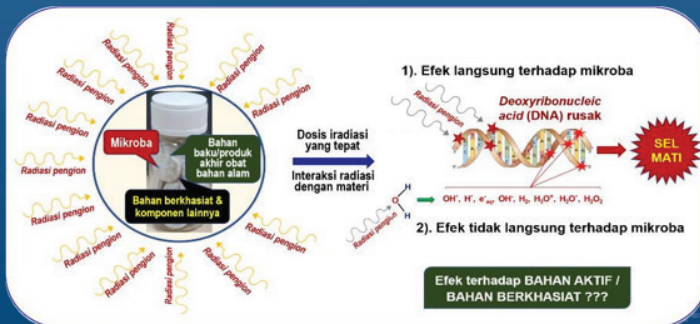


ORASI ILMIAH: RISET DAN INOVASI

KONTRIBUSI TEKNOLOGI RADIASI PENGION DALAM MENINGKATKAN MUTU OBAT BAHAN ALAM

ORASI ILMIAH PROFESOR RISET ILMU KIMIA BIDANG KIMIA RADIASI KEPAKARAN IRADIASI OBAT BAHAN ALAM



OLEH:

HENDIG WINARNO

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

ISSN 3090-8485

**KONTRIBUSI TEKNOLOGI RADIASI PENGION
DALAM MENINGKATKAN MUTU
OBAT BAHAN ALAM**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Diterbitkan pertama pada 2026 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (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/>

Buku ini tidak diperjualbelikan.



ISSN 3090-8485

ORASI ILMIAH: RISET DAN INOVASI

**KONTRIBUSI TEKNOLOGI RADIASI PENGION
DALAM MENINGKATKAN MUTU
OBAT BAHAN ALAM**

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU KIMIA
BIDANG KIMIA RADIASI
KEPAKARAN IRADIASI OBAT BAHAN ALAM**

**OLEH:
HENDIG WINARNO**

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2026 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Kontribusi Teknologi Radiasi Pengion dalam Meningkatkan Mutu Obat Bahan Alam/Hendig
Winarno. Jakarta - Penerbit BRIN, 2026

xi + 131 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISSN 3090-8485

- | | |
|-----------------------------|--------------------|
| 1. Kimia Radiasi | 2. Radiasi Pengion |
| 3. Iradiasi Obat Bahan Alam | 4. Kesehatan |

541.38

Copy editor : Rina Kamila

Proofreader : Rina Kamila

Penata Isi : Rina Kamila

Desainer Sampul : Rina Kamila

Edisi pertama : Oktober 2026



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. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340

Whatsapp: +62 811-1064-6770

E-mail: penerbit@brin.go.id

Website: penerbit.brin.go.id

 PenerbitBRIN

 @Penerbit_BRIN

 @penerbit.brin

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS	1
PRAKATA PENGUKUHAN	5
 BAB I PENDAHULUAN.....	 7
 BAB II RADIASI PENGION DAN INTERAKSI RADIASI PADA OBAT BAHAN ALAM	 13
A. Konsep Dasar Radiasi	13
B. Aplikasi Iradiasi pada Obat Bahan Alam	18
C. Dampak Iradiasi pada Obat Bahan Alam	19
 BAB III KERANGKA REGULASI INTERNASIONAL, REGIONAL, DAN NASIONAL IRADIASI OBAT BAHAN ALAM.....	 25
A. Kerangka Regulasi Internasional dan Regional	25
B. Peraturan Nasional Indonesia.....	28
C. Elemen Regulasi yang Wajib Dipenuhi untuk Iradiasi Obat Bahan Alam.....	 29
 BAB IV STUDI KASUS APLIKASI IRADIASI PADA BEBERAPA TUMBUHAN OBAT INDONESIA.....	 33
A. Famili Acanthaceae: Sambiloto (<i>Andrographis paniculata</i>)	 33
B. Famili Annonaceae: Daun Sirsak (<i>Annona muricata</i> L.)	 34
C. Famili Araceae: Keladi Tikus (<i>Typhonium flagelliforme</i>).....	 35
D. Famili Lamiaceae: Legundi (<i>Vitex trifolia</i> L.).....	 37
E. Famili Loranthaceae (Benalu): Benalu Teh (<i>Scurrula atropurpurea</i>), Benalu Alus	

Buku ini tidak diperjualbelikan.

	(<i>Scurrula fusca</i>), dan Benalu Masisin (<i>Dendrophthoe pentandra</i>).....	38
F.	Famili Malvaceae: Bunga Rosela (<i>Hibiscus sabdariffa</i> Linn.).....	39
G.	Famili Malvaceae: Jati Belanda (<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.).....	40
H.	Famili Piperaceae: Sirih Merah (<i>Piper crocatum</i>)	43
I.	Famili Piperaceae: Suruhan (<i>Peperomia pellucida</i> L.).....	43
J.	Famili <i>Thymelaeaceae</i> : Mahkota Dewa (<i>Phaleria macrocarpa</i>).....	45
K.	Famili Zingiberaceae: Temulawak (<i>Curcuma xanthorrhiza</i> Roxb.), Temu Putih (<i>Curcuma zedoaria</i> (Berg.) Rosc.), dan Jahe Merah (<i>Zingiber officinale</i>)	46
L.	Karakteristik Radioresistensi Tanaman Obat dan Stabilitas Fitokimia terhadap Iradiasi Pengion.....	50
BAB V	TANTANGAN PENERAPAN TEKNOLOGI IRADIASI PADA OBAT BAHAN ALAM	55
BAB VI	KESIMPULAN	61
BAB VII	PENUTUP.....	63
	UCAPAN TERIMA KASIH	65
	DAFTAR PUSTAKA.....	69
	DAFTAR CAPAIAN	85
	DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	87
	DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA.....	105
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Iradiasi obat bahan alam (OBA): A). OBA dalam kemasan di dalam boks, B). OBA dalam kemasan akhir, C). Jumlah OBA yang diiradiasi di Iradiator Gamma Merah Putih (2017 – 2021)	10
Gambar 2. Proses pembuatan cobalt-60 dari cobalt-59, dan peluruhannya menjadi isotop stabil nikel-60 (^{60}Ni) dengan memancarkan sinar beta dan gamma	15
Gambar 3. Proses ionisasi dan eksitasi pada atom Be (diadopsi dengan modifikasi)	16
Gambar 4. Efek radiasi pengion terhadap mikroorganisme: efek langsung (4A) dan efek tidak langsung (4B)	19
Gambar 5. Proses iradiasi OBA, tujuan, dan parameter uji yang dilakukan untuk menjamin mutu produk yang diiradiasi	20
Gambar 6. Profil total ion kromatogram LC/MS/MS fraksi aktif (F4) dari ekstrak etil asetat <i>G. ulmifolia</i> yang diiradiasi 7,5 kGy (A) dan yang tidak diiradiasi (B). Kolom: C18, eluen: <i>n</i> -heksan-etil asetat (2:1)	42
Gambar 7. Perbandingan nilai IC_{50} antara ekstrak etil asetat (EA) dan fraksi aktif (F4) dari <i>G. ulmifolia</i> yang tidak diiradiasi (bar chart hijau)) dan yang diiradiasi 7,5 kGy (bar chart merah) pada sel kanker manusia THP-1 (A), K562 (B), dan MCF-7 (C)	42
Gambar 8. Nilai IC_{50} fraksi 3 dari ekstrak etil asetat CX yang diiradasi 10 kGy (<i>bar chart</i> merah) dan tidak diiradasi (<i>bar chart</i> biru) terhadap galur sel kanker manusia HUT-78, A549, HeLa, dan THP-1	48

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Gambar 9. Perubahan profil kromatogram HPLC pada fraksi aktif (F3) ekstrak etil asetat dari simplisia kunyit putih (CZ): tidak diiradiasi (A) dan diiradiasi gamma dosis 7,5 kGy (B) 49

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Keunggulan dan keterbatasan aplikasi iradiasi pengion pada simplisia dan produk OBA 22
Tabel 2	Perbandingan regulasi iradiasi OBA di tingkat global, Uni Eropa (UE), Amerika Serikat (AS), Asia Tenggara (ASEAN), dan Indonesia (INA) 30
Tabel 3	Tingkat radioresistensi OBA terhadap iradiasi gamma 51

BIODATA RINGKAS



Dr. Hendig Winarno, M. Sc. lahir di Blitar, Jawa Timur pada tanggal 24 Mei 1960 adalah anak pertama dari Bapak Mitkal Marsono (alm.) dan Ibu Theresia Lilik Sunarti (almarhumah). Menikah dengan Dra. Ermin Katrin Harantung dan dikaruniai 2 orang anak, yaitu Yosaka Eka Putranta, S.T., MBA dan Albertus Wida Wiratama, S.T.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 30/M Tahun 2020 tanggal 13 April 2020 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama terhitung mulai tanggal 13 April 2020, dan Keputusan Presiden Republik Indonesia No. 3/M Tahun 2022 tanggal 19 Januari 2022, yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama di BRIN terhitung mulai tanggal 1 Oktober 2021.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 211/I/HK/2026 tanggal 14 September 2026 yang bersangkutan melakukan orasi Pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri Pakisrejo, Srengat, Blitar tahun 1972, Sekolah Menengah Pertama Negeri Srengat, Blitar tahun 1975, Sekolah Menengah Atas Negeri Genteng, Banyuwangi tahun 1979. Memperoleh gelar Sarjana Kimia dari FMIPA UGM tahun 1987, gelar Magister Kimia Bahan Alam dari Universitas Osaka, Jepang tahun 1994, dan gelar Doktor bidang Kimia Farmasi di Universitas Fukuyama, Jepang 2003.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain: Keahlian Dasar Bidang Tenaga Atom di BATAN Yogyakarta (1988), Operator Training on GCQ – Mass

Spectrometer: Advances in Ion Trap Technology di Jakarta (1996), Pemodelan & Simulasi dalam Analisis Lingkungan (1997), Training on Optimizing and Validation of Poly-aromatic Hydrocarbons Analysis by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) di Juelich Research Center - Jerman (1997), Regional (RCA) Training Workshop on the Use of Isotope Hydrology for Dam Safety and Dam Leakage di Yogyakarta (1999), Pelatihan Penyusunan Dokumentasi dan Audit Laboratorium ISO/IEC 17025:2005 (2007), Pelatihan Asesor Anggkatan III Komisi Nasional Akreditasi Pranata Penelitian dan Pengembangan (KNAPPP) (2011), Fondation of Physical Protection at Facilities Holding Nuclear or Radioactive Materials-Best Practice Workshop di London – Inggris (2012), Agent of Change Leadership From Heart (2013), Workshop to Finalize the Study Protocols for the Assessment of Human Milk Intake di IAEA – Wina (2014), International Workshop on Development of Bioenergy Crops as Renewable Energy Sources for APEC Economies di Yogyakarta (2015), Workshop on Change Management for Change Leader di BATAN Jakarta (2015), Pelatihan Pemahaman Persyaratan Sistem Manajemen Laboratorium Berbasis SNI ISO/IEC 17025:2017 di Jakarta (2022), dan Teori & Praktik “Application IVIS Spectrum in Life Science Research” di Jakarta (2025).

Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Subbagian Administrasi Ilmiah dan Dokumentasi – Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi – BATAN (1999 – 2000), Kepala Bidang Proses Radiasi - Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi - BATAN (2006 – 2012), Kepala Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi – BATAN (2012 – 2014), Kepala Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi – BATAN (2014 – 2016), Deputi Kepala BATAN Bidang Pendaaygunaan Teknologi Nuklir (2016 – 2020).

