivitas radon secara cepat menggunakan RAD7. Gas radon diukur menggunakan metode *sniff* dan metode *grab* dengan memasukkan *steel soil probe* sedalam 0,80 meter. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa metode *grab* memiliki aktivitas yang lebih tinggi dibandingkan metode *sniff* pada lokasi yang sama. Data yang dihasilkan kemudian dianalisis secara statistik menunjukkan nilai standar deviasi (SD) yang lebih tinggi pada metode *sniff*. Perbandingan kedua metode pada kedua lokasi menggunakan koefisien variasi (CV) menunjukkan metode *grab* memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan metode *sniff*. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa metode *sniff* memiliki kemampuan yang lebih baik dibandingkan metode *grab* dalam hal pengukuran aktivitas radon secara cepat karena efisiensi dan relatif lebih stabil dalam pengukurannya. Metode *grab* akan lebih baik jika digunakan dalam monitoring aktivitas radon dengan periode waktu di atas 50 menit.

**Kata Kunci:** Radon; Rad7; Metode; *Grab*; *Sniff*.

### ABSTRACT

*The measurement of radon activity has been carried out using 2 methods, grab and sniff method at Cilandak and Pondok Aren using RAD7. This study aims to see the ability of 2 methods of measuring radon activity quickly using RAD7. Radon gas was measured using the sniff method and the grab method by inserting a steel soil probe to a depth of 0.80 meters. The measurement results show that the grab method has higher activity than the sniff method at the same location. The resulting data was then statistically analyzed showing a higher standard deviation (SD) value for the sniff method. Comparison of the two methods at both locations using the coefficient of variation (CV) shows that the grab method has a smaller value than the sniff method. Based on the results of the analysis that has been carried out, it can be concluded that the sniff method has a better ability than the grab method in terms of measuring radon activity quickly because of its efficiency and relatively more stable in its measurement. The grab method would be better if used in monitoring radon activity with a time period of more than 50 minutes.*

**Keywords:** Radon; Rad7; *Grab*; *Sniff*.

---

M. F. Ramadhani, R. Prasetyo, & N. Laksmiingpuri

\*Pusat Riset Teknologi Deteksi Radiasi dan Analisis Nuklir BRIN, e-mail: moch046@brin.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

M. F. Ramadhani, R. Prasetyo, dan N. Laksmiingpuri, "Pengukuran radon dengan teknik *grab* dan *sniff* menggunakan RAD7: studi perbandingan metode," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 22, pp. 225–232, DOI: 10.55981/brin.690.c663, E-ISBN: 978-623-8372-02-7





## PENDAHULUAN

Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) merupakan salah satu unsur gas mulia yang memiliki waktu paruh sekitar 3,8 hari bersifat inert, tidak berbau dan tidak berwarna ini terbentuk secara alami hasil dari rantai peluruhan uranium-238. Karakteristik lain yang dimiliki oleh radon, yaitu kestabilannya tinggi ciri dari unsur golongan VIIIA yang mengakibatkan radon sangat sukar untuk bereaksi dengan unsur lain. Kemunculan radon ke permukaan diakibatkan oleh gas (misal,  $\text{CO}_2$ ) dan fluida sebagai *carriers* radon [1],[2].

Saat ini pengukuran gas radon banyak dimanfaatkan dalam berbagai sektor, seperti eksplorasi uranium, penentuan area patahan atau zona rekahan dalam eksplorasi panas bumi, efek radon terhadap kesehatan paru-paru, bahkan penelitian radon sebagai prekursor gempa bumi [3]. Penelitian radon pada eksplorasi panas bumi ini berkaitan dengan manifestasi pada zona permeabel yang diindikasikan oleh zona rekahan atau patahan. Keberadaan zona rekahan ini dapat mengindikasikan jalur migrasi dari fluida panas bumi yang dapat diketahui dengan pengukuran aktivitas radon, di mana lokasi yang memiliki aktivitas tinggi menunjukkan ciri dari zona rekahan [4].

Penelitian mengenai pengukuran radon telah banyak dilakukan dengan menggunakan berbagai macam instrumentasi yang beredar secara komersil. Penelitian N.M. Ershaidat, dkk. mengungkapkan bahwa detektor bertipe aktif (RAD7) lebih baik dibanding dengan tipe detektor pasif (CR-49) [5]. Perbandingan lain antara RAD7, *Scout Detector*, dan CR-39 menunjukkan bahwa hasil pengukuran RAD7 mendekati nilai sebenarnya berdasarkan sumber radon dari radium [6]. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan RAD7 memiliki kemampuan lebih baik dibanding yang lain.

Permasalahan yang terjadi di lapangan, yaitu pemilihan metode yang tepat pada kondisi tertentu dengan mempertimbangkan keakuratan, ketepatan, dan efisiensi waktu pengukuran. Pengambilan sampel gas radon yang sering dilaksanakan, yaitu dengan metode *grab* dan metode *sniff*. Kedua metode ini memiliki perbedaan dalam *counting* di mana *grab* akan melakukan *counting* ketika selesai pengambilan sampel gas radon, sedangkan metode *sniff* proses *counting* akan berjalan seiring pompa alat bekerja [7].

Penelitian ini bertujuan untuk melihat perbedaan kemampuan RAD7 dalam melakukan pengukuran aktivitas radon secara cepat dengan menggunakan metode *grab* dan *sniff* melalui lokasi dan perlakuan yang sama. Data aktivitas radon yang diperoleh kemudian dianalisis secara statistik untuk melihat hasil dari pengukuran kedua metode tersebut sehingga dapat diketahui metode mana yang lebih akurat dan efisien dalam melakukan sampling gas radon. Berikut kelemahan dan kelebihan masing-masing metode tersebut.



## METODE PERCOBAAN

### Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *dessicant-anhydrous indicating drierite* ukuran 8 mesh, *vinyl tubing*, *Titan3 nylon syringe filter* 0,45 $\mu$ m, *steel soil gas probe*, dan *electronic radon detector* RAD7 buatan DurrIDGE.

### Tata Kerja

#### *Preparasi Titik Sampling Gas Radon*

Besi pejal ditancapkan pada titik sampling yang akan diukur sedalam 60 cm, kemudian besi pejal diangkat dan dimasukkan *steel soil gas probe* ke dalam lubang tanah. Hal ini untuk menghindari terlepasnya gas radon ke udara tutup celah lubang di sekitar lubang dengan tanah yang dipadatkan.

#### *Pengondisian RAD7*

RAD7 buatan DurrIDGE ini dilengkapi dengan detektor *solid-state* dan *chamber*. Sebelum digunakan, RAD7 memiliki ambang batas kelembapan yang dianjurkan, yaitu <10%. Menurunkan kelembapan ini dilakukan prosedur *purgings*, ada 2 metode *purgings*, yaitu *open loop* dan *close loop*. Penggunaan metode *close loop* dapat meminimalisasi penggunaan *drierite* karena kelembapan yang diserap akan lebih sedikit dan lebih efektif dalam menurunkan kelembapan RAD7 hingga <10% jika dibandingkan metode *open loop*.

#### *Pengukuran Aktivitas Gas Radon dalam Tanah dengan Metode Grab*

Pengukuran aktivitas radon diawali dengan proses *purgings* secara *open loop* terhadap lubang sampel yang bertujuan untuk mendorong sisa gas yang terdapat dalam *chamber* keluar dari RAD7. Pada metode *grab* RAD7 akan memompa gas yang ada di dalam lubang titik sampling. Sebelum dicacah, gas akan melalui *vinyl tubing*, *drierite tube*, dan *filter*. Kemudian set protokol untuk metode *grab* dengan mengubah mode tes menjadi *Grab*. Metode *grab* dilakukan selama 5 menit kemudian RAD7 akan mencacah sampel gas.

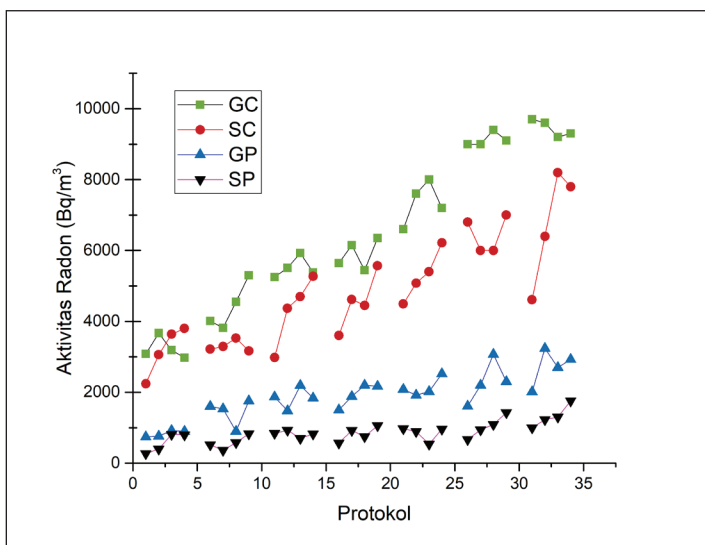
#### *Pengukuran Aktivitas Gas Radon dalam Tanah dengan Metode Sniff*

Prosedur yang sama diterapkan juga pada metode *sniff*. Perbedaan antara metode *grab* dan *sniff* terletak pada mekanisme metode *sniff* yang mengintegrasikan proses pompa gas dan cacah secara bersamaan (*continuous*). Set protokol pengukuran diatur dengan mengubah mode tes menjadi *sniff*. Proses pengukuran tersebut dilakukan selama 5 menit untuk 1 siklus.



## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran aktivitas radon pada 2 lokasi berbeda dengan metode yang sama menunjukkan hasil yang bervariasi. Aktivitas rata-rata tertinggi terdapat di lokasi Cilandak dengan metode *grab* sebesar  $6426,79 \text{ Bq/m}^3$  dan sebesar  $4839,64 \text{ Bq/m}^3$  untuk metode *sniff*. Di lokasi Pondok Aren aktivitas untuk metode *grab* dan *sniff* berturut-turut sebesar  $1887,14 \text{ Bq/m}^3$  dan  $855,12 \text{ Bq/m}^3$ . Perbandingan aktivitas radon antara 2 lokasi memperlihatkan perbedaan tingkat aktivitas radon yang dihasilkan oleh kedua metode. Metode *Grab* menunjukkan hasil pengukuran lebih tinggi dibanding dengan metode *sniff*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Keterangan: Grab-Cilandak (GC), Sniff-Cilandak (SC), Grab-Pondok Aren (GP), Sniff-Pondok Aren (SP).

**Gambar 1.** Hasil Pengukuran Aktivitas Radon

Analisis statistik lokasi cilandak (Tabel 1) menggambarkan profil dari masing-masing metode. Perbandingan Standar Deviasi (SD) dari kedua metode menunjukkan bahwa SD metode *sniff* memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan metode *grab*. Ini menunjukkan bahwa pengukuran aktivitas radon pada metode *grab* lebih fluktuatif dan *sniff* relatif lebih stabil, begitupun dengan lokasi Pondok Aren (Tabel 2) menunjukkan pola SD yang serupa. Indikator SD digunakan untuk menghitung jumlah variasi atau dispersi terhadap konsentrasi radon [8].

Koefisien variasi (CV) digunakan untuk melihat variabilitas pengukuran aktivitas radon juga membandingkan stabilitas dan konsisten dari 2 pengukuran. Sebagai indikator perbandingan CV menunjukkan keakuratan yang lebih baik dibanding dengan SD. Peningkatan nilai CV menunjukkan variabilitas yang tinggi dan stabilitas yang rendah. Sebaliknya, makin kecil nilai CV maka variabilitas makin rendah dan stabilitas makin tinggi [8]. Berdasarkan Tabel 1 perbandingan CV% antara metode



*grab* dan *sniff* menunjukkan kecenderungan di mana makin tinggi aktivitas radon maka CV% makin tinggi. Hal ini dibuktikan dengan nilai CV% pada aktivitas terendah protokol 1 sebesar 0,99%, sedangkan aktivitas tertinggi pada protokol 7 menunjukkan nilai CV% sebesar 23,54%.

Hasil pengukuran di lokasi Pondok Aren mempunyai kecenderungan yang serupa dengan lokasi Cilandak, di mana aktivitas terukur oleh metode *grab* lebih tinggi dibanding dengan *sniff*, seperti ditunjukkan oleh Tabel 2. Aktivitas radon di lokasi Pondok Aren, baik metode *grab* ataupun *sniff* menunjukkan aktivitas yang lebih rendah dibanding dengan lokasi Cilandak. Aktivitas terendah metode *grab* dan *sniff* berturut-turut sebesar 830 Bq/m<sup>3</sup> dan 570 Bq/m<sup>3</sup>, sedangkan untuk aktivitas tertinggi sebesar 2720 Bq/m<sup>3</sup> pada metode *grab* dan 1322,5 Bq/m<sup>3</sup> pada metode *sniff*. Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi tingkat aktivitas radon, seperti jenis tanah, kondisi tanah (kelembapan), permeabilitas, uranium, zona alterasi, dan pH [9],[10],[3]. Hasil penelitian lain menyebutkan bahwa faktor struktur geologi (patahan) berpengaruh dominan terhadap tingginya aktivitas radon [11].

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 pengukuran radon menggunakan 2 metode menunjukkan bahwa pengukuran *sniff* lebih stabil jika ditinjau dari indikator CV. Nilai CV pada *sniff* di lokasi cilandak 29,10% dan di lokasi Pondok Aren sebesar 30,69% di mana nilai ini lebih kecil dibanding *grab* pada masing-masing lokasi.

**Tabel 1.** Data Hasil Pengukuran Aktivitas Radon Lokasi Cilandak

Protokol	Metode		Mean	SD	CV%
	<i>Grab</i>	<i>Sniff</i>			
<b>1 (min)</b>	3230,00	3185,00	3207,50	31,82	0,99
<b>2</b>	4420,00	3302,50	3861,25	790,19	20,46
<b>3</b>	5517,50	4330,00	4923,75	839,69	17,05
<b>4 (median)</b>	5895,00	4560,00	5227,50	943,99	18,06
<b>5</b>	7350,00	5297,50	6323,75	1451,34	22,95
<b>6</b>	9125,00	6450,00	7787,50	1891,51	24,29
<b>7 (max)</b>	9450,00	6752,50	8101,25	1907,42	23,54
<b>SD</b>	2331,98	1408,34	1866,41	674,22	8,07
<b>Min</b>	3230,00	3185,00	3207,50	31,82	0,99
<b>Max</b>	9450,00	6752,50	8101,25	1907,42	23,54
<b>Median</b>	5895,00	4560,00	5227,50	943,99	18,06
<b>Mean</b>	6426,79	4839,64	5633,21	1122,28	18,19
<b>CV%</b>	36,29	29,10	33,13	60,08	44,36



**Tabel 2.** Data Hasil Pengukuran Aktivitas Radon Lokasi Pondok Aren

Protokol	Metode		Mean	SD	CV (%)
	Grab	Sniff			
1 (min)	830,00	570,00	700,00	183,85	26,26
2	1447,50	572,50	1010,00	618,72	61,26
3	1845,00	823,33	1334,17	722,43	54,15
4 (median)	1937,50	825,00	1381,25	786,66	56,95
5	2135,00	840,00	1487,50	915,70	61,56
6	2295,00	1032,50	1663,75	892,72	53,66
7 (max)	2720,00	1322,50	2021,25	988,18	48,89
SD	610,54	262,43	428,98	271,28	12,12
Min	830,00	570,00	700,00	183,85	26,26
Max	2720,00	1322,50	2021,25	988,18	48,89
Median	1937,50	825,00	1381,25	786,66	56,95
Mean	1887,14	855,12	1371,13	729,75	51,82
CV (%)	32,35	30,69	31,29	37,17	23,38

Setiap metode pengukuran RAD7 memiliki mekanisme cacah yang berbeda. Metode *grab* akan mencacah Po-218 dan Po-214, sedangkan metode *sniff* hanya akan mencacah Po-218 dan mengabaikan Po-214 [7]. Ditinjau dari perbandingan waktu paruh antara Rn-222 dengan Po-218 atau Po-214, proses pengukuran metode *grab* membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai kesetimbangan karena proses peluruhan Po-218 hingga terbentuk Po-214 selama >49,77 menit. Metode *sniff* hanya akan mencacah Po-218 yang memiliki waktu paruh 3 menit sehingga untuk mencapai kesetimbangan relatif lebih singkat dibandingkan dengan *grab* [7].

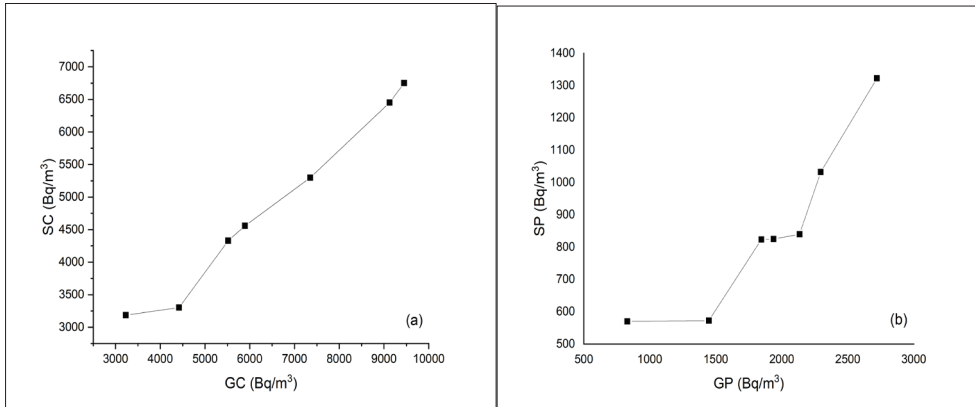
Faktor korelasi kedua lokasi ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan grafik tersebut R<sup>2</sup> untuk lokasi Cilandak dan Pondok Aren berturut-turut sebesar 0,9830 dan 0,8443. Hasil yang ditunjukkan mengindikasikan bahwa hasil tersebut memungkinkan untuk dapat mengestimasi aktivitas radon *sniff* berdasarkan aktivitas radon *grab* [12]. Aktivitas radon *sniff* pada lokasi Cilandak dapat diestimasi dengan persamaan berikut:

$$y = 0,5988(x) + 991,47 \tag{1}$$

di mana y merupakan aktivitas radon SC (Bq/m<sup>3</sup>) dan x adalah aktivitas radon GC (Bq/m<sup>3</sup>). Sedangkan untuk lokasi Pondok Aren estimasi dapat dilakukan dengan persamaan:

$$y = 0,395(x) + 109,78 \tag{2}$$

di mana y merupakan aktivitas radon SP (Bq/m<sup>3</sup>) dan x adalah aktivitas radon GP (Bq/m<sup>3</sup>).