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Muda golongan IIIc tahun 1995, Peneliti Ahli Muda golongan IIId tahun

1997, Peneliti Ahli Madya golongan IVa tahun 1999, Peneliti Ahli Madya golongan IVb tahun 2005, Peneliti Ahli Madya golongan IVc tahun 2010, dan memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama bidang Kimia Radiasi, Isotop Perunut, dan Kimia Farmasi tahun 2020.

Menghasilkan 97 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 51 KTI ditulis dalam Bahasa Inggris, dan 46 dalam Bahasa Indonesia.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing jabatan fungsional peneliti pada Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi (PRTPR) – Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN) – BRIN (dahulu Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi – BATAN), pembimbing skripsi (S-1) pada Universitas Indonesia, Universitas Lampung, Universitas Pancasila, Institut Teknologi Indonesia, Institut Sains dan Teknologi Indonesia, Universitas Pelita Harapan, Universitas Nusa Bangsa; pembimbing tesis (S-2) pada Universitas Gadjah Mada, Universitas Indonesia, Institut Pertanian Bogor, dan Universitas Pancasila; pembimbing disertasi (S-3) pada Universitas Gadjah Mada, Universitas Indonesia, Institut Pertanian Bogor, dan Universitas Pancasila; serta penguji disertasi (S-3) pada Universitas Gadjah Mada, Universitas Indonesia, Institut Pertanian Bogor, Universitas Sriwijaya, dan Universitas Pancasila.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah sebagai anggota Himpunan Kimia Bahan Alam Jepang (1992 – 1994), Himpunan Kimia Indonesia (1999 – 2002), Kelompok Kerja Nasional Tanaman Obat Indonesia (1996 – 2000), Perhimpunan Periset Indonesia (2019 – sekarang), dan Perhimpunan Obat Bahan Alami Indonesia (2021 – 2022).

Menerima tanda penghargaan “University President’s Award in recognition of outstanding research as a postgraduate student” dari Rektor Fukuyama University (2003); Peserta Terbaik I Diklat PIM II

dari Kepala LAN RI tahun 2012, Peserta Terbaik V Diklat PIM I dari Kepala LAN RI tahun 2017, Satyalancana Karya Satya X, XX, dan XXX Tahun pada tahun 1999, 2008, dan 2018 dari Presiden Republik Indonesia.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PRAKATA PENGUKUHAN

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh, shalom, salam sejahtera untuk kita semua, om swastiastu, namo buddhaya, salam kebajikan,

Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional yang mulia, dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama, marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah Yang Maha Kuasa atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga pada kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah pengukuhan Profesor Riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya pada tanggal 8 Oktober 2026, menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

“KONTRIBUSI TEKNOLOGI RADIASI PENGION DALAM MENINGKATKAN MUTU OBAT BAHAN ALAM”

Orasi ini menyajikan *state of the art* peran iptek nuklir, khususnya teknologi iradiasi pengion dalam meningkatkan mutu dan keamanan obat bahan alam. Teknologi iradiasi mampu mengeliminasi cemaran mikroorganisme melalui pembentukan spesies reaktif yang merusak DNA tanpa meningkatkan suhu, tanpa residu kimia, dengan dampak minimal terhadap senyawa bioaktif, bahkan pada kondisi dan bahan tertentu dapat meningkatkan bioaktivitasnya. Dengan demikian, iradiasi pengion memiliki kontribusi signifikan dalam peningkatan mutu obat bahan alam.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang berkomitmen terhadap “17 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan” (*Sustainable Development Goals*, SDGs) yang ditetapkan oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) pada tahun 2015 untuk dicapai pada tahun 2030. Ketujuh belas tujuan tersebut saling berkaitan dan mendukung satu sama lain dalam mengatasi berbagai tantangan global yang dihadapi umat manusia. Salah satu tujuan utama yang relevan dengan sektor kesehatan adalah Tujuan ke-3: “Kehidupan Sehat dan Sejahtera” yang juga menjadi isu strategis nasional dan prioritas utama dalam “Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2025 – 2045”. Dalam RPJPN tersebut, kebijakan pembangunan kesehatan diarahkan pada penguatan sistem kesehatan nasional melalui pendekatan promotif, preventif, dan kuratif. Fokus pembangunan meliputi peningkatan kemandirian kefarmasian nasional, termasuk pengembangan bahan baku obat kimia, obat bahan alam (OBA), produk biologi, dan alat kesehatan dalam negeri (UU No. 59, 2024).

Penguatan sektor kefarmasian diharapkan tidak hanya mampu memenuhi kebutuhan domestik, tetapi juga mendorong daya saing global melalui pengembangan obat herbal terstandar (OHT) dan fitofarmaka. Dengan demikian, sektor kesehatan berperan strategis dalam meningkatkan kualitas hidup masyarakat sekaligus mendukung transformasi ekonomi berbasis inovasi menuju visi Indonesia Emas 2045. Dalam konteks ini, intervensi ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) nuklir, termasuk teknologi radiasi pada sektor kesehatan menjadi penting untuk meningkatkan kapabilitas nasional dalam menghasilkan inovasi dan inovasi di bidang kesehatan dan kefarmasian khususnya terkait pengembangan OBA, dalam rangka mendukung transformasi menuju “ekonomi berbasis inovasi” yang merupakan fondasi penting

Buku ini tidak diperjualbelikan.

dalam upaya membawa Indonesia menjadi negara berpendapatan menengah-atas (*upper-middle income country*).

Indonesia memiliki keunggulan komparatif berupa keanekaragaman hayati yang sangat tinggi, dengan ribuan spesies tumbuhan berpotensi sebagai sumber bahan obat (Rani *et al.*, 2023). Dari sekitar 40.000 spesies tumbuhan obat di dunia, sekitar 30.000 terdapat di Indonesia, dengan ± 9.600 di antaranya berpotensi sebagai tanaman obat. Meskipun pemanfaatan tanaman obat telah berlangsung secara turun-temurun, pengembangan dalam bentuk produk modern masih terbatas, tercermin dari jumlah 21 fitofarmaka, 78 OHT, dan lebih dari 15.000 jamu tradisional (BPOM RI, 2025). Di sisi lain, pasar OBA nasional terus tumbuh, dari Rp14 triliun (2014) menjadi Rp20 triliun (2020) (Rahayu, 2021), dan diproyeksikan meningkat dengan laju 7,1% per tahun hingga 2033 menurut *compound annual growth rate* (Dorge, 2026).

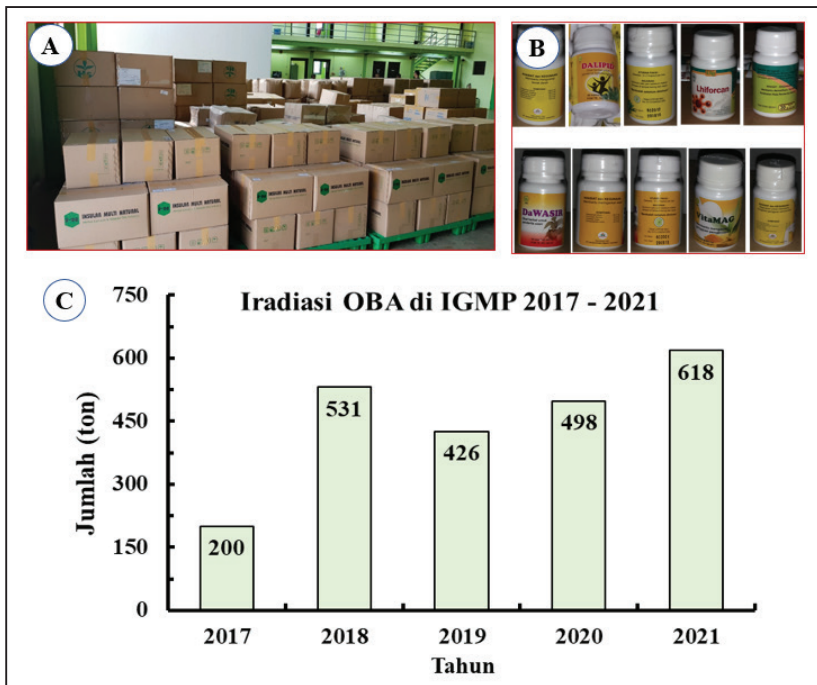
Meskipun memiliki prospek yang menjanjikan, pengembangan OBA masih menghadapi tantangan utama terkait mutu, keamanan, dan stabilitas bahan aktif, seperti cemaran mikrobiologis, kadar air tinggi, dan penanganan pascapanen yang belum optimal (BPOM RI, 2025; FAO/WHO, 2023; Hassan *et al.*, 2021; Opuni *et al.*, 2023 WHO, 2007). Permasalahan tersebut berpotensi menurunkan kualitas, efektivitas, dan keamanan produk, sehingga diperlukan penerapan teknologi pascapanen yang tepat. Berbagai metode konvensional telah digunakan untuk mengendalikan cemaran pada bahan tanaman obat, antara lain perlakuan panas, pengeringan, fumigasi, dan penggunaan bahan kimia tertentu. Meskipun efektif dalam kondisi tertentu, metode tersebut memiliki keterbatasan, seperti potensi perubahan senyawa bioaktif akibat panas, kemungkinan terbentuknya atau tertinggalnya residu kimia, serta efektivitas yang dipengaruhi oleh karakteristik bahan. Keterbatasan tersebut menunjukkan perlunya teknologi alternatif yang mampu mengendalikan cemaran secara efektif dengan tetap mempertahankan mutu, stabilitas senyawa bioaktif,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

dan keamanan OBA. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah iradiasi pengion (sinar gamma, berkas elektron, dan sinar-X) yang efektif menurunkan cemaran mikroorganisme tanpa merusak kualitas dan khasiat OBA (BPOM RI, 2018; BPOM RI, 2019). Di Indonesia, pemanfaatan teknologi iradiasi terus meningkat, tercermin dari kenaikan jumlah produk obat herbal yang diiradiasi di fasilitas Iradiator Gamma Merah Putih (IGMP) milik pemerintah di BRIN Tangerang Selatan, dari 200 ton pada tahun 2017 menjadi 618 ton pada tahun 2021 (Gambar 1).

Dari aspek regulasi, penerapan teknologi iradiasi pada pangan dan OBA di Indonesia telah diatur melalui berbagai kebijakan nasional mulai dari Permenkes No. 826/Menkes/Per/XII/1987 tentang Pangan Iradiasi, yang kemudian diperbarui melalui beberapa regulasi hingga Peraturan BPOM RI No. 3 Tahun 2018. Regulasi nasional tersebut mengacu pada standar internasional, termasuk pedoman dari *Codex Alimentarius Commission*, *International Atomic Energy Agency* (IAEA), dan evaluasi ilmiah oleh *Joint Expert Committee on Food Irradiation* (JECFI) (CAC, 2003; IAEA, 1992; Thongphasuk et al., 2012). Hasil evaluasi menunjukkan bahwa iradiasi hingga dosis ≤ 10 kGy dinyatakan aman secara toksikologis dan tidak menyebabkan perubahan gizi yang signifikan. Meskipun demikian, paparan radiasi berpotensi mempengaruhi komposisi senyawa bioaktif tertentu, sehingga diperlukan kajian spesifik terhadap setiap jenis bahan. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa respons sebagian besar tanaman obat terhadap iradiasi sangat bergantung pada karakteristik bahan, seperti komposisi fitokimia, kadar air, dan kondisi proses (CAC, 2003; IAEA, 2009).

Urgensi penelitian terkait iradiasi OBA semakin meningkat seiring dengan meningkatnya prevalensi penyakit degeneratif, khususnya kanker. Menurut *Global Cancer Observatory* (GLOBOCAN), kanker merupakan salah satu penyebab utama kematian dengan sekitar 20 juta kasus baru dan 9,7 juta kematian, menjadikan kanker sebagai



Gambar 1. Iradiasi obat bahan alam (OBA): A). OBA dalam kemasan di dalam boks, B). OBA dalam kemasan akhir, C). Jumlah OBA yang diiradiasi di Iradiator Gamma Merah Putih (2017 – 2021)

Sumber: Pengelola IGMP, 2022

salah satu penyebab kematian utama di dunia (Bray et al., 2024). Di Indonesia, jumlah prevalensi juga terus meningkat, diperkirakan lebih dari 400.000 per tahun dengan angka kematian tinggi dengan dampak signifikan terhadap sistem kesehatan dan ekonomi nasional (Kemenkes RI, 2024; WHO, 2024). Kondisi ini mendorong pencarian alternatif terapi yang lebih aman dan terjangkau, termasuk pemanfaatan bahan alam.

Berbagai tanaman obat Indonesia telah dilaporkan memiliki aktivitas farmakologis, khususnya potensi antikanker, seperti rosela

Buku ini tidak diperjualbelikan.

(*Hibiscus sabdariffa*), benalu teh (*Scurrula atropurpurea*), mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa*), keladi tikus (*Typhonium divaricatum*), sambiloto (*Andrographis paniculata*), temulawak (*Curcuma xanthorrhiza*), temu putih (*Curcuma zedoaria*), daun sirsak (*Annona muricata*), dan jati belanda (*Guazuma ulmifolia*) (Kemenkes RI, 2017; Katrin et al., 2012b; Katrin et al., 2013a; Katrin et al., 2013c; Susanto, et al., 2023; Winarno, 2009; Winarno et al., 2009; Winarno et al., 2019; Winarno et al., 2023; Winarno et al., 2025). Potensi tersebut menegaskan pentingnya pengembangan OBA berbasis bukti ilmiah yang tidak hanya efektif, tetapi juga memenuhi standar mutu dan keamanan. Dalam konteks ini, penerapan teknologi iradiasi sangat diperlukan, akan tetapi perlu dievaluasi secara komprehensif, untuk memastikan bahwa proses iradiasi tidak menurunkan kualitas dan aktivitas biologis OBA. Evaluasi tersebut mencakup parameter penting seperti aktivitas antiproliferasi terhadap sel kanker, aktivitas antioksidan, serta karakteristik fisikokimia meliputi kandungan total polifenol, total flavonoid, dan perubahan profil senyawa secara kromatografi seperti kromatografi lapis tipis (TLC), kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC), dan kromatografi cair – spektrometri massa (LC-MS). Data kajian tersebut penting sebagai dasar ilmiah bagi regulator, khususnya BPOM dalam menetapkan standar mutu dan keamanan obat tradisional (BPOM RI, 2023), serta bagi industri dalam menentukan dosis iradiasi optimum. Dengan demikian, teknologi iradiasi diharapkan dapat mendukung pengembangan OBA yang aman, bermutu, dan berdaya saing tinggi di pasar nasional maupun internasional.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB II. RADIASI PENGION DAN INTERAKSI RADIASI PADA OBAT BAHAN ALAM

Pemanfaatan radiasi pengion dalam bidang kesehatan dan farmasi telah berkembang sebagai teknologi yang efektif untuk meningkatkan keamanan dan mutu simplisia dan bahan baku OBA. Pada simplisia, kontaminasi mikrobiologis akibat penanganan pascapanen dan distribusi menjadi faktor utama yang menurunkan kualitas, keamanan, dan stabilitas selama penyimpanan yang diakibatkan oleh mikroorganisme pencemar, termasuk bakteri, kapang, dan khamir. Oleh karena itu, diperlukan metode dekontaminasi yang efektif tanpa merusak komponen bioaktif. Salah satu pendekatan yang banyak diterapkan adalah iradiasi pengion, yang bekerja melalui kerusakan struktur molekuler penting, khususnya DNA mikroorganisme. Dibandingkan metode kimia atau thermal, iradiasi merupakan proses fisik yang tidak meninggalkan residu, tidak meningkatkan suhu secara signifikan, serta dapat diaplikasikan pada bahan dalam kemasan tertutup sehingga meminimalkan risiko rekontaminasi (BPOM RI, 2018; IAEA, 2008; IAEA, 2015). Agar penerapan teknologi radiasi pada OBA dapat dipahami secara komprehensif, diperlukan penjelasan mengenai konsep dasar radiasi, jenis radiasi pengion, sumber dan dosis radiasi, dan mekanisme interaksi radiasi dengan materi.

A. Konsep Dasar Radiasi

Radiasi merupakan emisi dan perambatan energi melalui ruang atau materi dalam bentuk gelombang elektromagnetik maupun partikel, tanpa memerlukan kontak langsung. Berdasarkan kemampuannya mengionisasi materi, radiasi diklasifikasikan menjadi radiasi pengion dan non-pengion. Radiasi pengion memiliki energi cukup untuk melepaskan elektron dari atom atau molekul sehingga menghasilkan ion, sedangkan radiasi non-pengion tidak memiliki energi yang cukup

untuk proses ionisasi. Radiasi pengion mencakup sinar gamma (γ), sinar-X, serta partikel alfa (α), beta (β), proton, dan neutron, sementara radiasi non-pengion meliputi ultraviolet, inframerah, gelombang mikro, dan gelombang radio (WHO, 2023). Dalam bidang kesehatan dan industri, radiasi pengion dimanfaatkan karena kemampuannya menginduksi ionisasi yang dapat merusak struktur molekul biologis, sehingga digunakan dalam sterilisasi alat medis, pengawetan pangan, serta dekontaminasi bahan baku farmasi dan herbal.

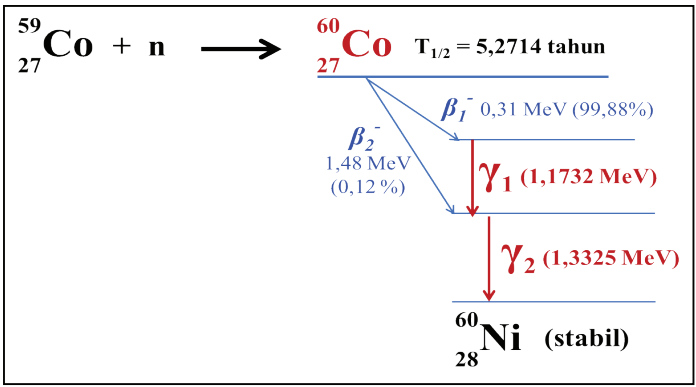
Sumber radiasi pengion yang umum digunakan dalam proses iradiasi OBA meliputi sinar gamma yang berasal dari cobalt-60 (Co-60 , ^{60}Co), mesin berkas elektron (*electron beam*), dan sinar-X berenergi tinggi. Di antara berbagai radioisotop pemancar gamma, cobalt-60 merupakan sumber yang paling banyak digunakan dalam fasilitas iradiator industri. Cobalt-60 memancarkan dua foton gamma dengan energi 1,17 dan 1,33 MeV dengan waktu paro (paruh) 5,2714 tahun (Kondev *et al.*, 2021). Radioisotop ini diproduksi dari isotop stabil cobalt-59 yang diaktivasi neutron di dalam reaktor nuklir. Inti cobalt yang teraktivasi memancarkan sinar gamma dengan energi 1,17 dan 1,33 MeV dan partikel beta dengan persamaan reaksi nuklir (aktivasi dan peluruhan) disajikan pada Gambar 2. Energi gamma memiliki daya tembus tinggi, sehingga efektif untuk iradiasi bahan dalam jumlah besar maupun dalam kemasan tertutup.

Radiasi gamma merupakan radiasi elektromagnetik berenergi tinggi yang dipancarkan inti atom ketika inti mengalami transisi dari keadaan tereksitasi ke keadaan dasar, umumnya terjadi setelah proses peluruhan alfa (α), beta (β), atau reaksi nuklir. Energi foton gamma berbanding lurus dengan frekuensi dan berbanding terbalik dengan panjang gelombang, sebagaimana dinyatakan dalam persamaan Planck–Einstein (persamaan 1).

$$E = h\nu = hc/\lambda \quad \text{----- (1)}$$

di mana E : energi foton, h : konstanta Planck, ν : frekuensi, c : kecepatan cahaya, dan λ : panjang gelombang (Baeyens *et al.*, 2023; Knoll, 2010). Spektrum energi gamma bersifat diskrit karena berasal dari transisi antar tingkat energi inti yang terkuantisasi dan mengikuti aturan seleksi tertentu.

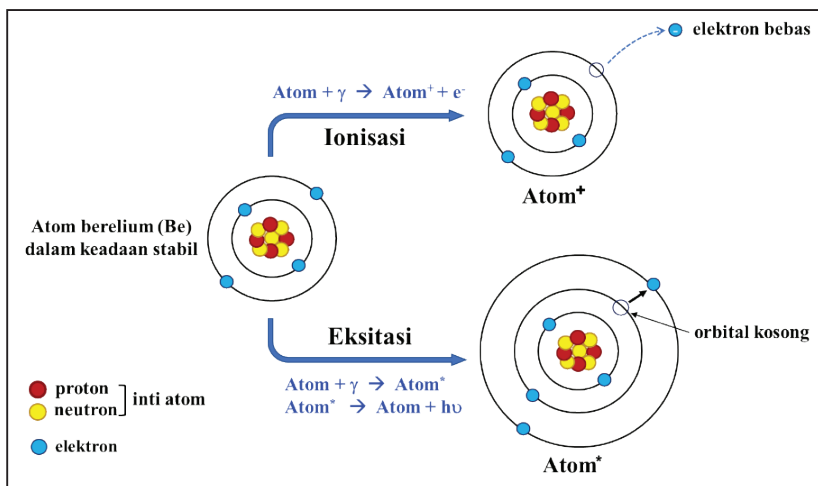
Ketika radiasi gamma berinteraksi dengan materi, energi dapat diteruskan tanpa interaksi, dihamburkan (*scattering*), atau diserap oleh atom atau molekul penyusun materi, bergantung pada energi foton dan nomor atom bahan yang dilalui (Baeyens *et al.*, 2023; Knoll, 2010). Pada rentang energi yang umum digunakan dalam iradiasi OBA, seperti Co-60 dengan energi 1,17 dan 1,33 MeV (Gambar 2), mekanisme interaksi yang dominan adalah hamburan Compton yang mentransfer sebagian energi foton kepada elektron menghasilkan elektron bebas berenergi tinggi (Baeyens *et al.*, 2023; Knoll, 2010). Energi yang ditransfer dapat menimbulkan ionisasi



Gambar 2. Proses pembuatan cobalt-60 dari cobalt-59, dan peluruhannya menjadi isotop stabil nikel-60 (^{60}Ni) dengan memancarkan sinar beta dan gamma

Sumber: modifikasi dari berbagai sumber (IAEA, 2003, 2010, 2015)

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Gambar 3. Proses ionisasi dan eksitasi pada atom Be (diadopsi dengan modifikasi)

Sumber: BATAN, 2003; Baeyens et al., 2023; Knoll, 2010

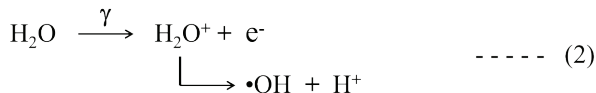
dan eksitasi. Ionisasi terjadi ketika energi radiasi melebihi energi ikat elektron, sehingga terbentuk pasangan ion ($\text{Atom} \rightarrow \text{Atom}^+ + e^-$), yang selanjutnya dapat memicu ionisasi sekunder. Sebaliknya, eksitasi terjadi ketika energi yang ditransfer hanya cukup untuk memindahkan elektron ke tingkat energi yang lebih tinggi tanpa melepaskannya dari atom ($\text{Atom} + \text{gamma} \rightarrow \text{Atom}^*$). Proses ionisasi dan eksitasi disajikan pada Gambar 3 (BATAN, 2003; Baeyens et al., 2023; Knoll, 2010).