Keterangan: (a) GC terhadap SC; (b) GP terhadap SP

**Gambar 2.** Aktivitas Radon *Grab* Terhadap *Sniff*

## KESIMPULAN

Pengukuran radon dengan menggunakan RAD7 secara *grab* atau *sniff* memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Metode *grab* memberikan hasil pengukuran yang lebih fluktuatif dalam pengukurannya dan memiliki rata-rata pengukuran yang lebih tinggi dibanding dengan metode *sniff*. Sementara itu, metode *sniff* hanya mengukur Po-218 memberikan hasil pengukuran yang relatif lebih rendah dibanding dengan metode *grab* sehingga untuk keperluan pengukuran Radon secara cepat metode *sniff* lebih baik dibandingkan metode *grab*. Namun, untuk pengukuran dalam waktu lebih lama metode *grab* memberikan keakuratan yang lebih baik dibanding *sniff*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis berikan kepada rekan-rekan kelompok Hidrologi dan Panas bumi di PRTPR yang telah membantu dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Al-Zoughool and D. Krewski, "Health effects of radon: a review of the literature," *Int. J. Radiat. Biol.*, vol. 85, no. 1, pp. 57–69, 2009, doi: 10.1080/09553000802635054.
- [2] M. Siino dkk., "Multiple seasonality in soil radon time series," no. January, pp. 1–13, 2019, doi: 10.1038/s41598-019-44875-z.
- [3] B. Sunardi, "Variasi gas radon dan aktivitas kegempaan di sekitar patahan opak," *J. Lingkungan dan Bencana Geol.*, vol. 9, no. 1, p. 11, 2018, doi: 10.34126/jlbg.v9i1.166.
- [4] H. Nurohman dkk., "Zona permeabel di Kawah Gunung Papandayan berdasarkan gas radon dan thoron," *J. Ris. Geol. dan Pertamb.*, vol. 26, no. 2, p. 131, 2016, doi: 10.14203/risetgeotam2016.v26.274.



## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

- [5] N. M. Ershaidat, “Comparative study of soil radon concentration levels using active and passive detectors,” vol. 8, no. 1, pp. 29–37, 2015.
- [6] H. T. Hamad, M. S. Karim, and N. F. Kadhim, “Comparison of three techniques for measuring radon gas,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1879, no. 3, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1879/3/032052.
- [7] D. Company, *Electronic Radon Detector User Manual*. Massachusetts: DURRIDGE Company Inc, 2012.
- [8] M. A. M. Alghamdi and H. M. Diab, “Measurement of radon content in silty sand soil using Rad7 and Cr-39 techniques At Wadi Arar, Saudi Arabia: comparison study,” no. 5, pp. 126–132, 2016.
- [9] D. T. Esan dkk., “Determination of Residential soil gas radon risk indices over the lithological units of a Southwestern Nigeria University,” *Sci. Rep.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–10, 2020, doi: 10.1038/s41598-020-64217-8.
- [10] P. T. Huynh Nguyen dkk., “Soil radon gas in some soil types in the rainy season in Ho Chi Minh City, Vietnam,” *J. Environ. Radioact.*, vol. 193–194, no. December 2017, pp. 27–35, 2018, doi: 10.1016/j.jenvrad.2018.08.017.
- [11] J. Vaupotič, I. Kobal, and J. Planinić, “Long-term radon investigation in four selected kindergartens in different geological and climate regions of Slovenia,” *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, vol. 238, no. 1–2, pp. 61–66, 1998, doi: 10.1007/BF02385356.
- [12] A. A. Abojassim, “Comparative study between active and passive techniques for measuring radon concentrations in groundwater of Al-Najaf city, Iraq,” *Groundw. Sustain. Dev.*, vol. 11, September, p. 100476, 2020, doi: 10.1016/j.gsd.2020.100476.



KL-009

## KAJIAN ASPEK KESELAMATAN KEGIATAN PELIMBAHAN SUMBER RADIASI CO-60 BEKAS PENGGUNAAN DI IRADIATOR KARET ALAM (IRKA)

Muhamad Aminudin, Megy Stefanus, Rahmad Ramdani Sambari,  
dan Norman Pamungkas

### ABSTRAK

Iradiator Karet Alam (IRKA) milik Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi/PRTTPR, ORTN, BRIN (sebelumnya Pusat Riset dan Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi/PRTAIR – BRIN) digunakan sebagai fasilitas radiasi untuk penelitian dan layanan aplikasi isotop dan radiasi bagi peneliti dan pelanggan. Secara teknis, fasilitas ini digunakan sebagai media sterilisasi bagi sampel dan produk sesuai dengan dosis radiasi yang diinginkan. Beberapa sumber radiasi yang ada, sudah terpasang sejak tahun 1980-an. Seiring berjalannya waktu, 24 (dua puluh empat) sumber radiasi yang digunakan pada fasilitas tersebut sudah tidak relevan dan optimal karena mengalami peluruhan setiap 3,27 tahun sehingga perlu untuk dilakukan pelimbahan sumber radiasi bekas sebelum dilakukan penambahan atau penggantian sumber radiasi. Kendala yang muncul adalah diperlukan adanya pelimbahan pensil Co-60 yang ada agar nantinya dapat diisi dengan sumber radioaktif baru. Metode penelitian ini adalah dengan mengkaji dan mencermati tahapan-tahapan proses, dalam hal ini proses pengeluaran sumber radioaktif dari wadah lama dan pemindahan ke wadah pengangkutan disertai dengan kajian aspek keselamatan selama proses kegiatan. Dalam kegiatan pelimbahan ini, aspek keselamatan perlu diperhatikan, dimulai dengan pengurusan izin pelimbahan dan pengangkutan ke badan pengawas, penentuan wadah sumber radiasi yang digunakan, pemantauan paparan radiasi daerah kerja dan personel selama proses penanganan sumber radiasi dari fasilitas hingga proses pengiriman limbah ke tempat penyimpanan limbah radiasi. Aspek keselamatan selama kegiatan ini telah terpenuhi dengan perolehan laju dosis radiasi di daerah kerja dan dosis perorangan tidak melebihi ambang batas keselamatan. Setelah berlangsung selama 3 minggu efektif, proses pengiriman sumber radiasi Co-60 bekas penggunaan iradiator karet alam (IRKA) berhasil dilakukan pada tanggal 21 September 2021 dengan bukti dokumen izin pengangkutan BAPETEN dengan nomor 2234.343.45.13092021 dan Berita Acara Serah Terima sumber radiasi bekas dari Pusat Riset dan Teknologi Limbah Radioaktif (PRTLRL – BRIN).

**Kata Kunci:** Iradiator; Pelimbahan; Sumber Radiasi; Co-60.

M. Aminudin, M. Stefanus, R. R. Sambari, & N. Pamungkas

\*Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi dan Mutu Nuklir BRIN, e-mail: muha137@brin.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

M. Aminudin, M. Stefanus, R. R. Sambari, dan N. Pamungkas, "Kajian aspek keselamatan kegiatan pelimbahan sumber radiasi Co-60 bekas penggunaan di iradiator karet alam (IRKA)," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 23, pp. 233–242, DOI: 10.55981/brin.690.c664, E-ISBN: 978-623-8372-02-7



**ABSTRACT**

*Latex Irradiator (IRKA) at Center for Isotopes and Radiation Application (CIRA) is used as a radiation facility for research and service in isotopes and radiation application for researchers and customers. Technically, this facility is used as sterilization media for samples and products which radiation doses as needed by customers. Radiation sources have existed since the 1980s. However, recently 24 (twenty-four) of radiation sources were not relevant and optimize to be used due to their decay time (3.27 years) and need to be disposed of before the facility could be upgraded with new radiation sources. In this disposal activity, multiple plans and steps have to be done and safety aspect needs to be concerned started from the legal aspect for disposal and transportation from the national nuclear regulator, choosing and assigning the right radiation source package, area, also radiation monitoring while the disposal activity was in the process until the last process to sent the radiation source to radioactive waste facility. Safety aspects during this disposal activity were achieved in which radiation doses in the work area and personal radiation dose were not exceeded to dose limit. The disposal activity was worked in 2 (two) weeks, the Latex Irradiator unused radiation sources Co-60 were succeeded to send to Center for Radioactive Waste Facility in 21st September 2021 which are proof by transportation document from National Nuclear Regulatory with number 2234.343.45.13092021 also supported with Send and Receive Report Document from Center for Radioactive Waste Facility.*

**Keywords:** Irradiator; Dispose; Radiation Source; Co-60.

**PENDAHULUAN**

Irradiator Karet Alam (IRKA) adalah salah satu fasilitas iradiasi yang dimiliki oleh Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi/PRTPR (sebelumnya Pusat Riset dan Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi/PRTAIR), Organisasi Tenaga Nuklir (ORTN) – Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). PRTPR, ORTN, BRIN yang berada di Kawasan Nuklir Lebak Bulus, Jakarta Selatan, DKI Jakarta. Dibangun pada tahun 1982 dengan kapasitas desain maksimum untuk penggunaan aktivitas sumber radiasi mencapai 300.000 Curie dengan sumber radioaktif yang digunakan adalah Cobalt-60 sebagai media sterilisasi sampel dan produk penelitian dan layanan dari pelanggan yang terdiri dari peneliti di dalam dan luar PRTPR serta perusahaan komersil.

Namun seiring berjalannya waktu, proses layanan iradiasi tersebut tidak berjalan optimal dikarenakan terdapat penurunan aktivitas sumber radioaktif Cobalt-60 yang digunakan akibat peluruhan alamiah tiap 3.27 tahun, dan aktivitas terkini adalah sebesar 36800 Curie (September 2021). Inisiasi untuk pemulihan layanan iradiasi tersebut telah diupayakan melalui permohonan penambahan aktivitas sumber radioaktif ke manajemen PRTPR. Sebagai langkah lanjutan dari permohonan tersebut, pengelola fasilitas dan manajemen berinisiasi untuk mempersiapkan aspek teknis di fasilitas iradiasi dengan mengonfigurasi ulang posisi-posisi sumber radioaktif sebelum diisi oleh sumber radioaktif yang akan ditambahkan.

Dalam proses konfigurasi tersebut, diperoleh bahwa diperlukan adanya pengosongan posisi pada 24 batang pensil untuk dapat digunakan untuk sumber radioaktif yang baru nantinya. Oleh sebab itu, diperlukan tindak lanjut segera dengan melakukan pelimahan sumber radioaktif bekas penggunaan tersebut. Kegiatan



pelimbahan dilakukan dengan rangkaian persiapan dan pelaksanaan yang melibatkan pihak terkait untuk mengirim limbah tersebut ke tempat penyimpanan akhir di PRTL/ORTN, BRIN, Serpong, Banten.

## METODE PERCOBAAN

### Tata Kerja

#### *Pra Pelimbahan*

Langkah awal proses pelimbahan dilakukan dengan koordinasi teknis dengan manajemen fasilitas iradiasi dengan melibatkan petugas pelaksana dari Pusat Riset dan Teknologi Limbah Radioaktif (PRTL/ORTN – BRIN) untuk dapat memberikan saran dan arahan tentang langkah teknis yang diambil untuk menentukan beberapa hal kajian dan ketentuan sehingga proses pelimbahan dapat terlaksana [1]. Pada tahap Pra-Pelaksanaan ini, terdapat beberapa kegiatan.

- ***Penelaahan Sumber Radioaktif***

Pada kegiatan ini, dilakukan pengkajian dan penentuan sumber radioaktif yang akan dilimbahkan, dilakukan untuk memastikan sumber radioaktif mana saja yang akan dilimbahkan. Hal ini diperlukan mengait ke proses layanan iradiasi yang akan berjalan tanpa adanya sumber radioaktif yang akan dilimbahkan nantinya. Penentuan sumber radioaktif yang akan dilimbahkan dilakukan secara eksperimental dan kajian oleh pekerja radiasi iradiator dengan memilah sumber-sumber radioaktif yang beraktivitas di bawah 50 Ci yang dianggap sudah tidak relevan dalam proses iradiasi materi dan tidak homogen mengiradiasi materi di daerah iradiasi.

- ***Penelaahan Wadah Sumber Radioaktif***

Setelah ditentukan sumber radioaktif, diperlukan juga pengkajian dan penentuan wadah pengangkutan dan penyimpanan sumber radioaktif yang akan digunakan dengan mempertimbangkan kondisi fisik bungkusan, jenis zat radioaktif, aktivitas zat radioaktif [1]. Wadah penyimpanan BRIT Lead Container BLC-100 digunakan dengan aspek kajian dokumen teknis wadah yang menginformasikan dapat menampung sumber radioaktif dengan kapasitas maksimum hingga 100 kCi, dibandingkan limbah radioaktif yang akan dilimbahkan beraktivitas maksimum 450 Ci.

- ***Legalitas Pelimbahan Sumber Radioaktif***

Dalam setiap kegiatan pelimbahan sumber radioaktif, diperlukan permohonan aspek legal dari badan regulasi (BAPETEN) dalam hal pengangkutan sumber radioaktif dan PRTL/ORTN, BRIN dalam hal penyimpanan sumber radioaktif melalui proses layanan sistem informasi yang tersedia dari masing-masing institusi tersebut.



## ***Pelaksanaan Pelimbahan***

### **• Proses Pemindahan Sumber Radioaktif**

Dalam hal penanganan sumber radioaktif yang tidak digunakan dan akan dilimbahkan ke wadah pengangkutan dan penyimpanan yang telah ditentukan sebelumnya diperlukan pemantauan dan pengawasan keselamatan dan keamanan yang sesuai dengan prosedur. Kegiatan berlangsung selama 10 hari kerja dengan fokus proses pemindahan sumber radioaktif berlangsung selama 3 hari. Dengan pertimbangan pandemi COVID-19 dan keterbatasan area kerja di ruang iradiasi, personel yang terlibat ditetapkan sebanyak 5 orang (1 orang PPR/Petugas K3, 2 orang operator *Long Tang Crawler* sumber radioaktif, dan 2 orang *observer*). *Observer* bertugas melacak posisi sumber radioaktif yang berada di wadah *source cage* di dalam kolam, sementara operator mencari posisi sumber radioaktif dan memindahkan sumber tersebut dari *source cage* ke wadah pengangkut (BLC-100). Tahapan tersebut diulangi hingga 24 sumber radioaktif berpindah dari *source cage* ke wadah pengangkut. Petugas Proteksi Radiasi memantau, mengukur, dan memastikan laju paparan radiasi selama di area kerja dalam batas ambang selamat dan aman dari bahaya radiasi eksternal serta memastikan sumber radioaktif berada dalam wadah pengangkutan.

### **1. Pemantauan Paparan Radiasi dan K3**

Selama pelaksanaan mobilisasi sumber radioaktif, diperlukan adanya pemantauan aspek keselamatan umum dan radiasi pada aset kegiatan, yaitu personel, daerah kerja, dan instrumen yang terlibat, serta lingkungan. Kemudian juga dilakukan pengujian kebocoran radiasi pada wadah penyimpanan sumber radioaktif yang digunakan. Sebagai langkah verifikasi, Petugas Proteksi Radiasi (PPR) terlibat intens dalam proses teknis di area kerja dalam hal keselamatan umum dan radiasi. Alat yang digunakan adalah survei meter deteksi gama sebagai pemantau radiasi area kerja dan pensil dosimeter sebagai pemantau radiasi personel secara aktual, selain penggunaan TLD dari tiap personel yang terlibat. Laju paparan radiasi diukur pada secara periodik dan tentatif pada momen krusial, seperti pemindahan sumber radioaktif untuk memastikan paparan radiasi dapat diterima oleh setiap personel yang terlibat.

### **2. Mobilisasi Limbah Sumber Radioaktif**

Setelah sumber radioaktif dipindahkan ke dalam wadah sumber radioaktif siap dipindahkan dari fasilitas iradiasi ke tempat penyimpanan sumber radioaktif akhir PRTL/ORTN – BRIN.

#### **A. Pasca Pelimbahan**

Pelaporan dan pengubahan status terkini sumber radioaktif yang ada di fasilitas iradiasi ke badan regulasi (BAPETEN) perlu dilakukan agar terdapat informasi yang seragam antara pemanfaat dan pengawas.



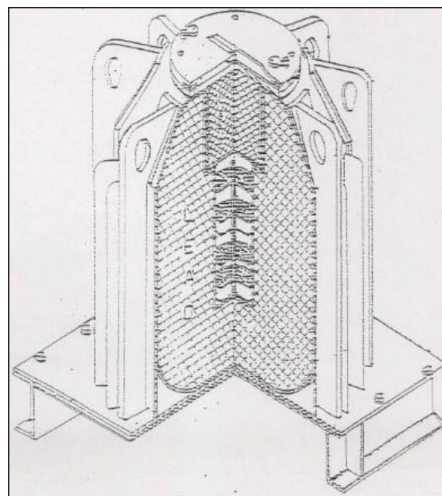
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelaahan sumber radioaktif diperoleh bahwa terdapat sumber radioaktif yang tidak relevan dan prospektif digunakan dalam proses layanan iradiasi. Jumlah sumber radioaktif adalah 24 (dua puluh empat) buah dengan perincian sebagai berikut.

**Tabel 1.** Data Sumber Radioaktif Iradiator Karet Alam (Irka) yang Akan Dilimbahkan.

No.	Kode	Aktivitas (Ci)	No.	Kode	Aktivitas (Ci)
1	C-188 (3724)	25.96	13	C-188 (3729)	25.96
2	C-188 (3728)	25.96	14	C-188 (3700)	23.08
3	C-188 (3726)	25.96	15	C-188 (3701)	22.90
4	C-188 (3727)	25.96	16	C-188 (3706)	22.90
5	C-188 (3725)	25.96	17	C-132 (01/ BARC/C-132)	13.69
6	C-188 (3732)	25.96	18	C-132 (02/ BARC/C-132)	13.69
7	C-188 (3731)	25.96	19	C-132 (07/ BARC/C-132)	13.69
8	C-188 (3733)	25.96	20	C-132 (13/ BARC/C-132)	13.69
9	C-188 (3707)	23.08	21	C-132 (14/ BARC/C-132)	13.69
10	C-188 (3730)	25.96	22	C-132 (19/ BARC/C-132)	13.69
11	C-188 (3704)	23.08	23	C-188 (3705)	22.90
12	C-188 (3703)	23.08	24	C-188 (3702)	22.90

Sumber radioaktif yang digunakan pada pemanfaatan iradiator termasuk unik dikarenakan rangkaian sumber radioaktif berbentuk pelet disusun menyerupai pensil. Oleh sebab itu, justifikasi proteksi radiasi diperlukan dalam penentuan wadah pengangkutan dan penyimpanan sumber radioaktif ini. Wadah (kontainer) sumber radioaktif BRIT *Lead Container* BLC-100 bekas pengangkutan sumber radioaktif pada Iradiator Panoramik Serba Guna (IRPASENA) dipilih dikarenakan memenuhi standar keselamatan dan keamanan radiasi [2].



**Gambar 1.** Wadah (Kontainer) Pengangkutan dan Penyimpanan Sumber Radioaktif eks Iradiator Karet Alam (IRKA)

Setelah menentukan sumber radioaktif dan wadah yang akan dilimbahkan, selanjutnya mengajukan permohonan legalitas ke institusi terkait mengenai pengangkutan dan penyimpanan limbah tersebut. Permohonan izin pengangkutan pelimbahan, dilakukan melalui layanan BAPETEN *Licensing dan Inspection System Online* (Balis *Online*) milik Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Proses permohonan berlangsung selama 14 hari, dengan memenuhi semua persyaratan dan ketentuan yang telah dievaluasi oleh evaluator maka terbit izin pengangkutan dengan No. 2234.343.45.13092021 yang berlaku selama 30 hari. Selain itu, diperlukan juga permohonan izin penyimpanan sumber radioaktif di PRTL/ORTN, BRIN melalui layanan *Elektronik Pengelolaan Limbah Radioaktif* (E-LIRA) milik PRTL/ORTN – BRIN. Setelah memenuhi semua persyaratan dan ketentuan, pelaksanaan pelimbahan (pengangkutan dan penyimpanan) dapat dilaksanakan pada tanggal 23 September 2021.

Pemindahan sumber radioaktif merupakan kegiatan krusial, karena adanya potensi bahaya radiasi yang besar dalam pelaksanaannya. Proses pelaksanaan pelimbahan berlangsung di Fasilitas Iradiasi Iradiator Karet Alam (IRKA). Kegiatan pelimbahan diestimasi selesai dalam waktu 10 hari kerja dengan fokus pada pemindahan sumber ke wadah (kontainer) adalah 3 hari kerja. Pemindahan sumber radioaktif dilakukan di dalam kolam iradiasi dengan pemantauan dan pengawasan oleh Petugas Proteksi Radiasi. Sejumlah 24 pensil sumber radioaktif dipindahkan dari *Source Rack* IRKA ke *Source Cage* Kontainer BLC-100. Laju paparan radiasi selama pelaksanaan dipantau dan disajikan pada Tabel 2.



**Tabel 2.** Data Pemantauan Laju Paparan Radiasi Selama Kegiatan Pemindahan Sumber Radioaktif.

No.	Titik Pemantauan	Laju Paparan ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ )	Tk. Kontaminasi (CPS)
1.	Permukaan Kolam	0.12	23
2.	Tempat Petugas	0.13	25
3.	Sekitar Bibir Kolam	0.13	22
4.	Lorong R. Iradiasi	0.10	23
5.	Lobi IRKA	0.10	22
6.	Latar Belakang*	0.09	22

Keterangan: \*Pengukuran laju paparan latar belakang dilakukan di depan gedung IRKA

Berdasarkan hasil pemantauan, diperoleh nilai-nilai laju paparan radiasi pada beragam titik pengukuran. Nilai laju paparan radiasi yang terukur selama 8 jam dalam 3 hari kerja, nilai tersebut masih di bawah Nilai Pembatas Dosis (NPD) pada fasilitas iradiasi IRKA, yaitu sebesar 1.4 mSv [4]. Asumsi yang digunakan adalah estimasi kerja selama 8 jam dalam 3 hari. Potensi kontaminasi, tidak ada karena sumber radioaktif yang ditangani adalah sumber radioaktif tipe padat dan terbungkus.

Setelah dipindahkan ke dalam wadah kontainer, kontainer dikeluarkan dari dalam kolam dan diletakkan di belakang gedung IRKA (Gambar 2) untuk menunggu pengangkutan dari petugas PRTL/ORTN, BRIN.



**Gambar 2.** Pemantauan Laju Paparan Radiasi Pada Wadah Kontainer Penyimpanan Sumber Radioaktif.

Pemantauan dan pengawasan laju paparan radiasi dilakukan selama penyimpanan, sementara di lokasi tersebut dan Identifikasi Indeks untuk transportasi diberikan dengan label II-Kuning. Data pemantauan, disajikan pada tabel 3.



**Tabel 3.** Data Pemantauan Laju Paparan Radiasi Selama Penyimpanan Sementara Sebelum Diangkut ke Penyimpanan Limbah Akhir.

No.	Titik Pemantauan	Laju Paparan ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ )	Tk. Kontaminasi (CPS)
1.	Permukaan Atas Kontainer	0.79	123
2.	Permukaan Pinggir Kontainer	1.10	350
3.	Jarak 1 Meter	0.26	70
4.	Sekitar Akses Pekerja	0.09	25
5.	Lubang Buangan	0.21	35
6.	Latar Belakang*	0.10	22

Keterangan: \*Pengukuran laju paparan latar belakang dilakukan di depan gedung IRKA

Sesuai dengan rencana, pada tanggal 23 September 2021, sumber radioaktif tersebut diangkut dan disimpan di tempat penyimpanan limbah akhir milik PRTL/ ORTN, BRIN. Proses pengangkutan menggunakan moda transportasi truk tipe "Colt" dengan modifikasi khusus sesuai Gambar 3



**Gambar 3.** Proses Pemindahan Wadah Kontainer Sumber Radioaktif ke Truk Pengangkutan untuk Diangkut ke Tempat Penyimpanan Limbah Akhir.

Pengangkutan dari fasilitas iradiasi IRKA menuju ke PRTL/ORTN, BRIN dilakukan bersama oleh pelaksana dari PRTL dan PRTL dengan melibatkan petugas pengangkutan, Petugas Proteksi Radiasi (PPR), dan Petugas Unit Pengamanan Nuklir (UPN) [3]. Pada proses pengangkutan, formasi moda transportasi terdiri 1 unit mobil berisi PPR dan UPN di barisan depan, diikuti dengan truk pengangkut sumber radioaktif, dan dikawal oleh 2 unit mobil petugas pelaksana pengangkutan untuk mengantisipasi bila terjadi anomali selama proses pengangkutan berlangsung.

Setelah 1 jam perjalanan, sumber radioaktif tiba di PRTL dan langsung dipindahkan ke dalam gedung penyimpanan limbah milik PRTL/ORTN, BRIN sebagai institusi yang dapat melakukan pengelolaan limbah radioaktif lebih lanjut [5], seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Wadah Kontainer Berisi Sumber Radioaktif Eks Penggunaan IRKA Telah Disimpan di Tempat Penyimpanan Limbah Akhir Milik PRTLRL.

Pasca kegiatan pelimbahan, diperlukan aktualisasi data dan informasi ke Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) sebagai wujud penerapan legalitas pemanfaatan tenaga nuklir baik dari aspek keselamatan radiasi dan peraturan.

## KESIMPULAN

Kegiatan pelimbahan sumber radioaktif berlangsung selama 15 hari efektif dari proses perencanaan, pelaksanaan, dan pelimbahan berhasil dilakukan tanpa adanya anomali dan kecelakaan kerja dan radiasi.

Proses pengiriman 24 sumber radioaktif Co-60 bekas penggunaan Iradiator Karet Alam (IRKA) ke PRTLRL, BRIN dilakukan pada tanggal 21 September 2021 dengan bukti dokumen izin pengangkutan BAPETEN dengan nomor 2234.343.45.13092021 dan Berita Acara Serah Terima sumber radiasi bekas dari Pusat Riset dan Teknologi Limbah Radioaktif (PRTLRL, BRIN) No. 032/V/BN 04 00/9/2021.

Dengan adanya *slot* kosong tempat pensil Co-60 pada *Source Cage* pascapelimbahan sumber radioaktif ini, optimalisasi iradiasi pada Iradiator Karet Alam (IRKA) dapat dilakukan, yaitu dengan melakukan pengisian atau sumber radioaktif baru pada 24 *slot* sumber radioaktif yang telah dilimbahkan pada kegiatan ini.





## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terima kasih diberikan kepada petugas pelaksana dari Iradiator Karet Alam (IRKA) dan PRTLOR/ORTN, BRIN yang sangat kooperatif selama pra dan pascakegiatan berlangsung sehingga terwujudnya pelaksanaan pelimbanan ini.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] S. Widodo, S. Muhammad, dan Rr Djarwanti RPS, “Kajian Proses daur ulang zat radioaktif terbungkus Cobalt-60 yang sudah tidak digunakan’ untuk logging minyak dan batubara,” dalam Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XV - 2017,
- [2] L. B. Shappert, D. S. Joy, dan M. Heiskell, “Radioactive waste transportation systems analysis and program plan,” United States: N. p., 1978, pp. 65–72, 2015.
- [3] B. Droste, “15 - Packaging, transport, and storage of high-, intermediate-, and low-level radioactive wastes,” *Safe and Secure Transport and Storage of Radioactive Materials, Woodhead Publishing*, pp. 231–270. 2015.
- [4] Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2018 Edition: specific Safety Requirements No. SSR-6 (Rev. 1): IAEA, Vienna, 2018
- [5] Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi Terintegrasi PAIR- BATAN, 2019: PAIR - BATAN, Jakarta, 2019



KL-010

## KAJIAN PENETAPAN NILAI PEMBATAS DOSIS DI PUSAT RISET DAN TEKNOLOGI APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI (PRTAIR) – BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL (BRIN)

### *DOSE LIMITATION VALUE STUDIES IN RESEARCH AND TECHNOLOGY CENTER FOR APPLICATION OF ISOTOPE AND RADIATION (PRTAIR) – NATIONAL RESEARCH AND INNOVATION AGENCY (BRIN)*

Norman Pamungkas, Asti Nilatany, Emilia Annisa, dan Muhamad Aminudin

#### ABSTRAK

Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi (PRTPR) (sebelumnya Pusat Riset dan Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi/PRTAIR) melaksanakan beragam kegiatan penelitian, pengembangan, penerapan, dan pengkajian (litbangjirap) yang memanfaatkan isotop dan radiasi. Dalam setiap kegiatan litbangjirap, pengupayaan proteksi dan keselamatan radiasi wajib dilakukan salah satunya dengan cara penetapan nilai pembatas dosis (NPD) untuk kegiatan yang dilakukan di daerah kerja radiasi sesuai mandat yang diberikan kepada pemegang izin pemanfaatan tenaga nuklir sebagaimana diatur di dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Kegiatan Pemanfaatan Tenaga Nuklir. Nilai pembatas dosis (NPD), yang merupakan suatu bentuk upaya optimasi proteksi dan keselamatan radiasi, dapat diartikan sebagai nilai batas maksimum dosis radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi di suatu fasilitas pemanfaatan tenaga nuklir pada kondisi operasi normal. Sampel data yang digunakan dalam kajian ini adalah data hasil evaluasi dosis tahunan pekerja radiasi di lingkungan PRTPR, BRIN selama kurun waktu 5 (lima) tahun terakhir. Penentuan nilai pembatas dosis (NPD) dalam kajian ini ditentukan berdasarkan pada rataan dosis maksimum di antara nilai kuartil atas dan nilai datum dosis maksimum tertinggi. Hasil dari kajian ini dapat dijadikan sebagai rekomendasi ke pemegang izin sebagai acuan besaran nilai pembatas dosis (NPD) di setiap kegiatan litbangjirap yang ada di PRTPR, BRIN. Dengan adanya penentuan nilai pembatas dosis ini, diharapkan setiap kegiatan litbangjirap yang ada di Pusat Riset dan Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi (PRTPR) menjadi lebih optimal baik dari aspek keselamatan maupun keluarannya.

**Kata Kunci:** Proteksi; Keselamatan; Radiasi; Pembatas Dosis; Kuartil.

---

N. Pamungkas, A. Nilatany, E. Annisa, & M. Aminudin

\*Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi BRIN, e-mail: norm003@brin.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

N. Pamungkas, A. Nilatany, E. Annisa, dan M. Aminudin, "Kajian penetapan nilai pembatas dosis di Pusat Riset dan Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi (PRTAIR) – Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 24, pp. 243–249, DOI: 10.55981/brin.690.c665, E-ISBN: 978-623-8372-02-7

**ABSTRACT**

*The Research Center for Radiation Process Technology (PRTPR) conducts a variety of research, development, application, and studies (R&D) activities. In all of the R&D activities, radiation protection and safety performances must be implemented, one of which by setting maximum permissible dose (MPD), for every activity inside working area with radiation exposure following the mandate which is given to the permit holder of nuclear energy utilization as regulated in Head of Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN) Regulation Number 4 of 2013 on Radiation Protection and Safety in Nuclear Power Utilization Activities. The maximum permissible dose (MPD), which is an effort to improve radiation protection and safety performances, can be interpreted as the upper limit of allowed radiation dose that one may receive by radiation workers inside a nuclear energy utilization facility under normal operating conditions. The sample data that being used in these studies are radiation workers annual dose evaluation in PRTPR – BRIN area for the last 5 (five) years. The maximum permissible dose (MPD) was determined based on the maximum dose rate between the upper quartile value and the highest maximum dose datum value. The result of this study can be used as a recommendation to the permit holder as a reference to set the dose limitation value for all of the R&D activities in PRTPR – BRIN. With the establishment of this dose limitation value, it is hoped that all R&D activities at the Research and Technology Center for Application of Isotope and Radiation (PRTPR) will be more optimum in terms of both safety and output.*

**Keywords:** Protection; Safety; Radiation; Maximum Permissible Dose; Quartile.

**PENDAHULUAN**

Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi/PRTPR (sebelumnya Pusat Riset dan Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi/PRTAIR) sebagai salah satu pusat riset dan teknologi di bawah Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) melaksanakan beragam kegiatan penelitian, pengembangan, penerapan, dan pengkajian (litbangjirap) yang memanfaatkan isotop dan radiasi.

Setiap kegiatan litbangjirap, pengupayaan proteksi dan keselamatan radiasi wajib dilakukan salah satunya dengan cara penetapan nilai pembatas dosis (NPD) untuk kegiatan yang dilakukan di daerah kerja radiasi sesuai mandat yang diberikan kepada pemegang izin pemanfaatan tenaga nuklir sebagaimana diatur di dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Kegiatan Pemanfaatan Tenaga Nuklir. Peraturan ini mewajibkan setiap pemegang izin pemanfaatan tenaga nuklir untuk menerapkan optimalisasi proteksi dan keselamatan radiasi [1]. Pada Pasal 41 dan Pasal 43 ayat (1) dan ayat (2), diuraikan bahwa penerapan optimalisasi proteksi dan keselamatan radiasi salah satunya dapat dilaksanakan melalui penetapan pembatas dosis untuk pekerja radiasi. Pembatas dosis ditetapkan oleh pemegang izin pada tahap konstruksi dan/atau tahap operasi dan *decommissioning*.

Nilai pembatas dosis (NPD), yang merupakan suatu bentuk upaya optimasi proteksi dan keselamatan radiasi, dapat diartikan sebagai nilai batas maksimum dosis radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi di suatu fasilitas pemanfaatan tenaga nuklir pada kondisi operasional normal.



Sampai dengan tahun 2014, belum ada satupun pemegang izin, baik di lingkungan ORTN, BRIN (sebelumnya bernama BATAN) maupun di lingkungan industri, serta medis yang telah membuat metode yang dapat digunakan untuk menentukan besarnya nilai pembatas dosis (NPD) [2].

Pada tahun 2015, metode kuartilisasi dosis maksimum diajukan sebagai metode yang dapat digunakan untuk menentukan nilai pembatas dosis (NPD) [3]. Penentuan nilai pembatas dosis (NPD) menggunakan metode ini berdasarkan pada nilai rata-rata ( $R$ ) dosis maksimum pada zona 4, yaitu zona di antara nilai kuartil atas ( $Q_3$ ) dan nilai dosis maksimum tertinggi ( $X_T$ ). Nilai pembatas dosis (NPD) yang diperoleh kemudian dijadikan acuan sebagai bentuk upaya optimalisasi proteksi dan keselamatan radiasi yang bersifat antisipatif.

Hasil kajian ini diharapkan menjadi acuan dalam penentuan nilai pembatas dosis (NPD) kawasan sebagai bentuk upaya optimalisasi proteksi dan keselamatan radiasi di lingkungan PRTPR - BRIN.

## METODE PERCOBAAN

### Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam kajian penentuan nilai pembatas dosis (NPD) ini adalah sampel data hasil evaluasi dosis tahunan pekerja radiasi di lingkungan PRTPR, BRIN selama kurun waktu 5 (lima) tahun terakhir, yaitu tahun 2016, 2017, 2018, 2019, dan 2020 [4].

Sampel data yang digunakan diperoleh dari hasil evaluasi *Thermoluminescent Dosimeter* (TLD) *badge* pekerja radiasi yang dilakukan secara periodik setiap triwulan dalam satu tahun. Data yang digunakan adalah data hasil evaluasi dosis yang diterima oleh pekerja radiasi pada kondisi operasional normal.

Sampel data yang digunakan adalah akumulasi dari hasil evaluasi dosis setiap pekerja radiasi di lingkungan PRTPR, BRIN selama 1 (satu) tahun atau selama 4 (empat) triwulan. Sampel data kemudian dikelompokkan berdasarkan unit kerjanya sesuai dengan bidang penelitian yang dikerjakan.

### Tata Kerja

Setiap triwulan, Unit Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi mengumpulkan TLD *badge* yang telah digunakan pekerja radiasi pada triwulan sebelumnya. TLD *badge* yang telah dikumpulkan kemudian diserahkan kepada unit kerja evaluator untuk diproses sehingga diperoleh data dosis radiasi yang telah diterima oleh setiap pekerja radiasi.

Hasil evaluasi dosis TLD *badge* oleh unit kerja evaluator diserahkan kembali kepada Unit Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi dalam bentuk data dosis ekuivalen seluruh tubuh Hp (10) untuk kemudian dilakukan pencatatan dan pengolahan dalam bentuk pangkalan data penerimaan dosis radiasi [5].



## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil evaluasi dosis tahunan pekerja radiasi dikelompokkan berdasarkan setiap unit kerjanya. Pengelompokan data berdasarkan unit kerja dilakukan karena setiap unit kerja melakukan kegiatan dengan dosis paparan radiasi yang berbeda-beda terkait dengan jenis sumber radioaktif atau sumber radiasi pengion lain yang digunakan serta waktu kerja selama terpapar radiasi.

Sampel data yang digunakan, yaitu nilai datum dosis maksimum pekerja radiasi dari setiap unit kerja pada periode 2016–2020 disajikan secara lengkap pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Dosis Maksimum Tahunan Pekerja Radiasi PRTPR Periode 2016–2020

Unit Kerja	Dosis Maksimum Tahunan (mSv)				
	2016	2017	2018	2019	2020
Industri dan Lingkungan	2	3.3	3	3.16	1.55
Proses Radiasi	1.08	1.15	1.31	1.6	0.87
Pertanian	1.16	1.35	1.6	1.53	0.73
Keselamatan Kerja dan Lingkungan	1.39	1.98	2.01	1.48	1.1
Iradiasi, Elektromekanik, dan Instrumentasi	1.23	1.63	1.85	1.39	0.79
Tata Usaha dan Pengamanan Nuklir	1.58	1.44	1.57	1.61	0.92

Berdasarkan ketentuan yang telah ditetapkan di dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013, seorang pemegang izin pemanfaatan tenaga nuklir harus mencermati apakah terdapat nilai dosis maksimum tertinggi yang telah melebihi 3/10 nilai batas dosis (NBD) yang telah ditetapkan (20 mSv per tahun untuk pekerja radiasi). Jika ditemukan nilai dosis maksimum tertinggi yang melebihi ketentuan, pemegang izin pemanfaatan tenaga nuklir harus melakukan evaluasi terhadap infrastruktur dan sumber daya manusia di institusi yang menjadi tanggung jawabnya.

Data datum dosis maksimum tertinggi yang disajikan pada Tabel 1 diurutkan terlebih dahulu dari nilai terkecil hingga nilai terbesar sehingga diperoleh data datum dosis maksimum tertinggi berurutan, seperti yang disajikan Tabel 2.

**Tabel 2.** Data Datum Dosis Maksimum Tertinggi

No.	Dosis mSv)	No.	Dosis mSv)	No.	Dosis mSv)
1.	0.73	11.	1.35	21.	1.60
2.	0.79	12.	1.39	22.	1.61
3.	0.87	13.	1.39	23.	1.63
4.	0.92	14.	1.44	24.	1.85
5.	1.08	15.	1.48	25.	1.98
6.	1.10	16.	1.53	26.	2.00
7.	1.15	17.	1.55	27.	2.01
8.	1.16	18.	1.57	28.	3.00
9.	1.23	19.	1.58	29.	3.16
10.	1.31	20.	1.60	30.	3.30



Data datum dosis maksimum tertinggi yang telah diurutkan, seperti tersaji pada Tabel 2 kemudian digunakan untuk mencari nilai kuartil bawah ( $Q_1$ ), kuartil tengah ( $Q_2$ ), dan kuartil atas ( $Q_3$ ). Kuartil adalah suatu nilai-nilai yang membagi data yang telah diurutkan ke dalam 4 (empat) bagian yang memiliki nilai sama besar.