Dalam sistem yang mengandung air, ionisasi primer diikuti oleh proses radiolisis air menghasilkan spesies reaktif seperti radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$), atom hidrogen ($\bullet\text{H}$), dan elektron terhidrasi (e_{aq}^-) (persamaan 2). Spesies reaktif ini berperan penting dalam reaksi kimia lanjutan yang dapat menyebabkan perubahan komponen bioaktif maupun kerusakan DNA mikroorganisme (Baeyens et al., 2023; Halliwell et al., 2021; Winarno, et al., 2004; Winarno & Harantung, 2007). Secara umum, efek radiasi pada bahan mengandung air tinggi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

didominasi oleh mekanisme tidak langsung melalui radiolisis air, sedangkan pada bahan kering, interaksi langsung dengan molekul target menjadi lebih dominan.

Selain sinar gamma, berkas elektron (*electron beam*) yang dihasilkan oleh *linear accelerator* (LINAC) dengan energi umumnya



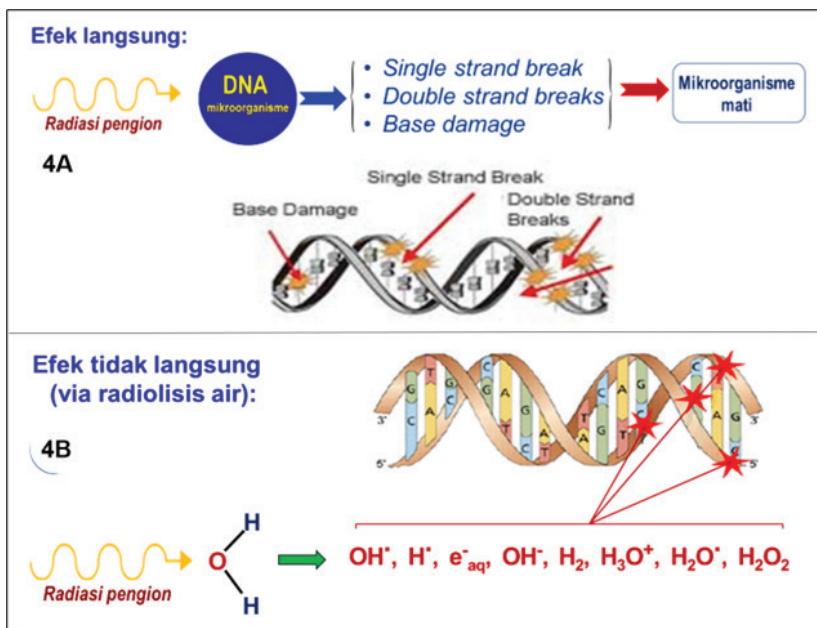
5 – 10 MeV juga banyak digunakan dalam iradiasi OBA. Energi tersebut memungkinkan penetrasi pada bahan padat serta inaktivasi mikroorganisme melalui kerusakan DNA dan komponen seluler esensial. Keunggulan utama teknologi berkas elektron adalah tidak menggunakan isotop radioaktif sehingga lebih sederhana dari aspek keselamatan radiasi, serta dapat dioperasikan secara *on-off* sesuai kebutuhan proses. Namun demikian, keterbatasan utamanya adalah daya tembus yang relatif rendah dibandingkan sinar gamma, sehingga kurang optimal untuk bahan dengan ketebalan tinggi atau dalam kemasan besar (IAEA, 2008; IAEA, 2015). Alternatif lainnya adalah sinar-X yang dihasilkan melalui konversi berkas elektron berenergi tinggi ketika berinteraksi dengan target logam berat. Sinar-X memiliki kemampuan penetrasi yang lebih dalam dibandingkan berkas elektron, sehingga lebih sesuai untuk iradiasi bahan berdensitas tinggi, volume besar, atau produk dalam kemasan akhir. Seperti halnya berkas elektron, teknologi sinar-X tidak memerlukan sumber radioisotop dan dapat dikendalikan secara *on-off*, memberikan fleksibilitas operasional dan aspek keselamatan yang lebih baik. Akan tetapi, efisiensi konversi energi dari berkas elektron ke sinar-X relatif rendah, umumnya hanya sekitar 8 – 15%, sehingga memerlukan daya listrik yang lebih besar dan biaya operasional yang lebih tinggi dibandingkan sumber gamma (IAEA, 2008; IAEA, 2015).

B. Aplikasi Iradiasi pada Obat Bahan Alam

Simplisia tanaman obat umumnya mengandung kontaminan mikroorganisme yang berasal dari tanah, udara, air, maupun proses penanganan pascapanen. Kontaminasi ini dapat menurunkan mutu, mempercepat kerusakan, dan meningkatkan risiko kesehatan bagi konsumen apabila tidak dikendalikan. Teknologi iradiasi pengion menjadi salah satu pendekatan efektif untuk dekontaminasi karena mampu menonaktifkan mikroorganisme tanpa meningkatkan suhu maupun meninggalkan residu kimia (IAEA, 2015).

Inaktivasi mikroorganisme oleh radiasi pengion berlangsung melalui dua mekanisme utama, yaitu efek langsung dan tidak langsung. Pada efek langsung (Gambar 4A), radiasi berinteraksi langsung dengan DNA atau biomolekul lain sehingga menyebabkan kerusakan seperti pemutusan untai tunggal maupun ganda serta perubahan basa, yang menghambat replikasi dan transkripsi. Sementara itu, efek tidak langsung (Gambar 4B) terjadi melalui radiolisis air yang menghasilkan spesies reaktif, terutama radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) yang sangat reaktif dan mampu merusak DNA, protein, dan lipid sel (Baeyens et al., 2023; Halliwell et al., 2021). Pada bahan dengan kadar air tinggi, mekanisme tidak langsung lebih dominan, sedangkan pada bahan kering interaksi langsung lebih berperan.

Efektivitas proses iradiasi umumnya dinyatakan dengan parameter D_{10} , yaitu dosis radiasi yang diperlukan untuk menurunkan populasi mikroorganisme sebesar 90% (1 *log cycle*). Parameter ini digunakan sebagai dasar dalam penentuan dosis iradiasi yang diperlukan untuk mencapai tingkat reduksi mikroorganisme yang diinginkan. Pada simplisia dan bahan baku OBA, dosis iradiasi biasanya berada pada kisaran 5 – 10 kGy untuk mencapai higienisasi dan pengendalian mikroorganisme tanpa perubahan signifikan pada karakteristik bahan (BPOM RI, 2018). Penentuan dosis ini harus mempertimbangkan jenis bahan, tingkat kontaminasi awal, serta tujuan proses.

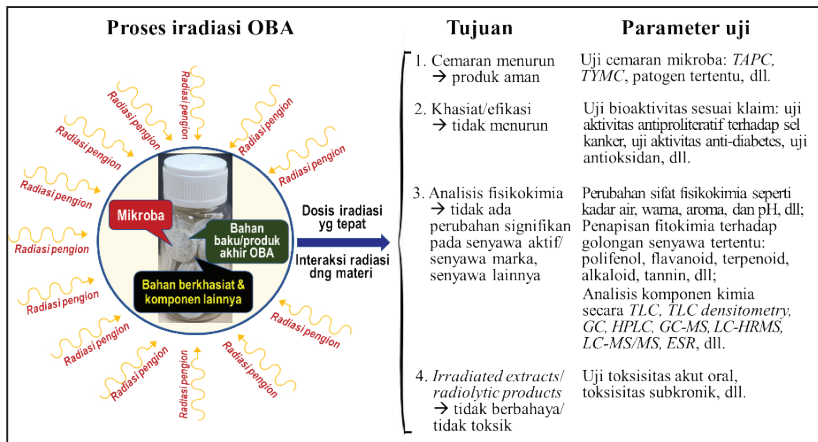


Gambar 4. Efek radiasi pengion terhadap mikroorganisme: efek langsung (4A) dan efek tidak langsung (4B)

Sumber: modifikasi dari berbagai sumber

C. Dampak Iradiasi pada Obat Bahan Alam

Selain efek dekontaminasi, iradiasi juga dapat mempengaruhi stabilitas senyawa bioaktif pada OBA. Metabolit sekunder seperti polifenol, flavonoid, terpenoid, dan alkaloid dapat mengalami perubahan kadar maupun struktur yang dipengaruhi oleh dosis radiasi, kadar air bahan, dan kondisi proses iradiasi (Ahmed & Hassan, 2023; Ognyanov et al., 2022; Winarno et al., 2023; Winarno et al., 2026a). Pada beberapa tanaman rimpang seperti *Curcuma zedoaria*, *C. xanthorrhiza*, *C. longa*, dan *Zingiber officinale* dapat mengalami perubahan kandungan kurkuminoid dan sifat fisikokimia, bergantung pada parameter tersebut (Susanto et al., 2021; Vahapoglu et al., 2022; Winarno et al., 2012; Winarno et al., 2013; Winarno et al., 2019).



Gambar 5. Proses iradiasi OBA, tujuan, dan parameter uji yang dilakukan untuk menjamin mutu produk yang diiradiasi

Sumber: koleksi pribadi

Efek iradiasi tidak selalu berpotensi merugikan. Pada kondisi tertentu, perubahan struktural senyawa justru dapat meningkatkan kelarutan, bioavailabilitas, atau aktivitas biologis, termasuk aktivitas antioksidan (Song et al., 2022). Oleh karena itu, iradiasi perlu diposisikan sebagai teknologi proses yang memerlukan pengendalian parameter secara tepat. Untuk meminimalkan dampak negatif terhadap fitokimia dan khasiat, pengendalian kadar air bahan (< 10 %), pemilihan kemasan yang sesuai, serta penerapan “Cara Pembuatan Obat Tradisional yang Baik” (CPOTB) berperan penting dalam menekan bioburden awal dan memungkinkan penggunaan dosis minimal yang efektif (Alijaniha et al., 2021; BPOM RI, 2021; IAEA, 2015). Untuk menjamin keseimbangan antara keamanan mikrobiologis, stabilitas fitokimia, dan khasiat, diperlukan evaluasi komprehensif yang mencakup parameter mikrobiologis, fisikokimia, dan aktivitas biologis, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 5. Evaluasi tersebut menjadi dasar dalam menetapkan kondisi proses iradiasi yang optimal (BPOM RI, 2023; IAEA, 2015), yang meliputi:

- 1) Parameter mikrobiologis pada interval waktu tertentu pasca iradiasi sampel, meliputi: angka lempeng total/ *total aerobic plate count* (ALT/TAPC); angka kapang dan khamir/ *total aerobic yeast and mold count* (AKK/TYMC); dan uji keberadaan patogen tertentu (misalnya *Salmonella sp.*, *E. coli*). Penurunan jumlah mikroorganisme dibandingkan kontrol menunjukkan efektivitas proses radiasi.
- 2) Parameter fitokimia, meliputi: penapisan golongan senyawa (polifenol, flavonoid, terpenoid, alkaloid, tanin, dan lainnya); parameter fisikokimia (kadar air, warna, aroma, dan pH); kadar fenol total (TPC), kadar flavonoid total (TFC); kadar senyawa aktif, senyawa penanda/marka, dan senyawa lainnya dengan metode kromatografi (TLC, *TLC densitometry*, HPLC, GC-MS, LC-HRMS, dan/atau LC-MS/MS).
- 3) Parameter khasiat, meliputi: aktivitas antioksidan metode *2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl* (DPPH), *2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)* (ABTS), *superoxide* (SO) *radical scavenging*, *ferric reducing antioxidant power* (FRAP); dan bioaktivitas spesifik, seperti aktivitas antikanker secara *in vitro* dan *in vivo*, antidiabetes, dan lainnya.
- 4) Parameter keamanan, meliputi: toksisitas akut oral dan toksisitas subkronik pada hewan coba.
- 5) Selain itu, parameter proses seperti dosis radiasi, laju dosis, kondisi kemasan, dan kadar air awal bahan juga merupakan variabel penting yang harus dikendalikan.