Jumlah data genap ( $n = 30$ ), terlebih dahulu mencari nilai tengah (median) kelompok data tersebut yang sekaligus merupakan nilai kuartil tengah ( $Q_2$ ). Nilai median/kuartil tengah ( $Q_2$ ) terletak di antara nilai datum ke-15 ( $X_{15}$ ) dan ke-16 ( $X_{16}$ ).  
 $Q_2 = \frac{1}{2} (1,48 + 1,53) = 1,505 \text{ mSv}$

Nilai kuartil bawah ( $Q_1$ ) merupakan nilai tengah antara nilai datum terkecil ( $X_1$ ) dan nilai median/kuartil tengah ( $Q_2$ ). Nilai kuartil bawah ( $Q_1$ ) terletak di antara nilai datum ke-8 ( $X_8$ ) dan ke-9 ( $X_9$ ).  
 $Q_1 = \frac{1}{2} (1,16 + 1,23) = 1,195 \text{ mSv}$ .

Nilai kuartil atas ( $Q_3$ ) merupakan nilai tengah antara nilai median/kuartil tengah ( $Q_2$ ) dan nilai datum terbesar ( $X_{30}$ ). Nilai kuartil atas ( $Q_3$ ) terletak di antara nilai datum ke-22 ( $X_{22}$ ) dan ke-23 ( $X_{23}$ ).  
 $Q_3 = \frac{1}{2} (1,61 + 1,63) = 1,620 \text{ mSv}$ .

Nilai pembatas dosis (NPD) ditentukan berdasarkan pada rata-rata ( $R$ ) dosis maksimum di antara nilai kuartil atas ( $Q_3$ ) dan nilai datum dosis maksimum tertinggi ( $X_{30}$ ).

**Tabel 3.** Data Datum Dosis Maksimum Zona 4 ( $Q_3 - X_{30}$ )

Dosis (mSv)	
1.62	$Q_3$
1.63	
1.85	
1.98	
2.00	
2.01	
3.00	
3.16	
3.30	$X_{30}$

$$R = \frac{1}{9} (1,62 + 1,63 + 1,85 + 1,98 + 2 + 2,01 + 3 + 3,16 + 3,3) = 2,283 \text{ mSv}$$

Selanjutnya, ditentukan nilai simpangan baku ( $S$ ) datum dosis maksimum pada zona 4



**Tabel 4.** Simpangan Baku Data Datum Dosis Maksimum Zona 4 ( $Q_3 - X_{30}$ )

	Dosis (mSv)	(X - R <sup>2</sup> )
Q <sub>3</sub>	1.62	0.440
	1.63	0.427
	1.85	0.188
	1.98	0.092
	2.00	0.080
	2.01	0.075
	3.00	0.514
	3.16	0.769
X <sub>30</sub>	3.30	1.034

menggunakan persamaan

$$S = \sqrt{\frac{\sum |X - R^2|}{n}} \sqrt{\frac{\sum |X - R^2|}{n}}$$

diperoleh nilai simpangan baku (S) sebesar 0,672 mSV sehingga diperoleh nilai pembatas dosis (NPD) sebesar:

$$NPD = 2,283 \text{ mSv} + 0,672 \text{ mSv} = 2,956 \text{ mSv}$$

dilakukan pembulatan ke atas sehingga besar nilai pembatas dosis yang diperoleh dari hasil kajian ini adalah 3 mSv.

Usulan nilai pembatas dosis (NPD) yang ditentukan di lingkungan PRTPR, BRIN sebesar 3 mSv atau 15% dari nilai batas dosis (NBD) yang ditetapkan BAPETEN di dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013, yaitu sebesar 30% dari nilai batas dosis (NBD) (sebesar 20 mSv per tahun untuk pekerja radiasi). Hasil kajian ini dapat dijadikan rekomendasi ke pemegang izin pemanfaatan tenaga nuklir sebagai acuan besaran nilai pembatas dosis (NPD) di setiap kegiatan litbangjirap yang ada di PRTPR, BRIN.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian penentuan nilai pembatas dosis (NPD) di PRTPR, BRIN, diperoleh besaran nilai pembatas dosis (NPD) sebesar 3 mSv atau sebesar 15% dari nilai batas dosis (NBD) yang ditetapkan BAPETEN di dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013.

Hasil kajian ini dapat dijadikan rekomendasi ke pemegang izin pemanfaatan tenaga nuklir sebagai acuan besaran nilai pembatas dosis (NPD) di setiap kegiatan litbangjirap yang ada di PRTPR, BRIN sehingga diharapkan setiap kegiatan litbangjirap yang ada di PRTPR, BRIN menjadi lebih optimal, baik dari aspek keselamatan maupun keluarannya.



## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih untuk rekan-rekan di Unit Kerja Keselamatan Kerja dan Lingkungan khususnya Sub Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi serta rekan-rekan di PRTPR, BRIN atas partisipasi serta dukungannya sehingga kajian ini dapat terlaksana dengan baik. Semoga kajian ini dapat dijadikan acuan sebagai bentuk upaya optimalisasi proteksi dan keselamatan radiasi di lingkungan PRTPR, BRIN.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, “Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir nomor 4 tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Kegiatan Pemanfaatan Tenaga Nuklir,” Jakarta, 2013.
- [2] S. Muhammad, “Komparasi penentuan nilai pembatas dosis antara metode quartilisasi dosis maksimum dengan metode distribusi frekuensi pada zona quartil atas,” dalam *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*, pp. 209–214, 2018.
- [3] Rr. Djarwanti RPS, F. Priyadi, dan Adelili, “Penetapan pembatas dosis di PTRR - BATAN menggunakan metoda kuartilisasi,” dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Teknologi Nuklir*, pp. 70–74, 2016.
- [4] Unit Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi, “Hasil evaluasi TLD 2017–2021 PAIR - BATAN,” Jakarta, 2021.
- [5] M. Aminudin dan F. A. E. Tethool, “Pemantauan dosis radiasi eksternal di PATIR - BATAN tahun 2012,” dalam *Prosiding Seminar Pengelolaan Perangkat Nuklir dan Pemanfaatan Isotop dan Radiasi*, pp. 145–150, 2013.
- [6] S. Muhammad and Rr. Djarwanti RPS, “Karakteristik nilai pembatas dosis dengan metode quartilisasi dosis maksimum, dalam *Prosiding Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir*, pp. 123–129, 2018.
- [7] S. Wiyuniati and Indragini, “Usulan nilai pembatas dosis bagi pekerja radiasi dan peserta pelatihan di Pusdiklat BATAN,” *Widyanyuklida*, vol. 15, no. 1, pp. 46–51, 2015.
- [8] Y. R. Akhmad, “Konsep *dose constraint* dan masalah penerapannya,” *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XV*, pp. 1–7, 2017.
- [9] International Atomic Energy Agency, “Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards,” GSR Part 3, Vienna, 2014.
- [10] International Atomic Energy Agency, “Occupational radiation protection,” GSG-7, Vienna, 2018.





## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

Buku ini tidak diperjualbelikan.



KL-011

## RANCANGAN KONTAINER PENYIMPANAN JANGKA PANJANG HASIL *DISMANTLING* ZAT RADIOAKTIF TERBUNGKUS YANG TIDAK DIGUNAKAN

### *DESIGN OF LONG-TERM STORAGE CONTAINER FOR DISMANTLED OF DISUSED SEALED RADIOACTIVE SOURCES*

Suhartono, Moch Romli, dan Mochamad Ramdan

#### ABSTRAK

Telah dibuat rancangan kontainer untuk menyimpan jangka panjang terhadap hasil *dismantling* zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan (ZRTTD). Kontainer penyimpanan jangka panjang tersebut perlu dirancang dan dibuat, untuk menjamin keselamatan dan keamanan selama proses penyimpanan ZRTTD. Proses perancangan dilakukan dengan mengidentifikasi persyaratan keselamatan radiasi terhadap sumber radioaktif dan bungkusan zat radioaktif. Sementara itu, perhitungan untuk tujuan proteksi radiasi terhadap rancangan kontainer tersebut dilakukan menggunakan perangkat lunak *MicroShield 7.02*. Dari proses perancangan yang telah dilakukan didapat desain kontainer penyimpanan jangka panjang ZRTTD kategori 3–5 berupa *shell drum* 200 liter yang di dalamnya terdapat blok timbal (Pb) berbentuk silinder dengan diameter 30 cm yang memiliki 6 lubang penyimpanan. Bahan struktur penyusun kontainer tersebut terdiri dari plat baja sebagai bahan struktur drum 200 liter dan 100 liter dengan ketebalan total 0,16 cm, beton cor dengan ketebalan 6,5 cm, serta timbal dengan ketebalan 5 cm. Kapasitas maksimal penyimpanan dari kontainer tersebut adalah 16,80 Ci untuk Cs-137, atau 0,45 Ci untuk sumber Co-60. Jika kontainer hasil rancangan tersebut diisi penuh dengan sumber radioaktif hasil *dismantling* ZRTTD maka laju dosis radiasi pada kontak permukaan luar kontainer tidak melebihi 2 mSv/jam. Nilai laju dosis tersebut relatif aman dan memenuhi kriteria bungkusan radioaktif dengan kategori III Kuning.

**Kata Kunci:** Rancangan; Kontainer; Penyimpanan; Jangka panjang; ZRTTD.

#### ABSTRACT

*Design of long-term storage container for dismantled of disused sealed radioactive sources (DSRS) has been made. A long-term storage container must be designed and manufactured, to ensure safety and security during the process of storing DSRS. The designing process is carried out by identifying*

Suhartono, M. Romli, & M. Ramdan

\*Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran BRIN, e-mail: suha017@brin.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

Suhartono, M. Romli, dan M. Ramdan, "Rancangan kontainer penyimpanan jangka panjang hasil dismantling zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 25, pp. 251–261, DOI: 10.55981/brin.690.c666, E-ISBN: 978-623-8372-02-7



*radiation safety and radioactive package requirements. Meanwhile, the calculation for radiation protection towards the container was done using the software MicroShield 7.02. From the designing process that had been carried out, resulted a long-term category 3–5 DSRS storage container design consist of a 200 liter shell drum in which containing a cylindrical lead (Pb) block with a diameter of 30 cm and has 6 storage holes. The structure material of the container consists of steel plate as a structural material for 200 liter and 100 liter drums with total thickness of 0.16 cm, cast concrete with a thickness of 6.5 cm, and lead with a thickness of 5 cm. The maximum storage capacity of these containers is 16.80 Ci for Cs-137, or 0.45 Ci for Co-60 sources. If the container completely filled with dismantled DSRS radioactive sources, then the dose rate at the contact of the outer surface container is estimated not to exceed 2 mSv/hour. That dose rate value is relatively safe and meets the criteria for radioactive packaging with category III Yellow.*

**Keywords:** Design; Container; Storage; Long-term; DSRS.

## PENDAHULUAN

Pusat Riset dan Teknologi Limbah Radioaktif (PRTLRT) ORTN, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) mempunyai tugas melaksanakan tugas teknis penelitian, pengembangan, pengkajian, penerapan, invensi dan inovasi, serta penyelenggaraan ketenaganukliran di bidang limbah radioaktif [1]. Salah satu jenis limbah radioaktif yang harus dikelola oleh PRTLRT adalah zat radioaktif yang tidak digunakan atau dikenal juga sebagai sumber radioaktif bekas. Limbah radioaktif jenis ini biasanya berasal dari rumah sakit dan industri pengguna sumber radioaktif.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 58 Tahun 2015 tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif, dan dokumen *IAEA Safety Standards, Safety Guide No. RS-G-1.9 Categorization of Radioactive Sources*, sumber radioaktif dikelompokkan menjadi 5 kategori [2],[3]. Pengelompokan sumber radioaktif tersebut didasarkan pada nilai perbandingan A/D, di mana A adalah aktivitas radionuklida, dan D adalah aktivitas jenis radionuklida dari sumber radioaktif yang dapat menyebabkan efek deterministik yang parah. Setiap radionuklida masing-masing memiliki nilai D (*D Value*). Sebagai contoh, radionuklida Co-60 memiliki nilai  $D = 0,03 \text{ TBq}$ , sedangkan Cs-137 memiliki nilai  $D = 0,1 \text{ TBq}$ . Tabel 1 adalah kategorisasi sumber radioaktif berdasarkan A/D.

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa sumber radioaktif yang digunakan untuk tujuan medis dan industri beragam kategorinya sesuai dengan tujuan pemanfaatan sumber radioaktif tersebut. Tujuan radioterapi di rumah sakit atau iradiasi produk industri dan hasil pertanian, biasanya menggunakan sumber radioaktif pemancar gamma kategori 1 yang memiliki nilai A/D besar yang  $\geq 1000$ . Sumber radioaktif pemancar radiasi gamma kategori 2 biasanya digunakan untuk radiografi industri dan brakiterapi. Sementara itu, pemanfaatan sumber radioaktif di industri untuk tujuan *gauging, well logging*, kalibrasi, penelitian, dan pengembangan biasanya menggunakan sumber radioaktif kategori 3–5.



Terdapat dua jenis zat radioaktif yang biasa digunakan di bidang industri dan kedokteran, yaitu zat radioaktif terbuka dan zat radioaktif terbungkus. Zat radioaktif terbuka adalah zat radioaktif yang tidak dibungkus dengan kapsul sehingga berpotensi menimbulkan kontaminasi dan menyebar ke lingkungan hidup. Contohnya, sumber radioaktif I-131, Sm-153, Tc-99m untuk diagnosa dan terapi di bidang medis. Penggunaan sumber radioaktif, seperti Hg-203, I-131, dan Kr-85 sebagai *tracer* radioaktif di bidang industri [4]. Sementara itu, zat radioaktif terbungkus biasanya dikemas dalam kapsul dengan integritas yang tinggi, di mana di dalam kapsul mengandung radionuklida spesifik dengan derajat kemurnian yang tinggi. Sumber dengan aktivitas tinggi, biasanya dikemas menggunakan dua buah kapsul baja tahan karat [5]. Beberapa radionuklida yang sering digunakan sebagai sumber radioaktif terbungkus di bidang industri dan kesehatan, antara lain Fe-55, Co-60, Se-75, Kr-85, Sr-90, Cd-109, Cs-137, Pm-147, Ir-192, dan Am-241 [6]. Aktivitas mula-mula dari radionuklida sangat beragam tergantung dari tujuan pemanfaatannya.

**Tabel 1.** Pengkategorian Sumber Radioaktif Berdasarkan Nilai A/D.

Kategori Sumber Radioaktif	Ambang Batas Radioaktivitas (A/D)	Jenis Penggunaan
1	$A/D \geq 1000$ (A/D lebih besar dari atau sama dengan 1000 (seribu))	Sumber radioaktif untuk irradiator Sumber radioaktif untuk radioterapi
2	$1000 > A/D \geq 10$ (A/D lebih kecil dari 1000 (seribu) dan lebih besar dari atau sama dengan 10 (sepuluh))	Sumber radioaktif untuk radiografi industri Sumber radioaktif untuk brakiterapi
3	$10 > A/D \geq 1$ (A/D lebih kecil dari 10 (sepuluh) dan lebih besar dari atau sama dengan 1 (satu))	Sumber radioaktif untuk <i>gauging</i> dengan sumber radio-aktif aktivitas tinggi Sumber radioaktif untuk <i>well logging</i> Sumber radioaktif untuk fotofluorografi
4	$1 > A/D \geq 0,01$ (A/D lebih kecil dari 1 (satu) dan lebih besar dari atau sama dengan 0,01 (nol koma nol satu))	Sumber radioaktif untuk <i>gauging</i> dengan sumber radio-aktif aktivitas rendah
5	$0,01 > A/D$ dan $A >$ dari tingkat pengecualian (A/D lebih kecil dari 0,01 dan A lebih besar dari tingkat pengecualian)	Sumber radioaktif untuk tujuan pendidikan, penelitian, dan pengembangan <i>Check sources</i> Sumber radioaktif untuk kalibrasi Sumber radioaktif untuk standardisasi

Seiring dengan waktu pemanfaatan, lama kelamaan aktivitas radionuklida yang terdapat dalam sumber radioaktif akan berkurang karena proses peluruhan sehingga intensitas radiasi berkurang dan tidak efektif lagi dalam penggunaannya. Sumber radioaktif terbungkus yang sudah berkurang aktivitasnya dan tidak digunakan lagi disebut sebagai zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan (ZRTTD), dan harus dikelola sebagai limbah radioaktif. Di Indonesia terdapat dua opsi untuk pengelolaan ZRTTD ini, yaitu dikembalikan ke negara asalnya atau diserahkan ke



ORTN (PRTL, ORTN, BRIN) [7]. Rancangan kontainer penyimpanan jangka panjang dalam makalah ini ditujukan untuk pengelolaan ZRTTD kategori 3–5 yang telah diserahkan ke PRTL, ORTN, BRIN.

Pada saat diserahkan ke PRTL, ORTN, BRIN, ZRTTD dari industri atau rumah sakit masih berada dalam wadah kontainernya (*source holder*). Bentuk dan dimensi *source holder* ini sangat beragam, ada yang berdimensi relatif kecil tetapi ada pula yang memiliki dimensi besar/panjang. Sampai saat ini, jumlah ZRTTD yang harus dikelola oleh PRTL, ORTN, BRIN mencapai ribuan unit sehingga memerlukan ruangan penyimpanan yang luas. Gambar 1 berikut ini menunjukkan beberapa *source holder* berisi ZRTTD yang banyak diterima oleh PRTL, ORTN, BRIN.



**Gambar 1.** Perbandingan dimensi sumber radioaktif dengan beberapa wadah kontainernya [8].

Efisiensi ruang penyimpanan dan tata kelola ZRTTD yang memenuhi persyaratan keselamatan dan keamanan sumber radioaktif maka sumber radioaktif yang masih tersimpan dalam wadah kontainernya tersebut dapat diambil dan dikumpulkan menjadi satu dalam wadah/kontainer penyimpanan jangka panjang. Salah satu rekomendasi dari Badan Tenaga Atom Internasional (*IAEA*) menyebutkan bahwa sumber-sumber radioaktif terbungkus yang terdapat dalam ZRTTD tersebut dapat diambil dan dikumpulkan dalam sebuah kapsul *stainless steel 304* (*SS 304*), selanjutnya kapsul tersebut ditutup dan dilas atau dikunci dengan sistem *screw* [9]. Wadah/kontainer asli yang sudah kosong dapat dimanfaatkan kembali misalnya dilebur untuk dicetak menjadi *shielding* radiasi baru sesuai kebutuhan. Gambar 2 menunjukkan kapsul *SS 304* yang digunakan untuk mengumpulkan dan menyimpan sumber-sumber radioaktif terbungkus hasil *dismantling* ZRTTD.



**Gambar 2.** Sumber-sumber radioaktif terbungkus hasil *dismantling* ZRTTD kategori 3–5 yang dikumpulkan dan dimasukkan ke dalam kapsul SS 304.

Kapsul SS 304 berisi beberapa sumber radioaktif terbungkus hasil *dismantling* ZRTTD kategori 3–5 maka laju dosis radiasi pada permukaan kapsul menjadi tinggi. Oleh karena itu, perlu dirancang dan dibuat kontainer penyimpanan jangka panjang yang sekaligus berfungsi sebagai *shielding* radiasi. Pada makalah ini akan dibahas rancangan kontainer penyimpanan jangka panjang berupa *shell drum* 200 liter yang di dalamnya terdapat sebuah *long term storage shield* dari bahan timbal (Pb). Sejumlah 6 buah kapsul SS 304 dapat dimasukkan ke dalam sebuah kontainer penyimpanan jangka panjang hasil rancangan ini. Diharapkan laju dosis radiasi pada kontak permukaan kontainer penyimpanan jangka panjang tidak melebihi 2 mSv/jam.

## METODE PERCOBAAN

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam kegiatan ini meliputi drum 100 liter dan 200 liter sesuai spesifikasi drum limbah yang digunakan di PRTL, ORTN, BRIN. Kapsul *stainless steel SS 304* yang digunakan untuk kondisioning sumber radioaktif bekas di PRTL, ORTN, BRIN. Sementara itu, alat yang digunakan untuk menghitung laju dosis radiasi setelah melewati bahan kontainer adalah *software MicroShield 7.02* yang telah resmi dimiliki oleh PRTL, ORTN, BRIN.

### Tata Kerja

Proses perancangan kontainer penyimpanan jangka panjang hasil *dismantling* ZRTTD ini dimulai dengan identifikasi persyaratan keselamatan dan keamanan terhadap zat radioaktif dan bungkusannya, spesifikasi drum 200 L sebagai wadah akhir penyimpanan, serta data pelimbahan ZRTTD. Referensi utama untuk proses ini adalah PP Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, PP Nomor 58 Tahun 2015 tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2015 tentang Keamanan Sumber Radioaktif, spesifikasi drum 200 L untuk pengelolaan



limbah radioaktif padat, dan data pelimbahan limbah radioaktif melalui elira dari tahun 2017–2020.

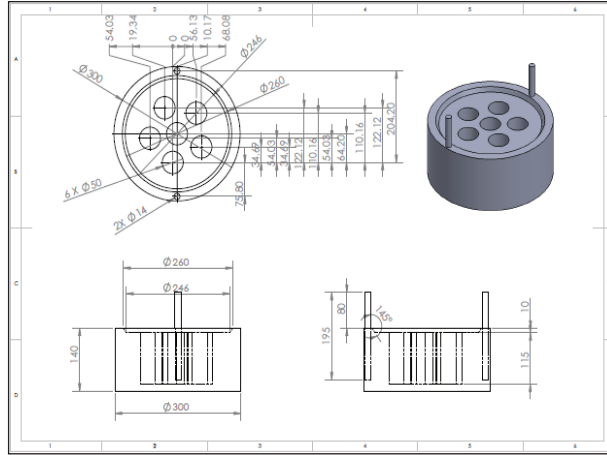
Perhitungan terhadap hubungan antara aktivitas radionuklida dengan laju dosis radiasi setelah melalui ketebalan tertentu bahan penyusun kontainer dilakukan menggunakan *software MicroShield 7.02*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

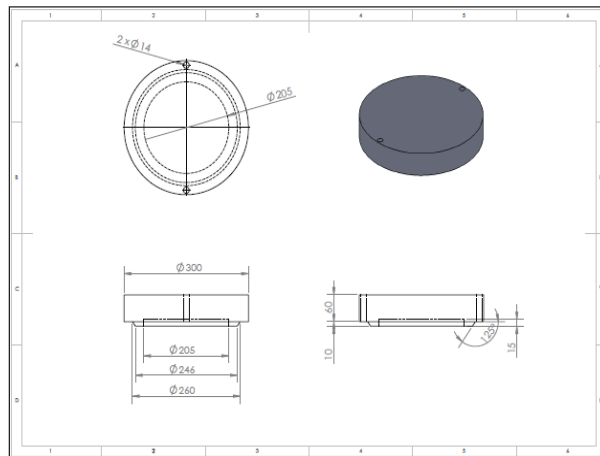
Berdasarkan data spesifikasi teknis drum yang tersedia dan biasa digunakan untuk pengelolaan limbah radioaktif di PRTL, ORTN, BRIN, diketahui bahwa diameter dalam dari drum 200 liter adalah 570 mm dan diameter dalam drum 100 liter adalah 440 mm [10]. Ketebalan plat baja untuk drum 200 liter adalah 1,1 mm dan untuk drum 100 liter adalah 0,5 mm. Untuk membentuk sebuah kontainer penyimpanan jangka panjang hasil *dismantling* beberapa ZRTTD maka dirancang sebuah *shell* drum 200 liter yang terdiri dari drum 200 liter yang di dalamnya berisi drum 100 liter yang ditempatkan secara simetris dengan jarak bagian dasar antar drum sebesar 150 mm. Selanjutnya, seluruh ruang antara drum 200 liter dan drum 100 liter diisi dengan semen cor setara K 300 dengan densitas sekitar 2,3 g/cc.

Di dalam drum 100 liter nantinya akan diisi sebuah *long term storage shield* (LTSS) berbentuk silinder yang terbuat dari bahan timbal (Pb). LTSS ini dirancang memiliki diameter 300 mm dan tinggi total 200 mm termasuk penutup dengan ketebalan 60 mm. LTSS dirancang memiliki 6 buah lobang berbentuk silinder dengan diameter lubang 50 mm dan tinggi lubang 115 mm. Pada lubang-lubang inilah akan ditempatkan kapsul-kapsul SS 304 yang telah diisi sumber-sumber radioaktif hasil pembongkaran (*dismantling*) unit ZRTTD kategori 3–5. Dimensi kapsul *stainless steel 304 L* adalah tinggi 130 mm, diameter luar 48 mm, dan tebal dinding 3 mm. Untuk tujuan *handling* LTSS ke dalam drum 100 liter maka LTSS dilengkapi dengan sistem pengangkat berupa batang besi berulir panjang total 195 mm.

Gambar 3–5 menunjukkan hasil rancangan kontainer penyimpanan jangka panjang hasil *dismantling* zat radioaktif terbungkus kategori 3–5 yang tidak digunakan.

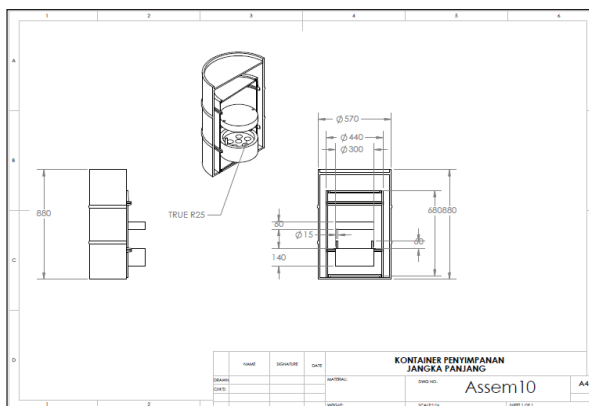


**Gambar 3.** Long term storage shield (LTSS) yang terbuat dari bahan timbal.



**Gambar 4.** Tutup LTSS





**Gambar 5.** Kontainer penyimpanan jangka panjang hasil *dismantling* zat radioaktif terbungkus kategori 3–5 yang tidak digunakan.

Data pelimbahan ZRTTD dari aplikasi e-lira milik PRTL, ORTN, BRIN menunjukkan bahwa sebagian besar ZRTTD yang dilimbahkan mengandung radionuklida Cs-137 dan Co-60. Oleh karena itu, perhitungan proteksi radiasi pada rancangan kontainer penyimpanan jangka panjang hasil *dismantling* ZRTTD ini didasarkan pada radionuklida Cs-137 dan Co-60. Radionuklida Cs-137 memiliki energi sinar gamma sebesar 662 keV [11], sedangkan Co-60 memiliki energi sinar gamma sebesar 1173 keV dan 1332 keV [12]. Perhitungan proteksi radiasi menggunakan dasar energi gamma Cs-137 dan Co-60 cukup representatif terhadap radionuklida-radionuklida yang banyak terdapat dalam ZRTTD dari aplikasi teknologi nuklir di bidang industri dan medis.

Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa ketebalan minimal bahan timbal *LTSS* terhadap lubang-lubang tempat kapsul berisi sumber-sumber radioaktif adalah 50 mm. Penempatan lubang-lubang tempat kapsul lebih ke tengah dari *LTSS* memungkinkan ketebalan timbal menjadi lebih besar sehingga laju paparan radiasi yang keluar dari kontainer akan lebih kecil lagi. Pada rancangan ini ketebalan timbal adalah 50 mm (= 5,0 cm) dan di titik inilah diasumsikan intensitas laju dosis radiasi yang menembus bahan kontainer penyimpanan jangka panjang menjadi paling besar sehingga kondisi ini akan digunakan untuk menghitung aktivitas maksimal radionuklida, diwakili oleh Cs-137 dan Co-60, yang dapat disimpan dalam setiap kapsul dan total aktivitas radionuklida dalam setiap *LTSS*. Dengan demikian, komposisi bahan struktur kontainer penyimpanan jangka panjang, terdiri dari timbal (Pb) tebal 5 cm, plat baja bahan drum 100 liter tebal 0,5 mm (=0,05 cm), semen cor tebal 6,5 cm, dan plat baja bahan drum 200 liter tebal 1,1 mm (=0,11 cm). Selain ketebalan bahan penyusun kontainer tersebut, untuk tujuan perhitungan laju dosis radiasi, perlu dimasukkan faktor bahan kapsul *stainless steel* setebal 3 mm dan celah udara antara drum 100 liter dengan *LTSS* sebesar 7 cm.



Perhitungan menggunakan perangkat lunak *MicroShield 7.02* menunjukkan bahwa setiap lubang *LTSS* dapat digunakan untuk menyimpan kapsul *stainless steel 304* yang berisi sumber radioaktif terbungkus *Cs-137* sebagai sumber titik dengan aktivitas maksimal 2,8 Ci. Terdapat 6 lubang *LTSS* yang dapat diisi dengan 6 kapsul *stainless steel 304* sehingga aktivitas maksimal sumber radioaktif *Cs-137* yang dapat disimpan dalam setiap kontainer penyimpanan jangka panjang adalah 16,80 Ci.

Dimension	Materials	Source	Buildup	Integration	Title	Sensitivity
Material	Shield 1 0.3 cm	Shield 2 5 cm	Shield 3 7 cm	Shield 4 6.5 cm	Shield 5 0.16 cm	Air Gap
Air			0.00122			0.00122
Aluminum						
Carbon						
Concrete				2.35		
Iron	7.86				7.86	
Lead		11.34				
Nickel						
Tin						
Tungsten						
Uranium						
Water						
Zirconium						

**Gambar 6.** Perhitungan aktivitas maksimal *Cs-137* sebagai sumber titik dalam setiap lubang *LTSS*.

Sementara itu, jika kontainer penyimpanan jangka panjang tersebut digunakan untuk menyimpan sumber radioaktif terbungkus mengandung radionuklida *Co-60*, maka kapasitas penyimpanan tiap lubang *LTSS* adalah 0,075 Ci sehingga aktivitas maksimal sumber radioaktif terbungkus *Co-60* yang dapat disimpan dalam setiap kontainer penyimpanan jangka panjang adalah 0,45 Ci. Perbedaan kapasitas maksimal penyimpanan kontainer terhadap radionuklida *Cs-137* dan *Co-60* diduga akibat perbedaan energi sinar gamma, di mana *Cs-137* memiliki energi gamma 662 keV, sedangkan radionuklida *Co-60* memiliki 2 energi energi gamma yang lebih tinggi, yaitu masing-masing 1173 keV dan 1332 keV.

Diketahui bahwa nilai *D (D Value)* untuk *Cs-137* adalah 0,1 TBq (= 2,70 Ci) maka nilai *A/D* untuk aktivitas maksimal *Cs-137* pada setiap kontainer penyimpanan jangka panjang adalah  $16,80 \text{ Ci} / 2,70 \text{ Ci} = 6,22$ . Dengan nilai *A/D* = 6,22 ini, aktivitas sumber radioaktif *Cs-137* dalam setiap kontainer penyimpanan jangka panjang digolongkan sebagai sumber radioaktif kategori 3 sehingga persyaratan keamanan penyimpanan/ pengelolaannya mengikuti tingkat keamanan B [13]. Radionuklida *Co-60* memiliki nilai *D* sebesar 0,03 TBq (= 0,81 Ci). Jika aktivitas maksimal sumber radioaktif *Co-60* yang dapat disimpan dalam setiap kontainer jangka panjang adalah 0,45 Ci maka nilai  $A/D = 0,45 \text{ Ci} / 0,81 \text{ Ci} = 0,56$ . Nilai *A/D* sebesar 0,56 untuk *Co-60* ini termasuk sumber radioaktif kategori 4 sehingga untuk penyimpanan/ pengelolaannya cukup memenuhi persyaratan keselamatan sumber Radioaktif [13].

Buku ini tidak diperjualbelikan.



## KESIMPULAN

Kontainer penyimpanan jangka panjang untuk menyimpan sumber-sumber radioaktif terbungkus hasil *dismantling* (pembongkaran) ZRTTD hasil rancangan ini terdiri dari *shell* drum 200 liter yang di dalamnya berisi *long term storage shield* (LTSS) dari bahan timbal (Pb) yang memiliki 6 lubang penyimpanan. Di dalam lubang-lubang penyimpanan ini akan digunakan untuk menyimpan kapsul-kapsul SS 304 yang berisi sumber-sumber radioaktif terbungkus hasil *dismantling* ZRTTD. Kapasitas maksimal penyimpanan sumber radioaktif dalam setiap kontainer penyimpanan jangka panjang adalah 16,80 Ci untuk radio nuklida Cs-137 atau 0,45 Ci untuk radionuklida Co-60.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami haturkan kepada rekan-rekan di Kelompok Keselamatan Kerja dan Operasi, Kelompok Pengelolaan Limbah, PRTL, ORTN, BRIN, dan pihak-pihak terkait yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian/kegiatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. R. Indonesia, "Peraturan Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 6 Tahun 2021 Tentang Tugas, Fungsi, dan Struktur Organisasi Riset Tenaga Nuklir," Indonesia, 2021.
- [2] P. R. Indonesia, "Peraturan Pemerintah Nomor 58 Tahun 2015 Tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan Dalam Pengangkutan Zat Radioaktif," Indonesia, 2015.
- [3] IAEA, "Categorization of radioactive sources IAEA safety standards series No. RS-G-1.9 categorization of radioactive sources," IAEA, Saf. Guid., p. 70, 2005, [Online]. Tersedia: [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1227\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1227_web.pdf).
- [4] Sugiharto, "Radioperunut dalam industri," 2019.
- [5] Aisyah, "Pengelolaan sumber radiasi bekas radioterapi," vol. 13, no. 1, pp. 46–61, 1997. <https://inis.iaea.org/search/45058495>
- [6] PTLR, ORTN, "Daftar Limbah Radioaktif (eLIRA)." Panduan Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, 2020.
- [7] P. R. Indonesia, "Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif," Indonesia, 2013.
- [8] J. C. Benitez-navarro, "Definitions and categorization of sealed radioactive sources," 2018.
- [9] J. C. Benitez-navarro, "Technical steps and options for the predisposal management of DSRS Category 3 - 5 sources," 2018.
- [10] PTLR, ORTN, "Spesifikasi Teknis Drum 200 L; 100 L; dan Shell Drum 200 L." Panduan Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, 2020.
- [11] S. Hunt, "Radioactive material data sheet : Cesium-137," 2001.
- [12] S. Hunt, "Radioactive material data sheet : Cobalt-60," 2001.



- [13] BAPETEN, “Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2015 tentang Keamanan Sumber Radioaktif,” pp. 1–34, 2015.
- [14] Sutomo, “Desain bangunan utama iradiator gamma kapasitas 200 kCi untuk iradiasi bahan pangan,” *PRIMA* Volume 10 Nomor 2, November 2013.
- [15] Suhartono, “Uji daya tembus radiasi pada pembungkus limbah reflektor triga mark II,” *Prosiding Hasil Penelitian Dan Kegiatan PTLR Tahun 2019*, pp 93–100, 2019.
- [16] Suhartono, “Aspek radiologi pada penyimpanan hasil pengondisian zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan di fasilitas penyimpanan sementara limbah aktivitas tinggi (PSLAT),” *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XV*, pp. 207, 2014, 2017.



## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

Buku ini tidak diperjualbelikan.



KL-012

## RANCANGAN KONSEPTUAL KONTAINER PENGANGKUTAN UNTUK LIMBAH RADIOAKTIF KAPSUL *FISSION PRODUCT* *MOLYBDENUM*

### *CONCEPTUAL DESIGN OF TRANSPORTATION CONTAINER FOR RADIOACTIVE WASTE FISSION PRODUCT MOLYBDENUM CAPSULE*

M. Romli, D. Pangestu, dan Suhartono

#### ABSTRAK

Merupakan suatu keniscayaan bahwa kegiatan beroperasinya teknologi nuklir akan menimbulkan limbah radioaktif yang memiliki rentang radioaktivitas rendah hingga tinggi. Salah satu pemanfaatan teknologi nuklir yang menghasilkan limbah dengan radioaktivitas cukup tinggi adalah produksi radioisotop, khususnya produksi *Molybdenum* dengan proses fisi di reaktor yang dilakukan oleh PT INUKI. Dari kegiatan tersebut, salah satunya dihasilkan limbah kapsul *stainless steel* dengan laju dosis yang cukup tinggi sekitar 1 Sv/jam. Agar proses produksi radioisotop dapat tetap berjalan dan menjamin keselamatan pengoperasian fasilitas di PT INUKI maka limbah tersebut harus dikelola dengan mengirimnya ke fasilitas pengelolaan limbah radioaktif milik Pusat Riset dan Teknologi Limbah Radioaktif (PRTLRL). Untuk menjamin keselamatan dalam pengangkutan limbah tersebut ke fasilitas PRTLRL maka diperlukan kontainer pengangkutan yang memadai untuk mengukung radiasi dan kemudahan penanganan limbah tersebut. Kontainer pengangkutan ini merupakan sub sistem dari fasilitas Penyimpanan Sementara Limbah Aktivitas Tinggi (PSLAT) milik PRTLRL. Kontainer pengangkutan didesain menggunakan perangkat lunak *MicroShield* dengan input data berasal dari survei yang telah dilakukan terhadap limbah kapsul *stainless steel* yang berada di dalam *hotcell* PT INUKI. Dalam pemodelan tersebut, digunakan beberapa pilihan material *shielding* untuk mencapai optimalisasi dari segi biaya dan teknis di lapangan. Dibandingkan dengan menggunakan material kombinasi *stainless steel* – beton – *stainless steel* yang membutuhkan ketebalan yang lebih besar, dipilihlah kombinasi material besi – timbal – besi yang lebih optimal dengan ketebalan yang lebih kecil, yaitu masing-masing 0,4 cm - 10 cm - 0,5 cm. Dengan pilihan material dan ketebalan tersebut, dari hasil pemodelan telah memenuhi persyaratan laju dosis untuk pengangkutan, yaitu maksimal 2 mSv/jam.