Optimasi parameter proses iradiasi untuk mencapai efektivitas dekontaminasi mikrobiologis dan perlindungan stabilitas fitokimia serta khasiat (IAEA, 2015; WHO, 1999), merupakan pendekatan yang penting, karena, meskipun iradiasi pengion terbukti efektif dan aman, radiasi tetap berpotensi memengaruhi komponen kimia secara

selektif (Ognyanov et al., 2022; Ahmed & Hassan, 2023). Oleh sebab itu, penerapannya pada OBA harus mempertimbangkan aspek efikasi, mutu, dan kepatuhan regulatif secara terpadu (BPOM RI, 2018; CAC, 2003). Secara umum, iradiasi pengion menawarkan keunggulan sebagai teknologi dekontaminasi tanpa residu kimia dengan dampak minimal terhadap senyawa bioaktif (CAC, 2003; IAEA, 2015). Walaupun demikian, tetap memiliki keterbatasan, seperti potensi perubahan fitokimia, kebutuhan investasi fasilitas, dan persepsi publik (IAEA, 2015; WHO, 1999). Dengan demikian, penerapannya perlu didasarkan pada optimasi proses, kesesuaian dengan karakteristik bahan, serta evaluasi komprehensif terhadap stabilitas kimia dan aktivitas biologis (Winarno et al., 2019; Winarno et al., 2023). Ringkasan keunggulan dan keterbatasan tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Keunggulan dan keterbatasan aplikasi iradiasi pengion pada simplisia dan produk OBA

Aspek, Pustaka	Keunggulan	Keterbatasan
Keamanan mikrobiologis (BPOM RI, 2019; 2021, 2023; CAC, 2003; IAEA, 2015; Winarno et al., 2026a)	Menurunkan mikroba dan serangga pada dosis 5 – 10 kGy tanpa peningkatan suhu signifikan dan tanpa fumigan kimia; Memenuhi standar cemaran mikroba	Tidak menghilangkan toksin yang telah ada (misal mikotoksin); Tetap memerlukan pengendalian mutu bahan baku sesuai CPOTB
Residu dan keamanan produk (CAC, 2003; IAEA, 2015; WHO, 1999)	Proses fisik non-kontak dan energi tidak menginduksi reaksi nuklir, sehingga tidak meninggalkan residu kimia dan tidak menyebabkan radioaktif pada bahan	Persepsi negatif konsumen terhadap istilah “radiasi” dan bahayanya dapat mempengaruhi penerimaan pasar

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Aspek, Pustaka	Keunggulan	Keterbatasan
Stabilitas senyawa bioaktif (Ahmed & Hassan, 2023; Ognyanov et al., 2022; Winarno et al., 2019, Winarno et. al., 2023)	Bersifat non-termal; sehingga relatif mempertahankan senyawa bioaktif dan aktivitas biologis pada dosis ≤ 10 kGy dengan perubahan organoleptik minimal	Berpotensi menyebabkan degradasi/transformasi senyawa bioaktif, bergantung pada dosis dan matriks bahan
Fleksibilitas proses (BPOM RI, 2018; 2019; IAEA, 2015)	Dapat diaplikasikan pada bahan curah dan produk akhir dalam kemasan; minim rekontaminasi; efisien dalam skala besar	Memerlukan fasilitas khusus dan sistem keselamatan yang ketat
Aspek ekonomi dan industri (BPOM RI, 2018; 2019; CAC, 2003; IAEA, 2015)	Efisien untuk produksi dan distribusi skala besar dan global	Investasi awal tinggi, keterbatasan akses bagi UMKM akibat biaya dan regulasi yang ketat
Keamanan toksikologis (CAC, 2003; IAEA, 2015; WHO, 1999; Harantung <i>et al.</i> , 2021; Katrin <i>et al.</i> , 2011b; 2014a; Winarno, 2011, 2022)	Evaluasi secara global tidak menunjukkan efek toksikologis atau genetik, dan produk radiolitik yang terbentuk aman	—

Aspek, Pustaka	Keunggulan	Keterbatasan
Umur simpan (IAEA, 2015; WHO, 1999)	Memperpanjang umur simpan; menekan kerusakan dan kerugian ekonomi selama distribusi	—
Nilai gizi (CAC, 2003; IAEA, 2015; WHO, 1999)	Dampak terhadap zat gizi relatif minimal dan lebih kecil dibandingkan metode termal	—
Validasi dan kendali proses (BPOM RI, 2018; CAC, 2003; IAEA, 2015)	Dosis iradiasi dapat diukur dan divalidasi secara presisi (dosimetri), sehingga menjamin konsistensi mutu dan keamanan produk	Memerlukan sistem validasi, dokumentasi, dan pengawasan ketat sesuai regulasi
Penetrasi dan homogenitas dosis (IAEA, 2015; WHO, 1999)	Gamma berdaya tembus tinggi; cocok untuk kemasan/volume besar	E-beam/X-ray penetrasi terbatas; potensi distribusi dosis tidak homogen pada bahan tebal atau densitas tinggi
Keterbatasan teknis terhadap OBA (IAEA, 2015; Ognyanov et al., 2022)	Dapat diaplikasikan pada berbagai bentuk simplisia (daun, rimpang, akar, kulit batang, bunga)	Sensitivitas bahan berbeda-beda, dapat menyebabkan perubahan warna, aroma, atau tekstur pada dosis tinggi atau kondisi tidak optimal

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB III. KERANGKA REGULASI INTERNASIONAL, REGIONAL, DAN NASIONAL IRADIASI OBAT BAHAN ALAM

Perkembangan penerapan iradiasi pada simplisia dan OBA tidak hanya ditentukan oleh aspek ilmiah dan teknis, tetapi juga oleh kerangka regulasi internasional, regional, dan nasional. Status regulatori OBA dapat berbeda antar negara karena bahan herbal dapat diklasifikasikan sebagai pangan, suplemen, atau produk obat. Perbedaan klasifikasi ini berdampak langsung pada persyaratan keamanan, mutu, validasi proses, dan tingkat pengawasan yang diterapkan. Oleh karena itu, pemahaman komprehensif terhadap kerangka regulasi global, regional, dan nasional sangat penting untuk memastikan bahwa iradiasi dapat diterapkan sebagai teknologi dekontaminasi yang sah, aman, dan selaras dengan prinsip jaminan mutu serta perlindungan kesehatan masyarakat.

A. Kerangka Regulasi Internasional dan Regional

Pada tingkat global, Codex Alimentarius Commission (CAC) menyediakan kerangka utama melalui “*General Standard for Irradiated Foods*” (CAC, 2003). Standar ini mengatur tujuan penggunaan iradiasi, jenis sumber radiasi yang diperbolehkan, batas dosis yang harus dibenarkan secara teknologi, serta kewajiban validasi proses dan pelabelan. CAC menyatakan bahwa dosis hingga 10 kGy secara umum aman untuk pengolahan pangan, termasuk rempah dan bahan herbal, sepanjang memenuhi prinsip *Good Manufacturing Practice* (GMP). Meskipun berfokus pada pangan, standar ini menjadi rujukan penting bagi banyak negara dalam menyusun regulasi nasional, khususnya ketika simplisia dikategorikan sebagai bahan pangan atau

Buku ini tidak diperjualbelikan.

suplemen. Namun, apabila OBA diklasifikasikan sebagai obat, maka persyaratan mutu dan keamanan menjadi lebih ketat dan mengikuti standar farmasi.

World Health Organization (WHO) melengkapi kerangka tersebut melalui pedoman terkait pengolahan dan pengendalian mutu bahan herbal secara komprehensif, melalui “*WHO Guidelines on Good Herbal Processing Practices, Quality Control Methods for Herbal Materials*”, dan “*Control of microbiological contamination and residues*”. WHO menekankan bahwa setiap metode dekontaminasi, termasuk iradiasi, harus divalidasi secara ilmiah, tidak merusak komponen aktif, terdokumentasi dalam sistem mutu, serta disertai evaluasi keamanan toksikologis (WHO, 1999). Prinsip ini menjadi dasar bagi penerapan *Good Herbal Processing Practices* yang diadopsi dalam regulasi nasional CPOTB di Indonesia ((BPOM RI, 2021).

International Atomic Energy Agency (IAEA) berperan sebagai rujukan teknis global dalam aspek keselamatan dan validasi proses iradiasi. Pedoman IAEA mencakup validasi dosis melalui *dose mapping*, penentuan batas dosis minimum dan maksimum, pengendalian proses dan dosimetri, serta keselamatan fasilitas. Meskipun tidak berfungsi sebagai regulator obat, panduan IAEA menjadi acuan penting dalam memastikan bahwa proses iradiasi dilakukan secara konsisten dan dapat ditelusuri, termasuk pada bahan baku OBA seperti simplisia (IAEA, 1992; IAEA, 2010; IAEA, 2013).

Pada tingkat regional, Uni Eropa (UE) menerapkan pendekatan dualistik yang membedakan antara herbal sebagai pangan dan sebagai obat. Iradiasi pangan diatur melalui Directive 1999/2/EC dan 1999/3/EC, yang mengizinkan penggunaan iradiasi pada beberapa kategori, termasuk herbal kering, dengan persyaratan pelabelan dan ketertelusuran. Untuk produk obat herbal, *European Medicines Agency* (EMA) melalui “*Reflection paper on microbiological aspects*

of herbal medicinal products”, dan “*Guideline on sterilisation of the medicinal product, active substance, excipient and primary container*” mensyaratkan evaluasi dampak terhadap stabilitas kandungan kimia dan farmakologi, validasi dalam sistem GMP, serta penyediaan data kestabilan dan keamanan tambahan. Pendekatan ini menunjukkan tingkat kehati-hatian yang lebih tinggi ketika herbal diklaim sebagai produk terapeutik (EMA, 2015).

Di Amerika Serikat, U.S. Food and Drug Administration (FDA) mengatur iradiasi pangan melalui “21 CFR Part 179”, yang mengizinkan penggunaan iradiasi pada berbagai bahan, termasuk rempah dan tanaman kering, dengan batas dosis tertentu (USFDA, 2026). Seperti di wilayah lain, klasifikasi produk sebagai pangan, suplemen, atau obat menentukan tingkat persyaratan yang harus dipenuhi, termasuk dalam hal validasi dan dokumentasi keamanan.