**Kata Kunci:** Limbah Kapsul; Kontainer Pengangkutan; *Microshield*; Laju Dosis.

#### ABSTRACT

*It is a necessity that the operation of nuclear technology will generate radioactive waste that has a low to high radioactivity range. One of the uses of nuclear technology that produces waste with high*

---

M. Romli, D. Pangestu, & Suhartono

\*Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran BRIN, e-mail: moch032@brin.go.id, moch.romli@brin.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

M. Romli, D. Pangestu, dan Suhartono, "Rancangan konseptual kontainer pengangkutan untuk limbah radioaktif kapsul fission product molybdenum," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 26, pp. 263–271, DOI: 10.55981/brin.690.c667, E-ISBN: 978-623-8372-02-7



*radioactivity is the production of radioisotopes, especially the production of Molybdenum by fission in the reactor carried out by PT INUKI. From these activities, one of them produced stainless steel capsule waste with a fairly high dose rate of about 1 Sv/hour. In order for the radioisotope production process to continue and ensure the safe operation of the facility at PT INUKI, the waste must be managed by sending it to a radioactive waste management facility belonging to the Center for Radioactive Waste Research and Technology (PRTLRL). To ensure safety in transporting the waste to the PRTLRL facility, adequate transport containers are needed to contain radiation and facilitate the handling of the waste. This transport container is a sub-system of the PRTLRL's Temporary Storage for High Activity Waste (PSLAT) facility. The transportation container is designed using Microshield software with input data derived from a survey that has been carried out on stainless steel capsule waste that is in the hotcell of PT INUKI. In the modeling, several choices of shielding materials are used to achieve cost and technical optimization in the field. Compared to using a combination of stainless steel – concrete – stainless steel which requires a larger thickness, a more optimal combination of iron – lead-iron material with a smaller thickness is chosen, each 0.4cm – 10cm – 0.5cm. With the choice of material and thickness, the modeling results have met the requirements for the dose rate for transportation, which is a maximum of 2 mSv/hour.*

**Keywords:** Capsule Waste; Transportation Container; Microshield; Dose Rate.

## PENDAHULUAN

Radioisotop dalam bentuk radiofarmaka banyak dimanfaatkan di bidang kesehatan, baik untuk tujuan diagnosis maupun terapi. Pada kebutuhan diagnosis, umumnya radionuklida yang digunakan merupakan pemancar radiasi gamma karena jenis radiasi ini dalam dosis tertentu tidak bersifat merusak, tetapi memiliki daya tembus yang besar sehingga memudahkan untuk mendeteksinya dari luar tubuh menggunakan kamera gamma [1]. Sekitar 80% prosedur diagnostik di kedokteran nuklir menggunakan radioisotop Technetium-99m ( $^{99m}\text{Tc}$ ). Technetium-99m ( $^{99m}\text{Tc}$ ) merupakan radionuklida turunan dari Molybdenum-99 ( $^{99}\text{Mo}$ ) yang dihasilkan dari proses pembelahan inti Uranium-235 ( $^{235}\text{U}$ ) di dalam reaktor nuklir. Proses produksi  $^{99}\text{Mo}$  ini menghasilkan limbah radioaktif dalam bentuk padat dan cair [2].

Di Indonesia, PT INUKI telah mulai memproduksi  $^{99}\text{Mo}$  sejak tahun 1983, tetapi hampir seluruh limbah radioaktif yang dihasilkan dari proses produksi tersebut tidak segera dikirimkan ke fasilitas pengelolaan limbah radioaktif yang ada di Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN) sehingga hanya menumpuk di dalam *hotcell*. Selain untuk PT INUKI sendiri, permasalahan limbah radioaktif tersebut juga menjadi tantangan tersendiri bagi ORTN karena fasilitas pengelolaan limbah radioaktif di ORTN harus menyiapkan sarana dan prasarana untuk mengelola limbah radioaktif yang memiliki aktivitas dan toksisitas yang relatif tinggi. Oleh karena itu, ORTN melakukan revitalisasi terhadap fasilitas Penyimpanan Sementara Limbah Aktivitas Tinggi (PSLAT) sebagai persiapan pengelolaan terhadap limbah PT INUKI yang memiliki radioaktivitas tinggi [3].

Dalam rangka meningkatkan kemampuan fasilitas PSLAT (Gambar 1), dibutuhkan sub-sistem kontainer pengangkutan untuk mengirimkan limbah



aktivitas tinggi jenis tertentu dari fasilitas penghasil limbah. Target dari rancang bangun kontainer pengangkutan yang dilakukan adalah untuk jenis limbah kapsul teriradiasi yang berasal dari proses produksi radioisotop  $^{99}\text{Mo}$  di PT INUKI. Dengan tersedianya kontainer pengangkutan yang memadai, diharapkan dapat meningkatkan keselamatan dan keamanan dalam pengelolaan limbah radioaktif dari kegiatan proses produksi  $^{99}\text{Mo}$ . Dengan begitu, secara langsung kegiatan rancang bangun ini dapat menghidupkan dan mendukung peningkatan produksi radioisotop dan radiofarmaka (khususnya  $^{99}\text{Mo}$ ) buatan dalam negeri.

Salah satu jenis limbah radioaktif yang dihasilkan dari kegiatan proses produksi radioisotop Molybdenum-99 ( $^{99}\text{Mo}$ ) adalah kapsul teriradiasi dari bahan *stainless steel* yang sering disebut sebagai kapsul *fission product molybdenum (FPM)*. Kapsul *FPM* ini memiliki tingkat radiasi yang sangat tinggi, dan dapat mencapai orde *Sievert/jam (Sv/jam)*. Jika ingin melakukan pengangkutan non-eksklusif maka tingkat radiasi maksimum di permukaan luar kontainer pengangkutan harus kurang dari atau sama dengan  $2\text{ mSv/jam}$  (Kategori III-kuning) [4].



**Gambar 1.** Fasilitas PSLAT

Oleh karena itu, dirancang kontainer pengangkutan yang mampu menahan paparan radiasi limbah kapsul *FPM* hingga di bawah  $2\text{ mSv/jam}$ . Selain sebagai





pemenuhan terhadap regulasi, ini juga sebagai upaya pembatasan dosis radiasi yang berpotensi diterima oleh petugas selama melakukan pengangkutan. Dosis radiasi dapat memberikan efek stokastik dan non-stokastik. Di mana efek stokastik ini dapat terjadi secara probabilitas dan tidak memerlukan dosis ambang. Sementara itu, efek non-stokastik erat kaitannya dengan dosis ambang jika dosis radiasi yang diterima di bawah dosis ambang maka tidak ada efek samping yang terjadi [5]. Oleh karena itu, dengan kontainer pengangkutan yang memadai dalam menahan radiasi, dapat mengurangi probabilitas terjadinya efek stokastik dan sekaligus mencegah terjadinya efek non-stokastik.

## **METODE PERCOBAAN**

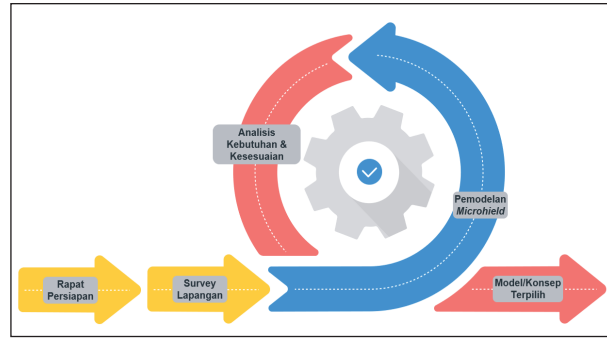
### **Bahan dan Alat**

Kegiatan perancangan ini menggunakan perangkat lunak *MicroShield 7.02*. *MicroShield* merupakan produk dari *Grove Software, Inc.* yang versi pertamanya mulai dibangun tahun 1990. Perangkat lunak ini digunakan untuk melakukan pemodelan dan perhitungan perisai radiasi (*shielding*) secara deterministik yang terbatas pada bentuk geometri tertentu [6].

Pemodelan penahan radiasi dengan menggunakan *MicroShield* sangat mudah dan cepat dilakukan, tetapi perangkat lunak ini tidak dapat memberikan hasil yang presisi untuk bentuk geometri yang kompleks dan material *shielding* yang terdiri lebih dari 1 (satu) jenis material. Meskipun demikian, pemodelan dengan menggunakan *MicroShield* sudah sangat memadai untuk tujuan optimasi prinsip *ALARA (As Low As Reasonably Achievable)* [7].

### **Tata Kerja**

Proses rancang bangun ini digambarkan melalui *agile modeling* (Gambar 2), yaitu suatu proses yang berdasarkan praktik untuk memodelkan dan mendokumentasikan suatu sistem/sub sistem secara efektif. Di dalam *agile modeling*, ditentukan tujuan sebelum membuat model. Di samping itu, dibuat beberapa model di mana tiap model mewakili aspek yang berbeda dari model lain. *Agile modeling* memiliki 3 (tiga) tujuan, yaitu untuk menentukan dan menunjukkan bagaimana melakukan kombinasi antara prinsip dan praktik untuk pemodelan yang efektif dan mudah, mengatasi permasalahan pemodelan dengan pendekatan yang mudah, serta untuk meningkatkan aktivitas pemodelan yang juga mendukung untuk pengembangan perangkat lunak yang digunakan [8].



**Gambar 2.** Agile Modeling pada Rancang Bangun Kontainer Pengangkutan

Kegiatan rancang bangun dimulai dengan rapat persiapan survei yang sekaligus menjadi media diskusi dengan pemilik limbah radioaktif, yaitu PT INUKI pada tanggal 10 Februari 2020. Kemudian, dilakukan survei lapangan limbah radioaktif milik PT INUKI, khususnya kapsul *SS/ FPM*, pada tanggal 18 Februari 2020. Dari hasil survei lapangan ini dilakukan pemodelan *transport container* untuk beberapa desain dengan menggunakan perangkat lunak *MicroShield 7.02*. Dari desain-desain yang telah dimodelkan, kemudian dianalisis untuk melihat desain kontainer pengangkutan mana yang memiliki kemampuan penahan radiasi yang optimal dan yang paling mudah angkat angkutnya, baik pada saat proses *loading* di fasilitas PT INUKI maupun pada saat *unloading* di Fasilitas PSLAT milik PRTLRL.

Dari hasil survei lapangan yang dilakukan pada tanggal 18 Februari 2020 didapatkan tingkat radiasi dari sampel 3 (tiga) buah kapsul *SS/FPM*, sebagai berikut.

**Tabel 1.** Hasil Pengukuran Tingkat radiasi Sampel Kapsul FPM

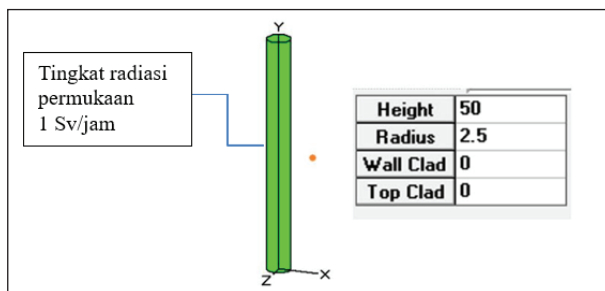
No.	Jenis Kapsul	Laju Dosis (mSv/jam) pada jarak	
		Kontak	100 cm
1.	Kapsul SS	893	3.67
2.	Kapsul SS	890	3.96
3.	Kapsul SS	153	1.78

Dengan tingkat radiasi kapsul *FPM* yang tinggi (orde ratusan *mSv/jam* hingga *Sv/jam*), untuk mengirimkan limbah radioaktif tersebut ke Fasilitas PSLAT milik PRTLRL harus digunakan kontainer pengangkutan yang mampu menahan radiasi hingga lebih kecil atau sama dengan 2 *mSv/jam*.

Langkah pertama pemodelan kontainer pengangkutan dilakukan dengan memperkirakan aktivitas tiap kapsul. Dari hasil survei lapangan dan histori/dokumentasi produksi <sup>99</sup>Mo maka dilakukan perhitungan perkiraan aktivitas kapsul *FPM* dengan <sup>60</sup>Co sebagai radionuklida pemancar gamma dominan yang terdeteksi. Dengan asumsi tingkat radiasi pada permukaan kapsul *FPM* adalah 1 *Sv/jam* maka didapatkan



perkiraan aktivitas tiap kapsul adalah 2 Ci. Perhitungan perkiraan aktivitas kapsul ini menggunakan perangkat lunak *MicroShield 7.02* dengan melakukan *trial & error* hitung balik hingga mendapatkan paparan radiasi permukaan mendekati 1 Sv/jam untuk bahan dan dimensi kapsul yang telah diketahui.



Gambar 3. Dimensi dan Tingkat Radiasi Kapsul *FPM*

Kapsul *FPM* merupakan kapsul berbentuk silinder dengan dimensi tinggi 50 cm dan jari-jari 5 cm. Dengan berbekal estimasi aktivitas dan dimensi kapsul *FPM* maka dapat dilakukan pemodelan kontainer pengangkutan dan menggunakan perangkat lunak *Microshield 7.02*.

Desain dari kontainer yang juga berperan sebagai perisai radiasi (*shielding*) akan dibuat dengan memperhatikan radionuklida dan jenis radiasinya. Di mana kontainer menjadi penghalang yang dapat menyerap energi pancaran/paparan radiasi sehingga diharapkan sebagian besar energi yang datang dapat diserap oleh kontainer tersebut. Secara matematis, intensitas radiasi awal ( $I_0$ ) yang melewati perisai radiasi tersebut akan menjadi intensitas radiasi akhir ( $I$ ) menurut persamaan:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

di mana  $\mu$  adalah koefisien atenuasi linier dari material sebagai perisai radiasi untuk radiasi gamma dan sinar X dalam satuan  $\text{cm}^{-1}$  dan  $x$  adalah tebal dari bahan perisai radiasi yang digunakan [9].

Persamaan tersebut adalah bentuk sederhana dari pemodelan perisai radiasi. Pemodelan dengan menggunakan *MicroShield* menggunakan perhitungan yang lebih komprehensif dengan memperhatikan geometri sumber radioaktif dan perisai radiasi, material tunggal atau kombinasi untuk perisai radiasi, aktivitas dari 1 (satu) atau lebih jenis radionuklida, anak luruh radionuklida, jarak pajanan, dan juga *build up factor*.

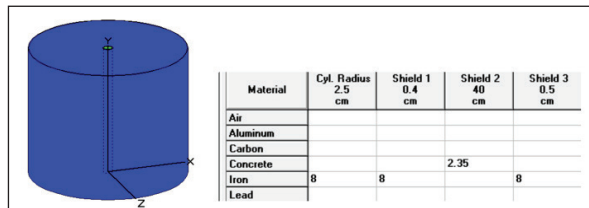
Dalam memilih jenis material perisai radiasi, perlu dipertimbangkan ketersediaan, efektivitas, pertimbangan ekonomi, dan kendala dalam mengaplikasikannya [10]. Dalam desain yang akan dibuat digunakan 2 (dua) jenis material yang relatif murah dan mudah didapatkan. Yang pertama adalah timbal (*Pb*), di mana material ini paling sering digunakan sebagai perisai radiasi karena memiliki nomor atom yang



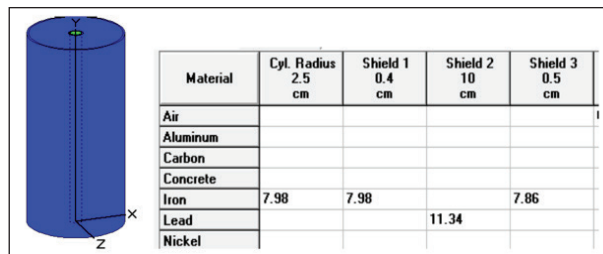
tinggi, densitas tinggi, biaya yang relatif murah, dan tentunya efektif dalam menahan radiasi gamma. Material kedua yang digunakan dalam desain ini adalah beton, di mana beton merupakan material yang efektif dan ekonomis untuk dijadikan perisai radiasi seperti yang diaplikasikan pada bangunan reaktor nuklir, akselerator, dan juga laboratorium penelitian yang menggunakan radioaktif dengan aktivitas relatif tinggi. Ini dikarenakan kuat tekan dan durabilitas material beton yang lama [11].

Dengan menggunakan perangkat lunak *MicroShield 7.02*, Dilakukan pemodelan dengan 2 (dua) jenis alternatif material di atas sebagai perisai radiasi.

- 1) Desain kontainer 1 (Gambar 4): bentuk silinder terbuat dari material SS – beton – SS dengan tebal masing-masing 0,4 cm : 40 cm : 0,5 cm.
- 2) Desain kontainer 2 (Gambar 5): bentuk silinder terbuat dari material besi – timbal – besi dengan tebal masing-masing 0,4 cm : 10 cm : 0,5 cm.



Gambar 4. Desain Kontainer 1



Gambar 5. Desain Kontainer 2

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan pemodelan *Microshield 7.02* untuk perhitungan perisai radiasi kapsul *FPM*, nilai tingkat radiasi pada permukaan kapsul dengan pemodelan *cylinder surface* untuk desain kontainer pertama adalah 1,33 mSv/jam dan untuk desain kontainer kedua adalah 0,53 mSv/jam. Dengan demikian, desain kontainer pengangkutan yang digunakan adalah desain kontainer kedua.

Untuk mengoptimalkan performa tebal perisai radiasi (timbal/ *Pb*) terhadap penurunan tingkat radiasi maka dilakukan variasi tebal *Pb* yang digunakan sebagai berikut.

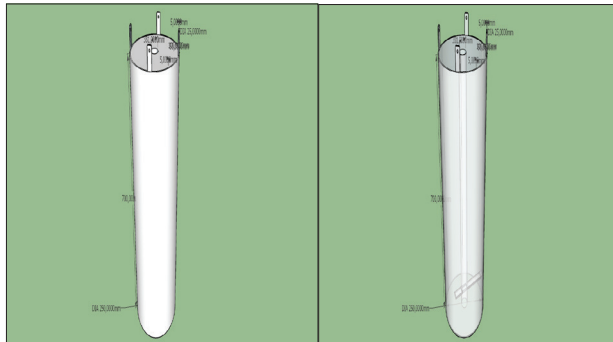


**Tabel 2.** Variasi Tebal *Pb* dengan Tingkat Radiasi

Tebal Pb (cm)	Paparan Kontak (mSv/jam)
8	2.22
9	1.08
10	0.53

Dari hasil tersebut, dapat diputuskan bahwa desain yang akan digunakan adalah desain kontainer kedua dengan perisai radiasi berupa *Pb* dengan tebal minimal 9 cm. Selain kemampuan menahan radiasi yang lebih baik, dengan ketebalan yang lebih kecil akan memudahkan dalam angkat angkut meskipun tetap membutuhkan alat bantu. Dengan ketersediaan bahan *Pb* yang dimiliki oleh PRTLRL sehingga biaya pembuatan kontainer pengangkutan dengan desain kontainer kedua diperkirakan tidak akan berbeda jauh dengan desain kontainer pertama yang berbahan beton.

Setelah mendapatkan jenis material dan ketebalan perisai radiasi yang memadai, berikutnya dilakukan desain purwarupa dari kontainer yang akan dibuat dengan meninjau kemudahan angkat dan juga *loading-unloading*. Kontainer berbentuk tabung yang telah didesain menggunakan *MicroShield* kemudian ditambahkan bagian yang akan digunakan untuk memudahkan dalam penggunaannya nanti untuk pengangkutan limbah kapsul *FPM*.



**Gambar 6.** Desain Purwarupa Kontainer Pengangkutan Kapsul *FPM*

## KESIMPULAN

Untuk mengangkut limbah radioaktif kapsul *FPM* dari fasilitas PT INUKI ke Fasilitas PSLAT milik PRTLRL, diperlukan kontainer pengangkut yang memenuhi persyaratan yang ada di dalam Peraturan Pemerintah Nomor 58 Tahun 2015 tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif. Dari kegiatan rancang bangun konseptual yang dilakukan, didapatkan bahwa desain kontainer pengangkutan yang digunakan adalah kontainer pengangkutan yang menggunakan material *Pb* dengan tebal minimal 9 cm.



## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada manajemen ORTN pada umumnya, dan khususnya kepada rekan-rekan dalam Tim Pengembangan Teknologi Pengelolaan Limbah Radioaktif Aktivitas Tinggi yang telah membantu dalam kegiatan rancang bangun ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. E. Sriyani, S. I. S. I. S, and A. H. Ws, "Optimalisasi penandaan 99mTc-Dtpa-Ketokonazol sebagai radiofarmaka untuk deteksi infeksi fungi," *Jurnal Sains Dan Teknologi Nuklir Indonesia*, vol. 14, no. 1, Nov. 2013, doi: 10.17146/jstni.2013.14.1.681.
- [2] S. K. Lee dkk., "Development of fission 99Mo production process using HANARO," *Nucl. Eng. Technol.*, vol. 52, no. 7, pp. 1517–1523, 2020, doi: 10.1016/j.net.2019.12.019.
- [3] D. S. Wisnubroto dkk., "Challenges of implementing the policy and strategy for management of radioactive waste and nuclear spent fuel in Indonesia," *Nucl. Eng. Technol.*, vol. 53, no. 2, pp. 549–561, 2021, doi: 10.1016/j.net.2020.07.005.
- [4] Organismo Internacional de Energía Atómica, "SSR-6 (Rev.1) - Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material," *IAEA Saf. Stand. Prot. people Environ.*, vol. 6, 2018.
- [5] F. Suharyanto, R. Oemiati, dan T. A. Jovina, "Level of radiation exposure in several hospitals in Indonesia," *Heal. Sci. J. Indones.*, vol. 3, pp. 15–18, Jun. 2012, doi: 10.22435/hsji.v3i1Jun.420.15-18.
- [6] M. Adams and S. Smalian, "Shielding calculations on waste packages - the limits and possibilities of different calculation methods by the example of homogeneous and inhomogeneous waste packages," *EPJ Web Conf.*, vol. 153, pp. 2016–2018, Jan. 2017, doi: 10.1051/epjconf/201715305023.
- [7] M. M. Lištjak dkk., "Buildup factors for Multilayer shieldings in deterministic methods and their comparison with monte carlo," pp. 2–5.
- [8] S. Ambler, *Agile Modeling: Effective Practices for eXtreme Programming and the Unified Process*. 2002.
- [9] Irsyad, S. Purnomo, dan R. H. Oetami, "Design of reflector TRIGA mark II Bandung waste container shielding using micro shield 7.02.," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1436, p. 012076, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1436/1/012076.
- [10] V. Kumar dkk., "Investigations on some low-Z alkali minerals as gamma-ray shields," *Int. J. Latest Res. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 4, pp. 324–333, 2012.
- [11] R. Mirji and B. Lobo, "24. Radiation shielding materials: A brief review on methods, scope and significance," *P.C. Jabin Sci. Coll.*, no. June, p. 27, 2017.



## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

Buku ini tidak diperjualbelikan.



KL-013

## PENGEMBANGAN SISTEM PEMANTAU RADIASI KONTAMINASI UDARA RADON DAN THORON *ONLINE*

### *DEVELOPMENT OF ONLINE RADIATION MONITORING SYSTEM ON RADON ( $^{222}\text{Rn}$ ) AND THORON ( $^{220}\text{Rn}$ ) AIR CONTAMINATION*

Adi Wijayanto

#### ABSTRAK

Kebanyakan orang menghabiskan waktu di dalam ruangan kerja di mana tingkat polutan berbahaya sering kali jauh lebih tinggi daripada di dalam rumah. Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) dan thoron ( $^{220}\text{Rn}$ ) adalah polutan radioaktif. Radioisotop ini merupakan sumber utama radiasi pengion. Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) termasuk dalam kelompok gas mulia dan radioaktif. Paparan radon jangka panjang dapat meningkatkan risiko kanker paru-paru. Untuk mengetahui tingkat kontaminasi udara radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) dan thoron ( $^{220}\text{Rn}$ ) diperlukan sistem pemantau radiasi kontaminasi *online* agar dapat dipantau setiap saat sebelum pekerja memasuki ruang kerja. Di samping itu, pemantauan *online* juga untuk mengetahui dampak sistem ventilasi udara terhadap tingkat konsentrasi radon dan thoron yang berkontribusi terhadap dosis efektif bagi pekerja. Alat yang digunakan dalam pengukuran radon adalah RAD7. RAD7 diintegrasikan ke dalam sistem pemantau radiasi *online* yang ada di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) dan Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3). Hasil integrasi didapatkan hasil yang sesuai dengan pengukuran secara manual. Hasil pengukuran radon (indoor) menunjukkan A - Radon Sniffer Mode Counts (Po-218) 60%, B - Thoron 1 Windows (Po-216) 40%, C - Radon Counts (Po-214) 0%, D - Thoron 2 Windows (Po-212) 0%, konsentrasi radon  $96 \pm 19 \text{ Bq/m}^3$ . Hasil pengukuran radon di udara, menunjukkan bahwa konsentrasi radon di ruang perkantoran di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) di bawah  $300 \text{ Bq/m}^3$  sehingga masih aman untuk bekerja.

**Kata Kunci:** Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ); Thoron ( $^{220}\text{Rn}$ ); Kontaminasi Udara; RAD7; Sistem *Online*.

#### ABSTRACT

*Most people spend time indoors, where levels of harmful pollutants are often much higher than staying at home. Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) and Thoron ( $^{220}\text{Rn}$ ) are radioactive pollutants. These radioisotopes are major source of ionizing radiation. Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) belongs to the group of noble and radioactive gases. Long-term exposure to radon can increase the risk of lung cancer. To determine the level of air contamination*

A. Wijayanto

\*Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran BRIN, e-mail: adiw004@brin.go.id

@ Penerbit BRIN"

A. Wijayanto, "Pengembangan sistem pemantau radiasi kontaminasi udara radon dan thoron *online*," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 27, pp. 273–282, DOI: 10.55981/brin.690.c668, E-ISBN: 978-623-8372-02-7





*of radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) and thoron ( $^{220}\text{Rn}$ ), an online radiation contamination monitoring system is needed so that it can be monitored at any time before workers enter the workspace. In addition, the online system are also for determining the impact of the air ventilation system on the level of radon and thoron concentrations that contribute to the effective dose for workers. The tool used in measuring radon is RAD7. RAD7 is integrated into the online radiation monitoring system at the Radioactive Waste Installation (RWI) and the Transfer Channel-Interim Storage for Spent Fuel (KH-IPSB3). The result of the integration was obtained in accordance with manual measurements. Radon measurement results show A - Radon Sniffer Mode Counts (Po-218) 60%, B - Thoron 1 Windows (Po-216) 40%, C - Radon Counts (Po-214) 0%, D - Thoron 2 Windows (Po -212) 0%, radon concentration  $96 \pm 19 \text{ Bq/m}^3$ . The result of measurements in the air shows that the concentration of radon in the office space at PTLR is below  $300 \text{ Bq/m}^3$ , so it is still safe to work.*

**Keywords:** Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ); Thoron ( $^{220}\text{Rn}$ ); Air Contamination; RAD7; Online System.

## PENDAHULUAN

Berdasarkan Undang-Undang No. 10/1997 tentang Ketenaganukliran dan Peraturan Pemerintah No. 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, kegiatan pengelolaan limbah radioaktif di Indonesia dilaksanakan oleh Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN) yang selanjutnya menjadi Tugas dan Fungsi **Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR)** yang saat ini menjadi Pusat Riset dan Teknologi Limbah Radioaktif-Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRTL-RBRIN) [1]. Pengelolaan limbah radioaktif merupakan kegiatan yang mencakup pengumpulan, pengelompokan, pengolahan, pengangkutan, penyimpanan sementara, dan penyimpanan lestari. Pengelolaan limbah radioaktif tersebut memiliki potensi kontaminasi udara, untuk itu perlu dilakukan kegiatan pengukuran tingkat kontaminasi atau konsentrasi udara terutama radon dan thoron [2].

Setiap tempat kerja selalu mengandung berbagai potensi bahaya yang dapat memengaruhi kesehatan tenaga kerja atau dapat menyebabkan timbulnya penyakit akibat kerja. Potensi bahaya adalah segala sesuatu yang berpotensi menyebabkan terjadinya kerugian, kerusakan, cedera, sakit, kecelakaan, atau bahkan dapat mengakibatkan kematian yang berhubungan dengan proses dan sistem kerja. Undang-Undang No 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja pada Pasal 1 menyatakan bahwa tempat kerja adalah tiap ruangan atau lapangan, tertutup atau terbuka, bergerak atau tetap, di mana tenaga kerja, atau yang sering dimasuki tenaga kerja untuk keperluan suatu usaha, dan di mana terdapat sumber-sumber bahaya. Salah satu potensi bahaya yang dapat mengakibatkan masalah kesehatan adalah keberadaan gas radon di udara pada tempat kerja [3].

Radon adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Rn dan nomor atom 86. Radon ditemukan pertama kali oleh Friedrich Ernst Dorn (27 Juli 1848–16 Desember 1916) yang merupakan seorang fisikawan dari Jerman. Radon juga termasuk dalam kelompok gas mulia dan radioaktif. Radon terbentuk dari penguraian radium. Radon juga gas yang paling berat dan berbahaya bagi kesehatan.  $^{222}\text{Rn}$



mempunyai waktu paruh 3,8 hari dan dapat digunakan dalam radioterapi. Radon dapat menyebabkan kanker paru-paru, dan sebagai penyebab atas 20.000 kematian di Uni Eropa setiap tahunnya [4]. Keberadaan radon di lingkungan tidak bisa dipisahkan dari thoron [5]. Selain banyak berasal dari lingkungan, gas radon juga dapat berasal dari bangunan yang ada di sekitar ruangan, di mana konsentrasi radon di dalam ruangan tersebut dapat dipengaruhi oleh kondisi, bentuk dan material/bahan bangunan. Konsentrasi radon dan thoron dalam ruangan dipengaruhi oleh sistem tata udara, baik sistem ventilasi atau *VAC off gas*. Efek dari dosis radiasi serendah apapun selalu terdapat kemungkinan untuk menimbulkan perubahan pada sistem biologik, baik pada tingkat molekul maupun sel. Dengan demikian, radiasi dapat pula tidak membunuh sel, tetapi mengubah sel. Sel yang mengalami modifikasi atau sel yang berubah ini mempunyai peluang untuk lolos dari sistem pertahanan tubuh atau malah menjadi lebih kuat. Modifikasi sel ini akan terjadi secara acak dan tanpa dosis ambang dan akan muncul setelah melewati waktu yang cukup lama. Jalur radon yang masuk ke tubuh manusia yang akan meradiasi paru-paru [5].

Pengendalian keselamatan dalam pengelolaan limbah radioaktif dilakukan melalui pemantauan parameter operasi dengan peralatan yang terpasang di IPLR salah satunya dengan monitor tingkat kontaminasi udara radon dan thoron. Sistem pemantau tingkat kontaminasi udara radon dan thoron ini menggunakan perangkat RAD7 untuk pemantauan di IPLR dan KH-IPSB3. Data dari RAD7 tersebut perlu diintegrasikan ke dalam sistem pemantau radiasi *online* terpusat sehingga data tersebut dapat ditampilkan dalam display secara *realtime* dan dapat diakses secara langsung oleh pekerja radiasi. Data dari pemantauan radon dan thoron ini dapat dijadikan informasi dini (*Early Warning System*) kepada pekerja radiasi [6].

Oleh karena itu, pengendalian radon di ruang kerja perlu dilakukan, guna mencegah peluang terjadinya masalah kesehatan akibat radiasi dari gas radon. Pengendalian radon di dalam ruangan sebaiknya dimulai dari perencanaan pembangunan suatu gedung atau bangunan. Selain itu, diperlukan sistem pemantau radiasi secara *online* yang dapat dipantau setiap saat. Dalam makalah ini dibahas tentang pengembangan sistem pemantau radiasi radon dan thoron *online* dengan menggunakan Raspberry PI 3B+. Pengukuran radon dan thoron *online* ini suatu hal yang baru dengan mengikuti perkembangan teknologi *Internet of Things* pada era Revolusi Industri 4.0. Selain itu, juga dibahas Integrasi data ke dalam Radiation Monitoring Sistem (Radmon) dan cara mengestimasi dosis efektif terhadap pekerja dari pengukuran konsentrasi radon dan thoron tersebut.

## METODE

### Bahan dan Alat

Alat yang digunakan dalam pengukuran radon adalah RAD7 Radon Thoron Monitor. RAD7 diintegrasikan ke dalam sistem pemantau radiasi *online* yang ada di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) dan Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan



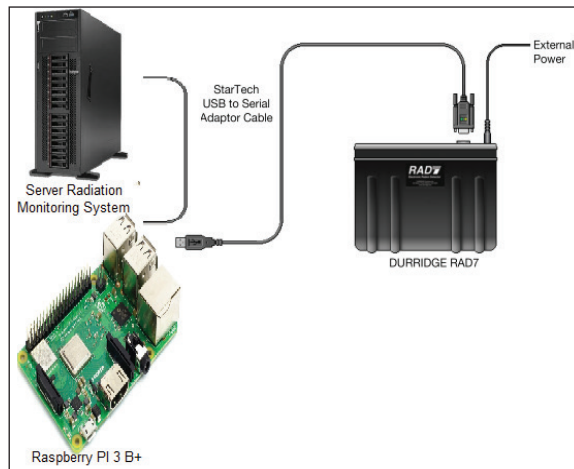
Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3) [7]. Pengukuran konsentrasi radon dan thoron dapat dilakukan *indoor* maupun *outdoor*. RAD7 Radon Thoron Monitor ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** RAD 7 Radon Thoron Monitor [8]

### Tata Kerja

Salah satu cara untuk mengetahui tingkat konsentrasi radon dan thoron yang berkontribusi terhadap dosis efektif pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) dilakukan dengan metode aktif, yaitu dilakukan dengan menggunakan alat yang secara langsung dapat membaca konsentrasi radon dan thoron yang diukur secara *realtime* dan *online*. RAD7 mengirimkan data serial ke Raspberry PI 3B+ sebagai *node*, kemudian data dikirim ke server *Radiation Monitoring System* (Radmon) secara *realtime*. Data tersebut diintegrasikan ke dalam tampilan *Radiation Monitoring System* (Radmon). Teknik antar muka untuk pengambilan data RAD7 yang terintegrasi dengan Server Radmon dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Teknik Antarmuka Pengambilan Data RAD7 Terintegrasi dengan Server Radmon [8]



Dengan memberikan perintah pada komunikasi serial “Special ComAll”, dengan baudrate 9600 bps, data bits 8 bits, parity bit none, stop bits 1 bit. Data yang diterima dengan format 009,99,10,29,04,18,4823.,337.8,45.4, 2.9,46.6,0.3, 2201,14, 23.7, 5, 7, 7.09, 00, 125, 28.32743, .8500846, 255. Mengartikan nilai-nilai yang dimaksud, dijelaskan dalam Gambar 3.

ID	Field Name	Notes
1	Record Number	Ranges from 001 to 999
2	Year	2 digit value
3	Month	2 digit value
4	Day	2 digit value
5	Hour	2 digit value
6	Minute	2 digit value
7	Total Counts	Integer indicating total counts recorded during test
8	Live Time	Expressed in minutes
9	Percent of total counts in win. A	These 4 windows will not always add up to 100% since counts can come into channels below or above these windows.
10	Percent of total counts in win. B	
11	Percent of total counts in win. C	
12	Percent of total counts in win. D	
13	High Voltage Level	Ranges from 2200V to 2300V
14	High Voltage Duty Cycle	Ranges from 0-100%; typically 10-20%
15	Temperature	Measured in °C or °F depending on RAD7 setup
16	Relative humidity of sampled air	Should be kept below 10% for most accurate test
17	Leakage Current	Ranges from 0 to 255. Above 20 is cause for concern.
18	Battery Voltage	Below 6.00V is a discharged battery. Does not affect accuracy of test but indicates need for recharge.
19	Pump Current	Ranges from 0-260mA. Typically 40-80mA; Above 100mA possible clogged filter or obstruction.
20	Flags Byte	This is a number between 0 and 255 which represents one data byte consisting of eight individual bits: Bits 0 and 1 indicate the pump state: either Off (0,0), On (0,1), Timed (1,0), or Grab (1,1). Bit 2 is not defined. Bit 3 indicates whether Thoron is On, in which case the thoron reading appears on the end-of-cycle printout. Bits 4 and 5 indicate the measurement type: either Radon in Air (0,0), Wat-40 (1,0), or WAT250 (1,1). Bit 6 indicates whether the RAD7 is in Auto mode, meaning it changes from SNIFF to NORMAL after the first 3 hours. Bit 7 indicates whether the RAD7 is in SNIFF mode.
21	Radon concentration	Expressed in pCi/L, Bq/m <sup>3</sup> , cpm, or # counts, depending on the units the RAD7 has been set to use.
22	Radon concentration uncertainty	The two-sigma uncertainty of the radon concentration, expressed in the same units as the base value.
23	Units Byte	This is a number between 0 and 255 which represents one data byte consisting of eight individual bits: Bits 0 and 1 indicate the concentration unit: either Bq/m <sup>3</sup> (0,1), pCi/L (1,1), counts per minute (0,0), or total number of counts (1,0). Bit 2 through Bit 6 are not defined. Bit 7 indicates the temperature unit used on printer output, either Celsius (1) or Fahrenheit (0).