Di kawasan Asia, khususnya ASEAN, harmonisasi regulasi masih bersifat terbatas. Untuk pangan, diatur melalui kerangka kerja ASEAN *Economic Community* (AEC) dan koordinasi teknis di bawah ASEAN *Consultative Committee on Standards and Quality* (ACCSQ), dan negara-negara anggota umumnya merujuk pada standar CAC sehingga terjadi konvergensi pada tingkat tertentu. Untuk OBA, regulasi tetap berada di bawah otoritas nasional masing-masing negara, seperti BPOM RI di Indonesia, National Pharmaceutical Regulatory Agency di Malaysia, dan Thai FDA di Thailand. Perbedaan klasifikasi produk, standar mutu, dan kerangka hukum menyebabkan penerapan iradiasi pada OBA bergantung pada kebijakan nasional. Tidak seperti Uni Eropa, ASEAN belum memiliki sistem regulasi farmasi terpusat yang mengikat, sehingga integrasi regulasi bersifat koordinatif. Dengan demikian, secara global terdapat kecenderungan bahwa iradiasi diterima luas untuk pangan, tetapi memerlukan evaluasi lebih ketat ketika diterapkan pada OBA sebagai produk obat.

B. Peraturan Nasional Indonesia

Di Indonesia, pengawasan terhadap iradiasi pangan dan obat bahan alam (OBA) berada di bawah Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM RI). Peraturan BPOM Nomor 3 Tahun 2018 tentang Pangan Iradiasi, menetapkan bahwa iradiasi merupakan metode pengolahan yang diakui secara regulatori dengan persyaratan ketat terkait sumber radiasi, batas dosis, validasi dosimetri, fasilitas berizin, serta sistem jaminan mutu (BPOM RI, 2018; BPOM RI, 2019). Komoditas pangan iradiasi diklasifikasikan menjadi 12 kategori dengan interval dosis antara 0,15 – 60 kGy. Meskipun secara spesifik mengatur pangan, prinsip-prinsip teknis dalam regulasi tersebut juga relevan untuk pengolahan simplisia, bahan baku, dan produk jadi. Dalam praktiknya, iradiasi pada OBA umumnya menggunakan interval dosis 5 – 10 kGy untuk tujuan higienisasi dan perpanjangan umur simpan, termasuk pengendalian serangga dan reduksi mikroorganisme patogen tertentu. Prinsip yang diadopsi mencakup justifikasi keamanan dosis bahwa dosis hingga 10 kGy dinyatakan aman dan tidak menimbulkan radioaktivitas pada bahan, setiap *batch* harus memiliki rekaman dosimetri yang tervalidasi, proses hanya dilakukan di instalasi iradiasi yang memiliki izin dari otoritas terkait, dan didukung dokumentasi sistem mutu yang dapat diaudit guna menjamin konsistensi, ketertelusuran, dan integritas produk (BPOM RI, 2018).

Kerangka regulasi ini diperkuat oleh Peraturan BPOM Nomor 29 Tahun 2023 tentang “Persyaratan Keamanan dan Mutu Obat Bahan Alam”, yang mengatur batas cemaran mikrobiologis, cemaran kimia, serta konsistensi mutu bahan baku dan produk jadi OBA (BPOM RI,

2023). Regulasi ini menegaskan bahwa setiap proses pengolahan mampu menjamin pemenuhan standar keamanan tanpa merusak komponen aktif. Kombinasi kedua peraturan ini membentuk landasan normatif yang kuat bagi aplikasi iradiasi pangan dalam sistem jaminan mutu OBA secara terintegrasi.

C. Elemen Regulasi yang Wajib Dipenuhi untuk Iradiasi Obat Bahan Alam

Secara umum, penerapan iradiasi pangan pada obat herbal atau OBA diatur melalui persyaratan regulatori yang ketat dan berbasis bukti ilmiah. Regulator umumnya mensyaratkan validasi proses mencakup pemetaan dosis dan verifikasi dosis minimum – maksimum. Selain itu, diperlukan bukti stabilitas senyawa aktif/senyawa marka, pengujian bioaktivitas, evaluasi toksikologi dan risiko mikrobiologi, dokumentasi GMP dan SOP, dan fasilitas iradiasi yang tersertifikasi. Organisasi internasional seperti CAC, FAO/WHO, IAEA, dan WHO mengakui iradiasi sebagai teknologi yang aman dan efektif untuk dekontaminasi, selama dosis dibenarkan secara teknologi dan mutu serta keamanan tervalidasi. Perbedaan utama antar-negara terletak pada klasifikasi produk (pangan atau suplemen atau obat). Semakin tinggi status regulatori pada OBA, misalnya sebagai OHT atau fitofarmaka, semakin ketat data keamanan, stabilitas, dan evaluasi farmakologis yang diperlukan (CAC, 2003; FAO/WHO, 2023; IAEA, 1992; WHO, 2007). Perbedaan ini berdampak langsung pada kompleksitas pengembangan, registrasi, dan komersialisasi produk OBA berbasis iradiasi di masing-masing yurisdiksi. Perbandingan regulasi iradiasi OBA di berbagai kawasan secara ringkas disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan regulasi iradiasi OBA di tingkat global, Uni Eropa (UE), Amerika Serikat (AS), Asia Tenggara (ASEAN), dan Indonesia (INA)

Aspek Regulasi	Global (CAC/ WHO/ IAEA)	UE	AS	ASEAN di luar INA	Indonesia
Landasan umum	CAC – CXS 106-1983; WHO; IAEA	Directive 1999/2/EC; pengawasan obat oleh EMA	21 CFR Part 179 oleh U.S. FDA	Harmonisasi mengacu CAC	PerB-POM No. 3/2018, PerB-POM No. 29/2023
Status iradiasi untuk herbal/OBA	Diakui untuk pangan (<i>herbs & spices</i>)	Diizinkan untuk <i>dried herbs & spices</i> (pangan)	Diizinkan untuk <i>spices & dried vegetable seasonings</i>	Umumnya mengikuti CAC	Diakui untuk pangan, belum eksplisit dalam monografi OBA
OBA/ produk yang dikategorikan sebagai obat	Harus mengikuti regulasi farmasi nasional	Evaluasi stabilitas & mikrobiologi oleh EMA	Harus memenuhi USFDA “21 CFR Part 179”	Tergantung otoritas nasional	Harus memenuhi persyaratan mutu & keamanan OBA (PerBPOM 29/2023)
Batas dosis umum	Hingga ±10 kGy (justifikasi teknologi)	Umumnya ≤10 kGy (untuk pangan)	Sesuai kategori produk	Mengacu CAC	Umumnya ≤10 kGy; tidak spesifik untuk OBA

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Validasi proses	Dose mapping & dosimetri (IAEA)	Wajib dalam GMP	Wajib dalam GMP	Mengacu standar internasional	Wajib jika diterapkan sbg. proses produksi
Pelabelan dengan simbol “Radura”	Wajib untuk pangan iradiasi	Wajib untuk pangan iradiasi	Wajib untuk pangan iradiasi	Mengacu CAC	Wajib untuk pangan; tidak spesifik untuk OBA
Evaluasi dampak kimia/bioaktivitas	Direkomendasikan WHO	Wajib untuk herbal medicinal product	Wajib untuk obat	Bergantung negara	Wajib jika untuk OHT/ fitofarmaka

Sumber: diambil dari berbagai sumber

BAB IV. STUDI KASUS APLIKASI IRADIASI PADA BEBERAPA TUMBUHAN OBAT INDONESIA

Iradiasi gamma merupakan salah satu teknologi pengawetan bahan pangan dan OBA yang efektif untuk menurunkan beban mikroorganisme (bioburden), mensterilkan simplisia, dan memperpanjang umur simpan tanpa penggunaan bahan kimia tambahan (Hadiati et al., 2021). Mekanismenya melalui efek langsung dengan merusak DNA mikroorganisme, dan efek tidak langsung melalui radikal bebas yang terbentuk dari radiolisis air ($\bullet\text{OH}$, e_{aq}^- , dan $\bullet\text{H}$), yang dapat merusak DNA dan komponen seluler, termasuk juga mempengaruhi senyawa bioaktif (Baeyens et al., 2023; Halliwell et al., 2021). Pada dosis menengah (5 – 10 kGy), iradiasi pengion umumnya tidak menyebabkan degradasi signifikan pada komponen bioaktif seperti alkaloid, flavonoid, terpenoid, dan fenolik, sehingga aktivitas farmakologis tetap terjaga. Selain itu, teknologi ini efektif mengendalikan bakteri patogen, jamur, parasit, serta serangga perusak OBA (BPOM RI, 2018; Susanto et al., 2021; Winarno et al., 2023; Winarno et al., 2026a; Winarno et al., 2026b). Sejumlah tanaman obat yang banyak digunakan di Indonesia telah diteliti untuk mengevaluasi pengaruh iradiasi terhadap stabilitas kimia, aktivitas biologis, serta keamanan toksikologinya. Beberapa contoh penting disajikan berikut ini.

A. Famili Acanthaceae: Sambiloto (*Andrographis paniculata*)

Sambiloto (*Andrographis paniculata* Burm. f. Nees) (AP), merupakan tanaman obat dari famili Acanthaceae yang digunakan dalam pengobatan tradisional, dan memiliki berbagai aktivitas biologis,

terutama sebagai antikanker, antiinflamasi, dan imunomodulator. Aktivitas tersebut terutama dikaitkan dengan kandungan senyawa diterpen lakton utama, yaitu andrographolide, neoandrographolide, dan deoksiandrographolide. Neoandrographolide memiliki aktivitas antikanker terhadap berbagai lini sel kanker yaitu HeLa, THP-1, HUT-78, dan A549 (Winarno, et al., 2025).

Iradiasi gamma hingga 7,5 kGy masih mampu mempertahankan potensi sitotoksik ekstrak dan isolat, meskipun terjadi penurunan kadar senyawa aktif yang terdeteksi melalui TLC dan HPLC. Uji lanjutan terhadap sel kanker manusia (K562 leukemia dan HUT-78 limfoma) menunjukkan bahwa ekstrak etanol, ekstrak metanol, dan isolat daun AP, baik kontrol maupun yang diiradiasi 7,5 kGy, tetap memiliki aktivitas antiproliferasi yang kuat ($IC_{50} < 20 \mu\text{g/mL}$ untuk ekstrak, dan $< 4 \mu\text{g/mL}$ untuk isolat). Akan tetapi, pada dosis $\geq 10 \text{ kGy}$ mulai terjadi perubahan fisikokimia yang berdampak pada penurunan aktivitas biologis.

Uji toksisitas akut pada mencit Swiss Webster juga menunjukkan bahwa ekstrak dari serbuk AP yang diiradiasi dosis 7,5 kGy tidak menimbulkan efek toksik akut. Pada dosis tersebut, kandungan senyawa andrographolide dan neoandrographolide, keamanan, serta aktivitas antikanker ekstrak AP masih dapat dipertahankan. Dengan demikian, dosis 7,5 kGy direkomendasikan sebagai batas maksimum untuk menjaga stabilitas, keamanan, dan efektivitas, sekaligus menurunkan cemaran mikroba sesuai standar mutu bahan baku herbal (Katrin et al., 2014b).

B. Famili Annonaceae: Daun Sirsak (*Annona muricata* L.)

Sirsak (*Annona muricata* L.) (AM) merupakan tanaman tropis dari famili Annonaceae yang dikenal sebagai sumber senyawa bioaktif, khususnya golongan asetogenin yang berperan penting dalam berbagai aktivitas farmakologis, termasuk antikanker (Nugraha et al.,

2019; Suhail et al., 2025). Daunnya secara tradisional dimanfaatkan sebagai antiinflamasi, antimikroba, antidiabetes, dan antihipertensi. Secara fitokimia, daun AM mengandung berbagai metabolit sekunder golongan acetogenin (annonacin, annomuricin, dan bullatacin), alkaloid, flavonoid, senyawa fenolik, terpenoid, saponin, dan tanin yang juga berperan sebagai antioksidan, antimikroba, dan antikanker (Santos et al., 2023). Berbagai studi *in vitro* menunjukkan bahwa ekstrak daun AM memiliki aktivitas antiproliferasi terhadap galur sel kanker payudara MCF-7, prostat, dan hati (Katrin et al., 2013b; Santos et al., 2023; Susanto et al., 2022).

Iradiasi gamma hingga dosis 7,5 kGy tidak menghilangkan senyawa bioaktif utama termasuk acetogenin dalam daun AM, akan tetapi iradiasi 10–15 kGy menunjukkan perubahan profil kromatogram ekstrak secara kuantitatif tanpa perubahan kualitatif yang signifikan (Katrin et al., 2013a). Selain itu, aktivitas sitotoksik terhadap sel kanker payudara MCF-7 tetap terjaga setelah perlakuan iradiasi (Susanto et al., 2022). Uji toksisitas akut dan subkronis menunjukkan bahwa ekstrak etanol daun AM, baik kontrol maupun yang diiradiasi 7,5 kGy, tidak menimbulkan perubahan bermakna pada fungsi hati dan ginjal (Natacha et al., 2018; Harantung et al., 2021). Nilai LD₅₀ yang tinggi mengindikasikan bahwa ekstrak tergolong relatif aman, sehingga iradiasi gamma pada dosis terkontrol dapat mendukung peningkatan mutu dan keamanan bahan baku herbal, khususnya daun sirsak.

C. Famili Araceae: Keladi Tikus (*Typhonium flagelliforme*)

Keladi tikus (*Typhonium flagelliforme* (Lodd.) Blume) (TF) merupakan tanaman dari famili Araceae yang banyak digunakan dalam pengobatan tradisional di Asia Tenggara, termasuk Indonesia, terutama sebagai terapi herbal untuk tumor dan kanker. Bagian tanaman yang

umum digunakan adalah umbi dan daun, baik dalam bentuk segar maupun ekstrak, karena diyakini memiliki aktivitas sitotoksik. Secara fitokimia, TF mengandung senyawa bioaktif flavonoid dan flavonoid glikosida (vitexin, isovitexin, orientin, dan isoorientin), senyawa fenolik, sterol (β -sitosterol, stigmasterol), terpenoid, serta asam lemak tak jenuh seperti asam linoleat (Maha et al., 2023).

Berbagai studi menunjukkan bahwa ekstrak dan fraksi aktif TF, serta senyawa flavonoid dan turunannya memiliki aktivitas antioksidan antiproliferatif yang signifikan terhadap berbagai lini sel kanker, termasuk kanker payudara MCF-7 dan sel punca kanker payudara (Putra et al., 2020; Susanto et al., 2022). Mekanisme yang terlibat antara lain penekanan ekspresi protein antiapoptosis seperti survivin, sehingga meningkatkan apoptosis sel kanker (Putra et al., 2020). Studi *in vivo* pada mencit C3H dengan *adenokarsinoma mammae* juga menunjukkan peningkatan indeks apoptosis setelah pemberian ekstrak etanol (Chodidjah et al., 2023), memperkuat potensinya sebagai kandidat antikanker berbasis bahan alam.

Iradiasi gamma terhadap simplisia daun TF pada dosis sedang (5 – 10 kGy) dilaporkan tidak menyebabkan perubahan signifikan terhadap sifat fisikokimia maupun aktivitas biologis, meskipun terdapat perubahan minor pada beberapa parameter (Katrin et al., 2012b). Ekstrak yang diiradiasi tetap menunjukkan aktivitas antiproliferatif terhadap sel kanker payudara MCF-7 (Susanto et al., 2022). Dengan demikian, iradiasi gamma pada dosis terkontrol berpotensi meningkatkan keamanan mikrobiologis dan mendukung standardisasi mutu tanpa mengurangi aktivitas biologis, sehingga relevan untuk pengembangan OHT dan fitofarmaka berbasis keladi tikus.

D. Famili Lamiaceae: Legundi (*Vitex trifolia* L.)

Legundi (*Vitex trifolia* L.) (VT) merupakan tanaman dari famili Lamiaceae yang tumbuh luas di wilayah tropis dan subtropis Asia, khususnya Asia Tenggara, wilayah pesisir Pasifik. Tanaman ini dikenal sebagai sumber senyawa bioaktif, terutama terpenoid dan flavonoid (Yao et al., 2016). Daun VT mengandung berbagai metabolit sekunder seperti monoterpen, seskuiterpen, diterpen, triterpenoid, flavonoid, senyawa fenolik, dan steroid, dengan terpenoid sebagai komponen dominan yang berkontribusi terhadap aktivitas sitotoksik dan antiproliferasi.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa ekstrak daun VT memiliki aktivitas antiproliferasi terhadap berbagai lini sel kanker, termasuk sel kanker payudara MCF-7, melalui mekanisme induksi apoptosis dan penghambatan proliferasi sel (Garbi et al., 2017). Studi terkait penggunaan iradiasi pengion menunjukkan bahwa paparan iradiasi gamma pada daun VT tidak menyebabkan perubahan kualitatif terhadap senyawa aktif, melainkan hanya perubahan kuantitatif pada profil kromatografi (Winarno et al., 2020a). Menariknya, ekstrak daun VT yang diiradiasi tetap menunjukkan aktivitas antiproliferasi terhadap berbagai sel kanker, dan pada kondisi tertentu bahkan dapat meningkatkan aktivitas biologisnya. Hal ini menunjukkan bahwa iradiasi gamma pada dosis terkontrol tidak merusak komponen bioaktif utama.

Selain itu, uji toksisitas akut terhadap ekstrak etanol daun VT yang diiradiasi gamma menunjukkan tidak adanya kematian atau gejala toksik signifikan pada hewan uji mencit DDY hingga dosis tinggi, dengan nilai LD₅₀ berada di atas batas dosis uji, sehingga diklasifikasikan sebagai “tidak toksik” (Susanto et al., 2024). Hasil

ini menegaskan bahwa iradiasi gamma tidak meningkatkan toksisitas akut, sehingga daun legundi yang diiradiasi berpotensi dikembangkan sebagai bahan baku obat herbal antikanker yang aman dan bermutu.

E. Famili Loranthaceae (Benalu): Benalu Teh (*Scurrula atropurpurea*), Benalu Alus (*Scurrula fusca*), dan Benalu Masisin (*Dendrophthoe pentandra*)

Benalu dari famili *Loranthaceae* merupakan tanaman parasit yang tumbuh pada berbagai inang dan secara empiris telah lama dimanfaatkan sebagai obat tradisional. Dalam tiga dekade terakhir, berbagai studi menunjukkan bahwa famili ini mengandung senyawa bioaktif dengan potensi antikanker yang prospektif. Integrasi teknologi iradiasi pengion dalam pengolahan bahan alam juga membuka peluang peningkatan keamanan dan mutu ekstrak tanpa menurunkan aktivitas biologinya.

Benalu teh (*Scurrula atropurpurea* Bl. Dans.) (SA) merupakan salah satu spesies benalu yang banyak diteliti. Studi fitokimia, BT mengandung metabolit sekunder asam lemak jenuh dan tak jenuh, flavonoid dan glikosida turunannya, flavanoid, serta lignan glikosida (Ohashi et al., 2003a). Senyawa khas berupa C_{18} -alkynic fatty acids, yaitu *octadeca-8,10-diynoic acid*, *(Z)-octadec-12-ene-8,10-diynoic acid*, dan *octadeca-8,10,12-triynoic acid* memiliki struktur unik dan secara khusus *octadeca-8,10,12-triynoic acid* menunjukkan aktivitas kuat dalam menghambat pertumbuhan berbagai sel kanker, termasuk HeLa, THP-1, A549, dan HUT-78 (Winarno, 2009), serta menghambat invasi sel kanker MM1. Senyawa C_{16} -alkynic fatty acids hasil sintesis juga menunjukkan aktivitas penghambatan yang tinggi terhadap invasi sel kanker MM1 (Ohashi et al., 2003b).

Pada spesies lain, seperti benalu masisin (*Dendrophthoe pentandra*) telah diisolasi senyawa kuersitrin yang menunjukkan aktivitas sitotoksik terhadap sel leukemia L1210 (Katrin et al., 2011c).

Sementara itu, isolat yang sama dari benalu petai (*Dendrothoe praelonga* (Blume) Miq.) menunjukkan aktivitas terhadap sel kanker payudara MCF-7 (Junedi *et al.*, 2020). Benalu alus (*Scurrula fusca*) juga dilaporkan mengandung senyawa kompleks poliol seperti perseitol- K^+ yang turut berkontribusi terhadap aktivitas farmakologis (Ishizu *et al.*, 2001; Ishizu *et al.*, 2002).

Penerapan iradiasi gamma hingga dosis 10 kGy efektif menurunkan cemaran mikroorganisme pada SA tanpa menyebabkan degradasi signifikan senyawa aktif. Ekstrak etil asetat SA yang diiradiasi tetap stabil secara kimia, biologis, dan aktivitas farmakologisnya tetap terjaga (Katrin *et al.*, 2011d). Evaluasi toksisitas akut pada mencit *Swiss Webster* menunjukkan bahwa pemberian ekstrak etil asetat SA tidak menyebabkan kematian maupun perubahan signifikan pada perilaku dan organ vital, sehingga mengindikasikan tingkat toksisitas akut yang rendah (Winarno, 2011).

F. Famili Malvaceae: Bunga Rosela (*Hibiscus sabdariffa* Linn.)

Bunga rosela (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) (HS) merupakan tanaman obat dari famili Malvaceae yang telah lama dimanfaatkan sebagai obat tradisional, pangan fungsional, dan sumber senyawa bioaktif. HS tercantum dalam Farmakope Herbal Indonesia (2017) dan berpotensi dikembangkan sebagai bahan baku obat herbal terstandar. HS banyak dibudidayakan di wilayah tropis dan subtropis, dan memiliki aktivitas farmakologis yang luas, meliputi antioksidan, antidiabetik, antimikroba, dan antikanker (Susanto *et al.*, 2023; Winarno *et al.*, 2026b). Kandungan senyawa bioaktif beragam seperti polifenol, flavonoid, fitosterol, antosianin, asam organik, asam amino, karoten, dan vitamin C (Ghaly *et al.*, 2025). Senyawa fenolik utama pada kelopak merah HS didominasi oleh antosianin (delphinidin dan sianidin glikosida) serta flavonoid, seperti kuersetin, mirisetin,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

kaempferol, dan epigallocatekin gallat (Izquierdo-Vega et al., 2020; Montalvo-Gonzales et al., 2022). Kandungan fenolik tertinggi ditemukan pada ekstrak etil asetat, diikuti oleh ekstrak etanol, sedangkan ekstrak n-heksana mengandung fenolik paling rendah. Ekstrak etanol HS menunjukkan aktivitas antiproliferasi terhadap sel kanker manusia HUT-78, MCF-7, dan A549 dengan nilai IC_{50} 10 – 14 $\mu\text{g/mL}$, sedangkan ekstrak etil asetat menunjukkan nilai IC_{50} sekitar 20 – 25 $\mu\text{g/mL}$, dan aktivitas inhibisi terhadap enzim α -glukosidase (Susanto et al., 2023; Winarno et al., 2026b).