Gambar 3. RAD7 Data Record Content [8]



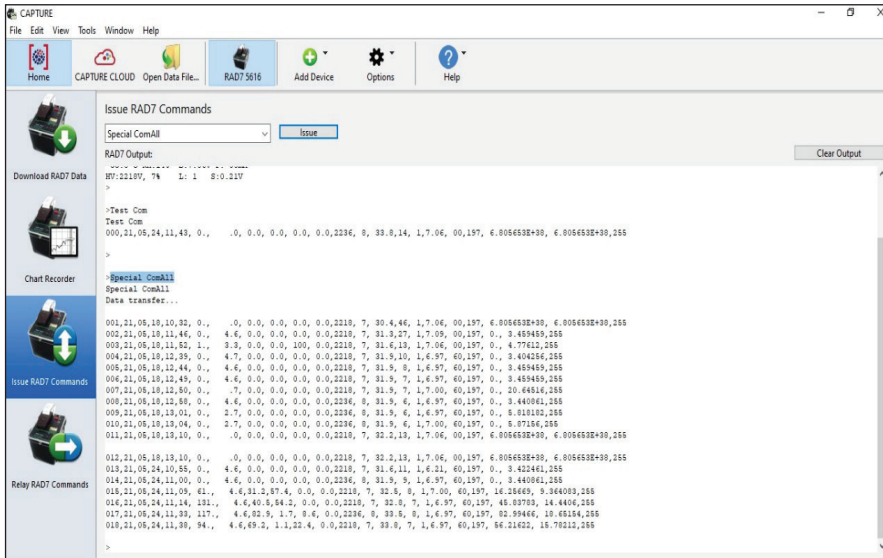
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data RAD7 yang telah diintegrasikan dipanggil dengan memberikan perintah pada komunikasi serial "Special ComAll" data yang dihasilkan sebagai berikut.

```
Special ComAll
Special ComAll
Data transfer...
R01,21,05,18,10,32, 0., 0, 0,0, 0,0, 0,0, 0,0,2218, 7, 30,4,46, 1,7,06, 00,197, 6,805653E+38, 6,805653E+38,255
R02,21,05,18,11,46, 0., 4,6, 0,0, 0,0, 0,0, 0,0,2218, 7, 31,3,27, 1,7,09, 00,197, 0., 3,459459,255
R03,21,05,18,11,52, 1., 3,3, 0,0, 0,0, 1000, 0,0,2218, 7, 31,6,13, 1,7,06, 00,197, 0., 4,77612,255
R04,21,05,18,12,39, 0., 4,7, 0,0, 0,0, 0,0, 0,0,2218, 7, 31,9,10, 1,6,97, 60,197, 0., 3,40426,255
R05,21,05,18,12,44, 0., 4,6, 0,0, 0,0, 0,0, 0,0,2218, 7, 31,9, 8, 1,6,97, 60,197, 0., 3,459459,255
R06,21,05,18,12,49, 0., 4,6, 0,0, 0,0, 0,0, 0,0,2218, 7, 31,9, 7, 1,6,97, 60,197, 0., 3,459459,255
R07,21,05,18,12,50, 0., 7, 0,0, 0,0, 0,0, 0,0,2218, 7, 31,9, 7, 1,7,00, 60,197, 0., 20,64516,255
R08,21,05,18,12,58, 0., 4,6, 0,0, 0,0, 0,0, 0,0,2236, 8, 31,9, 6, 1,6,97, 60,197, 0., 3,440861,255
R09,21,05,18,13,01, 0., 2,7, 0,0, 0,0, 0,0, 0,0,2236, 8, 31,9, 6, 1,6,97, 60,197, 0., 5,818182,255
R10,21,05,18,13,04, 0., 2,7, 0,0, 0,0, 0,0, 0,0,2236, 8, 31,9, 6, 1,7,00, 60,197, 0., 5,87154,255
R11,21,05,18,13,10, 0., 0, 0,0, 0,0, 0,0, 0,0,2218, 7, 32,2,13, 1,7,06, 00,197, 6,805653E+38, 6,805653E+38,255
R12,21,05,18,13,10, 0., 0, 0,0, 0,0, 0,0, 0,0,2218, 7, 32,2,13, 1,7,06, 00,197, 6,805653E+38, 6,805653E+38,255
R13,21,05,24,10,55, 0., 4,6, 0,0, 0,0, 0,0, 0,0,2218, 7, 31,6,11, 1,6,21, 60,197, 0., 3,422461,255
R14,21,05,24,11,00, 0., 4,6, 0,0, 0,0, 0,0, 0,0,2236, 8, 31,9, 9, 1,6,97, 60,197, 0., 3,440861,255
R15,21,05,24,11,09, 61., 4,6,31,3,57,4, 0,0, 0,0,2218, 7, 32,5, 8, 1,7,00, 60,197, 16,25669, 9,364881,255
R16,21,05,24,11,14, 131., 4,6,69,5,54,2, 0,0, 0,0,2218, 7, 32,8, 7, 1,6,97, 60,197, 45,83783, 14,4406,255
R17,21,05,24,11,33, 117., 4,6,82,9, 1,7, 8,6, 0,0,2236, 8, 31,9, 8, 1,6,97, 60,197, 82,99466, 10,65154,255
R18,21,05,24,11,38, 94., 4,6,69,2, 1,1,22,4, 0,0,2218, 7, 33,0, 7, 1,6,97, 60,197, 66,21622, 15,78212,255
```

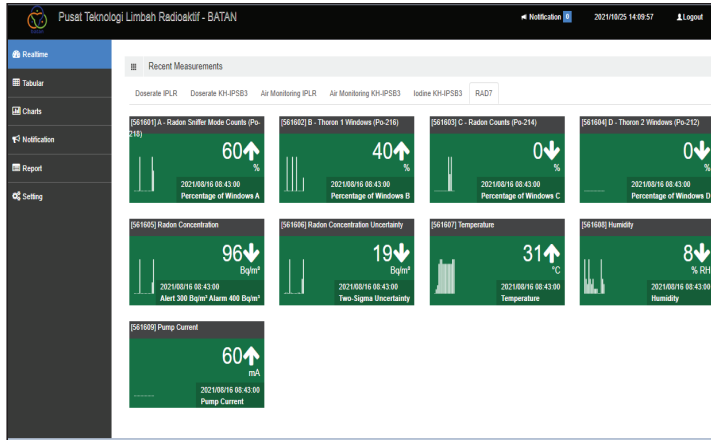
Gambar 4. Pengambilan Data RAD7 Menggunakan Com Port

Kemudian, data tersebut diverifikasi dengan software aplikasi bawaan alat RAD7, yaitu *CAPTURE*. Setelah diverifikasi hasil tersebut adalah sama. Data RAD7 pada saat pengambilan menggunakan *CAPTURE* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengambilan Data RAD7 Menggunakan Aplikasi *CAPTURE*

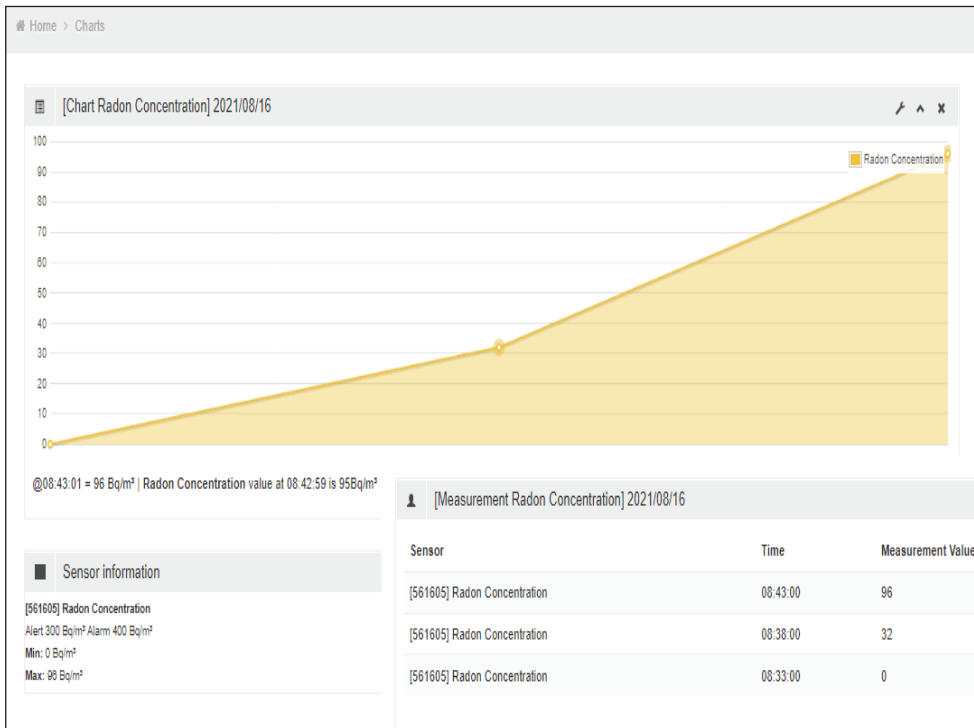
Pengambilan data dilakukan menggunakan Raspberry PI 3 B+ dengan menggunakan metode RESTful API JSON. Data yang dihasilkan ditampilkan ke dalam Radiation Monitoring System (Radmon) pada Gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6. Pengambilan Data RAD7 Menggunakan Raspberry PI 3B+

Hasil integrasi didapatkan hasil yang sama pengukuran secara manual. Hasil pengukuran radon menunjukkan *A - Radon Sniffer Mode Counts (Po-218) 60%*, *B - Thoron 1 Windows (Po-216) 40%*, *C - Radon Counts (Po-214) 0%*, *D - Thoron 2 Windows (Po-212) 0%*, *Radon Concentration  $96 \pm 19 \text{ Bq/m}^3$* .

Data pengukuran radon dapat dilihat secara grafik sebagai berikut.



Gambar 7. Pengambilan Data RAD7 menggunakan Raspberry PI 3B+ secara Grafik

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Dari hasil pengukuran radon *indoor* berdasarkan grafik pada Gambar 7, konsentrasi radon berkisar antara 0 Bq/m<sup>3</sup>–96 Bq/m<sup>3</sup>. Batasan yang ditetapkan ICRP dan IAEA untuk radon di sajikan dalam Tabel 1. Oleh karena itu, ORTN mengikuti peraturan terbaru, yaitu IAEA GSR Part 3 (2014) dan ICRP 126 (2014) dengan batasan radon *indoor* 300 Bq/m<sup>3</sup>, *outdoor* 1000 Bq/m<sup>3</sup>. Dari hasil pengukuran radon di udara, menunjukkan bahwa konsentrasi radon di ruang perkantoran di PTLR sekitar 96 Bq/m<sup>3</sup> di bawah 300 Bq/m<sup>3</sup> sehingga masih aman untuk bekerja.

**Tabel 1.** Batasan Radon *Indoor* dan *Outdoor* Sesuai Rekomendasi Peraturan Internasional

Rekomendasi Internasional	Batasan Radon <i>Indoor</i>	Batasan Radon <i>Outdoor</i>
ICRP 103(2007)	600 Bq/m <sup>3</sup> [9]	1500 Bq/m <sup>3</sup> [9]
ICRP 126 (2014) revision of ICRP 103(2007)	300 Bq/m <sup>3</sup> [10]	1000 Bq/m <sup>3</sup> [10]
IAEA GSR Part 3 (2014)	300 Bq/m <sup>3</sup> [11]	1000 Bq/m <sup>3</sup> [11]

Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi radon di ruang perkantoran (*indoor*) di PTLR – BATAN di bawah 300 Bq/m<sup>3</sup> sehingga masih aman untuk bekerja dan risiko akibat pengaruh radon relatif kecil. Jika diketahui hasil pengukuran konsentrasi radon atau thoron di udara dalam bentuk konsentrasi maka untuk memperkirakan dosis efektif dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [12].

$$DR_n = F_k R_n \times FR_n \times T \times CR_n \text{ [mSv/tahun]} \quad (1)$$

dengan:

$DR_n$  = Dosis efektif akibat menghirup Radon dan atau anak luruhnya [mSv/tahun]

$F_k R_n$  = Faktor kesetimbangan Radon dengan anak luruhnya (0.4) atau Thoron (0.02)

$F_k R_n$  = Faktor kesetimbangan Radon dengan anak luruhnya (0.4) atau Thoron (0.02)

$FR_n$  = Faktor konversi dosis Radon  $[9 \frac{nSv}{Bq} \cdot \frac{jam}{m^3}]$

$FR_n$  = Faktor konversi dosis Radon  $[9 \frac{nSv}{Bq} \cdot \frac{jam}{m^3}]$  atau Thoron  $[40 \frac{nSv}{Bq} \cdot \frac{jam}{m^3}]$

Thoron  $[40 \frac{nSv}{Bq} \cdot \frac{jam}{m^3}]$

$T$  = Lama tinggal di dalam ruangan  $[\frac{jam}{tahun}]$   $T$  = Lama tinggal di dalam ruangan  $[\frac{jam}{tahun}]$ , jumlah jam kerja efektif 2000 jam dalam 1 tahun

$CR_n$  = Konsentrasi gas Radon di dalam ruangan  $[\frac{Bq}{m^3}]$

Besarnya nilai  $F_k R_n$  tergantung dari laju ventilasi udara:



$F_k R_n$  Radon *Indoors*  $\approx 0.4$ , Thoron *Indoors* = 0.02 Sirkulasi alamiah

$F_k R_n$  Tambang  $\approx 0.2$  Sirkulasi dengan *blower*

$F_k R_n$  *Outdoors*  $\approx 0.1 - 0.6$  Tergantung laju udara

Dari hasil pengukuran konsentrasi radon di udara dalam bentuk konsentrasi, maka untuk memperkirakan dosis dosis efektif dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [12].

$$DR_n = F_k R_n \times FR_n \times T \times CR_n \text{ [mSv/tahun] (1)}$$

Hasil estimasi dosis efektif tingkat konsentrasi radon menggunakan konsentrasi radon maksimal sebagai berikut.

$$DR_{n \text{ max}} = 0.4 \times 9 \frac{\text{nSv}}{\text{Bq}} \cdot \frac{\text{jam}}{\text{m}^3} \times 2000 \text{ jam} \times 30 \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$$

$$DR_{n \text{ max}} = 0.4 \times 9 \frac{\text{nSv}}{\text{Bq}} \cdot \frac{\text{jam}}{\text{m}^3} \times 2000 \text{ jam} \times 96 \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$$

$$DR_{n \text{ max}} = 0.216 \quad DR_{n \text{ max}} = 0.69 \text{ mSv/tahun}$$

Hasil estimasi dosis efektif dari konsentrasi radon (*indoor*) akibat pengaruh radon sekitar 0.69 mSv/ tahun, dengan jumlah jam kerja efektif 2000 jam dalam 1 tahun. Radon merupakan salah satu kontributor dosis dari radiasi alam yang cukup besar maka untuk mengurangi risiko yang ditimbulkan, yaitu kanker paru-paru maka perlu dilakukan minimalisasi konsentrasi radon di dalam ruangan [13],[14]. Usaha yang paling memungkinkan dan yang dapat dilakukan adalah dengan mengoperasikan dan mengatur sistem ventilasi atau ventilasi udara *VAC off gas* sebaik mungkin [15],[16].

## KESIMPULAN

Pengembangan sistem pemantau radiasi kontaminasi udara radon dan thoron *online* dilakukan dengan Raspberry PI 3B+ sebagai antarmuka dan dintegrasikan ke dalam *Radiation Monitoring System (Radmon)*. Hasil integrasi didapatkan hasil yang sesuai dengan pengukuran secara manual. Hasil pengukuran radon (*indoor*) menunjukkan A - Radon Sniffer Mode Counts (Po-218) 60%, B - Thoron 1 Windows (Po-216) 40%, C - Radon Counts (Po-214) 0%, D - Thoron 2 Windows (Po-212) 0%, Radon Concentration  $96 \pm 19 \text{ Bq/m}^3$ . Dari hasil pengukuran radon di udara, menunjukkan bahwa konsentrasi radon di ruang perkantoran di PTLR di bawah  $300 \text{ Bq/m}^3$  sehingga masih aman untuk bekerja.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Kepala Pusat Teknologi Limbah Radioaktif dan Kepala Bidang Keselamatan Kerja dan Operasi yang memberikan izin kepada Penulis dalam melakukan penelitian ini.





### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1997 Nomor 23, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 3676, Jakarta, 10 April 1997.
- [2] Peraturan Pemerintah No 61 tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif.
- [3] Undang-Undang No 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja
- [4] ICRU Report No.88, Measurement and Reporting of Radon Exposures, vol. 12, no. 2. Oxford University Press, 2012.
- [5] H. Sofyan, "Pengukuran thoron di udara dalam ruangan secara kontinu menggunakan pylon model Wlx," *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, Vol 12, No 2, pp. 51–62, Agu. 2011.
- [6] Peraturan Pemerintah No 33 tahun 2007 tentang Keselamatan dan Kesehatan terhadap Pemanfaatan Radiasi Pengion.
- [7] A. Wijayanto, dkk., "Instalasi dan integrasi sistem pemantauan kontaminasi udara cerobong IPLR berbasis Iot (*internet of things*)," *Prosiding Hasil Penelitian dan Kegiatan Tahun 2018*, pp. 197–207, 2021, [Online]. [https://www.researchgate.net/publication/332971382\\_Instalasi\\_dan\\_Integrasi\\_Sistem\\_Pemantauan\\_Kontaminasi\\_Udara\\_Cerobong\\_Instalasi\\_Pengolahan\\_Limbah\\_Radioaktif\\_IPLR\\_berbasis\\_IoT\\_Internet\\_of\\_Things](https://www.researchgate.net/publication/332971382_Instalasi_dan_Integrasi_Sistem_Pemantauan_Kontaminasi_Udara_Cerobong_Instalasi_Pengolahan_Limbah_Radioaktif_IPLR_berbasis_IoT_Internet_of_Things)
- [8] Manual Operation iCAM Alpha/Beta Air Monitor of Canberra UK Ltd., 2010.
- [9] ICRP 103 (2007) The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological.
- [10] ICRP 126 (2014) revision of ICRP 103(2007). Radiological Protection against Radon Exposure.
- [11] IAEA GSR Part 3 (2014). Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards.
- [12] A. C. Syuryavin dkk., "Indoor radon and thoron from building materials: Analysis of humidity, air exchange rate, and dose assessment," *Nucl. Eng. Technol.*, vol. 52, no. 10, pp. 2370–2378, Okt. 2020, doi: 10.1016/J.NET.2020.03.013.
- [13] Ratiko dkk., "Quantification of the impact of temperature difference between two connected indoor spaces on 222Rn concentration," *Build. Environ.* vol. 149, pp. 322–329, Feb. 2019, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2018.12.006.
- [14] N. S. Syam dkk., "Determination of radon leakage from sample container for gamma spectrometry measurement of 226Ra," *J. Environ. Radioact.*, vol. 220–221, p. 106275, Sep. 2020, doi: 10.1016/J.JENVRAD.2020.106275.
- [15] R. M. Amin, "A study of radon emitted from building materials using solid state nuclear track detectors," *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, vol. 8, no. 4, pp. 516–522, Okt. 2015, doi: 10.1016/J.JRRAS.2015.06.001.
- [16] K. Ivanova dkk., "Analysis of the spatial distribution of the indoor radon concentration in school's buildings in Plovdiv province, Bulgaria," *Build. Environ.* vol. 204, p. 108122, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2021.108122.

# PROSIDING SEMINAR NASIONAL APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI 2021

Peran Isotop dan Radiasi  
untuk Indonesia yang Berdaya Saing

**P**rosiding *Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing* adalah buku yang mengumpulkan 27 karya ilmiah dari 32 pemakalah yang telah mempresentasikan karya ilmiahnya pada Seminar Nasional APISORA yang diselenggarakan pada tanggal 8 November 2021 di Pusat Riset Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi (PRTAIR), Organisasi Riset Teknologi Nuklir (BATAN), Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN). Pemakalah berasal dari berbagai institusi/universitas dan berbagai latar belakang kepakaran. Buku ini akan memberikan manfaat bagi para peneliti dan akademisi lainnya, serta menjadi acuan dalam melakukan kegiatan penelitian dan pengembangan aplikasi isotop dan radiasi di Indonesia.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DOI: 10.55981/brin.690

e-ISBN 978-623-8372-02-7



Diterbitkan oleh:  
**Penerbit BRIN, Anggota Ikapi**  
**Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah**  
Gedung B.J. Habibie Lt. 8, Jl. M.H. Thamrin No. 8,  
Kb. Sinih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,  
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340  
Whatsapp: +62 811-1064-6770  
E-mail: [penerbit@brin.go.id](mailto:penerbit@brin.go.id)  
Website: [penerbit.brin.go.id](http://penerbit.brin.go.id)

9 786238 372027