Iradiasi gamma dosis menengah (5 – 7,5 kGy) umumnya tidak menurunkan rendemen ekstrak, bahkan dalam beberapa kasus dapat meningkatkan total fenolik pada fraksi tertentu, yang diduga akibat pemutusan molekul berberat molekul tinggi menjadi bentuk yang lebih mudah terekstraksi. Hingga dosis 10 kGy, iradiasi juga dilaporkan tidak menurunkan aktivitas antikanker dan antidiabetes secara signifikan, termasuk aktivitas antibakteri terhadap bakteri Gram-positif dan Gram-negatif yang relatif tetap terjaga. Temuan ini menunjukkan bahwa iradiasi gamma efektif sebagai metode dekontaminasi tanpa merusak sifat fisikokimia dan bioaktivitas utama pada HS. Meskipun demikian, total flavonoid pada HS cenderung mengalami penurunan pada dosis iradiasi yang lebih tinggi, mengindikasikan bahwa senyawa flavonoid relatif lebih sensitif terhadap radiasi pengion dibandingkan komponen fenolik lainnya, sehingga perlu diperhatikan dalam penentuan dosis optimal (Susanto et al., 2023; Winarno et al., 2026b).

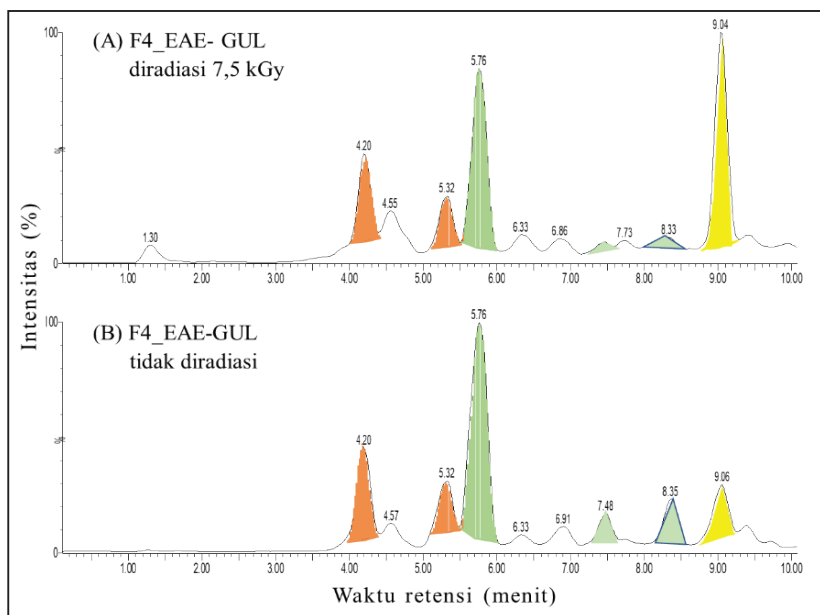
G. Famili Malvaceae: Jati Belanda (*Guazuma ulmifolia* Lam.)

Jati belanda (*Guazuma ulmifolia* Lam.) (GU) juga dari famili Malvaceae merupakan tanaman yang banyak dimanfaatkan dalam pengobatan

tradisional di Amerika Latin dan Asia Tenggara, termasuk Indonesia. Daunnya dikenal memiliki aktivitas kardioprotektif, antioksidan, antidiabetik, antihiperlipidemia, antiinflamasi, dan antikanker. Daun *GU* kaya akan metabolit sekunder, antara lain: senyawa fenolik dan polifenol, flavonoid, flavonoid glikosida (terutama tiliroside sebagai senyawa penanda), tanin, saponin, dan alkaloid, sterol dan triterpenoid (Santos et al., 2018; Rafi et al., 2020). Senyawa tiliroside menunjukkan aktivitas antiproliferatif terhadap sel kanker payudara T47D dan MCF-7 (Da'i et al., 2016).

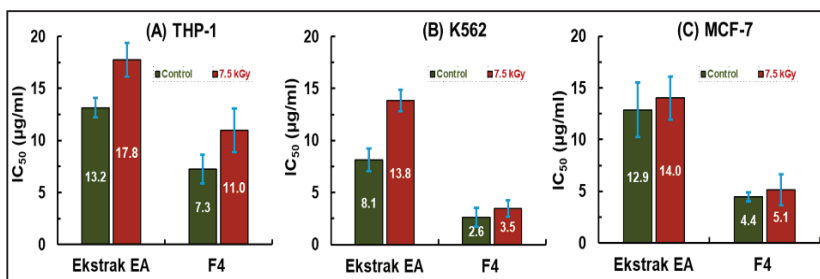
Iradiasi gamma pada dosis 7,5 kGy tidak menyebabkan perubahan signifikan terhadap kandungan total fenolik dan flavonoid, meskipun terjadi perubahan komposisi metabolit pada fraksi aktif tertentu (F4), yang ditandai dengan variasi area puncak kromatogram, termasuk peningkatan relatif senyawa kaempferol (Gambar 6). Ekstrak dan fraksi daun *GU* yang diiradiasi tetap menunjukkan aktivitas antiproliferatif terhadap sel kanker MCF-7, K562, dan THP-1, walaupun dengan sedikit penurunan aktivitas (Gambar 7) (Susanto et al., 2020; Winarno et al., 2023).

Uji toksisitas akut oral ekstrak daun *GU* yang diiradiasi pada mencit DDY menunjukkan tidak ada perubahan signifikan pada organ maupun kematian hingga dosis 5.000 mg/kg berat badan, sehingga diklasifikasikan sebagai “praktis tidak toksik” dan mendukung keamanannya untuk pengembangan obat herbal (Winarno et al., 2022). Hasil ini menegaskan bahwa iradiasi gamma merupakan metode yang aman dan efektif untuk pengolahan bahan baku herbal, serta mendukung potensi HS dan *GU* sebagai kandidat obat bahan alam dengan aktivitas biologis yang tetap terjaga.



Gambar 6. Profil total ion kromatogram LC/MS/MS fraksi aktif (F4) dari ekstrak etil asetat *G. ulmifolia* yang diiradiasi 7,5 kGy (A) dan yang tidak diiradiasi (B). Kolom: C18, eluen: *n*-heksan-etil asetat (2:1)

Sumber: Winarno et al., 2023



Gambar 7. Perbandingan nilai IC_{50} antara ekstrak etil asetat (EA) dan fraksi aktif (F4) dari *G. ulmifolia* yang tidak diiradiasi (bar chart hijau) dan yang diiradiasi 7,5 kGy (bar chart merah) pada sel kanker manusia THP-1 (A), K562 (B), dan MCF-7 (C)

Sumber: Winarno et al., 2023

H. Famili Piperaceae: Sirih Merah (*Piper crocatum*)

Sirih merah (*Piper crocatum* Ruiz & Pav.) (PC) merupakan tanaman obat dari famili Piperaceae yang banyak dimanfaatkan dalam pengobatan tradisional di Indonesia. Genus *Piper* seperti *P. betle*, *P. nigrum*, dan *P. sarmentosum* dikenal kaya akan metabolit sekunder bioaktif. Secara fitokimia, daun *P. crocatum* mengandung flavonoid, tanin, dan senyawa fenolik sebagai komponen utama yang berperan sebagai antioksidan melalui mekanisme penangkapan radikal bebas (Maslikah *et al.*, 2025). Selain itu, keberadaan alkaloid dan amida bioaktif pada genus ini berkontribusi terhadap aktivitas sitotoksik dan antikanker melalui modulasi jalur pensinyalan sel dan induksi apoptosis (Nguyen & Nguyen, 2020).

Aktivitas sitotoksik daun PC yang diiradiasi sampai dosis 7,5 kGy tidak menunjukkan penurunan aktivitas sitotoksik yang terhadap sel leukemia L1210 (Katrin *et al.* 2013b). Hal ini mengindikasikan bahwa senyawa aktif utama relatif stabil terhadap perlakuan radiasi pada dosis dekontaminasi, sehingga aktivitas biologisnya tetap dipertahankan. Oleh karena itu, iradiasi gamma menjadi pendekatan strategis untuk meningkatkan keamanan mikrobiologis tanpa mengurangi bioaktivitasnya, sekaligus mendukung pengembangan sirih merah sebagai kandidat OHT atau fitofarmaka yang aman, efektif, dan terstandar.

I. Famili Piperaceae: Suruhan (*Peperomia pellucida* L.)

Suruhan (*Peperomia pellucida* (L.) Kunth) (PP) merupakan tanaman herba semusim dari famili Piperaceae yang berasal dari Amerika Tengah dan Selatan, dan kini tersebar luas ke wilayah tropis dan subtropis, termasuk Asia Tenggara. Di Indonesia, tanaman ini umumnya tumbuh pada lingkungan lembab dan teduh. Secara etnofarmakologi, PP digunakan sebagai antiinflamasi, analgesik, antipiretik, antimikroba, diuretik, serta untuk pengobatan luka dan gangguan kulit. Pemanfaatan

tradisional ini didukung oleh berbagai studi farmakologi modern yang menunjukkan aktivitas antioksidan, antimikroba, dan sitotoksik dari ekstraknya (Raghavendra & Kekuda, 2018; Yunarto et al., 2018).

Secara fitokimia, PP mengandung berbagai metabolit sekunder, seperti flavonoid, polifenol, lignan, neolignan, alkaloid, saponin, tanin, steroid, dan triterpenoid. Senyawa khas yang telah diidentifikasi antara lain pellucidin A, dillapiol, peperomin A, flavonoid (quercetin, kaempferol, apigenin, dan luteolin), dan asam fenolat. Pellucidin A merupakan neolignan spesifik sering digunakan sebagai senyawa marka dan berkontribusi terhadap aktivitas biologis, termasuk aktivitas sitotoksik (Raghavendra & Kekuda, 2018). Berbagai studi menunjukkan bahwa ekstrak etanol dan fraksi polar PP memiliki aktivitas antioksidan kuat serta aktivitas sitotoksik terhadap beberapa lini sel kanker. Uji *in vitro* menunjukkan penghambatan pertumbuhan sel leukemia L1210 yang berkaitan dengan peningkatan stres oksidatif dan induksi apoptosis sel kanker (Moorthi et al., 2018; Yunarto et al., 2018).

Iradiasi gamma dosis ≤ 10 kGy terbukti efektif menurunkan cemaran mikroorganisme tanpa merusak karakteristik fisik bahan. Kandungan fenolik dan flavonoid relatif stabil pada dosis menengah, bahkan pada dosis tertentu terjadi peningkatan aktivitas antioksidan dan sitotoksik. Peningkatan ini diduga berkaitan dengan pelepasan senyawa fenolik terikat, menjadi aglikon yang lebih aktif (Winarno et al., 2020b). Selain itu, iradiasi gamma pada PP meningkatkan aktivitas penghambatan terhadap sel leukemia L1210, yang berkorelasi dengan perubahan profil fenolik total serta stabilitas pellucidin A. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa radiasi gamma tidak hanya berperan sebagai metode dekontaminasi, tetapi juga dapat memodulasi profil kimia dan meningkatkan potensi bioaktivitas PP, sehingga mendukung pengembangannya sebagai bahan baku obat herbal yang aman dan efektif.

J. Famili *Thymelaeaceae*: Mahkota Dewa (*Phaleria macrocarpa*)

Mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa* Scheff. Boerl.) (PM) merupakan tanaman obat Indonesia yang kaya metabolit bioaktif dan banyak dimanfaatkan dalam pengobatan tradisional sebagai antikanker, antioksidan, dan imunomodulator. Bagian tanaman, seperti buah, daun, dan kulit batang, mengandung senyawa fenolik, flavonoid, benzofenon glikosida, lignan, alkaloid, dan asam lemak tak jenuh yang berkontribusi pada aktivitas farmakologi. Ekstrak etanol buah PM menunjukkan aktivitas antiproliferatif terhadap sel leukemia THP-1 dan sel kanker paru A549 dengan nilai IC_{50} masing-masing 5,4 dan 9,4 $\mu\text{g/mL}$ (Kartakusumah et al., 2006). Kombinasi ekstrak buah PM dengan ekstrak *Centella asiatica* menunjukkan aktivitas antioksidan kuat (Purgiyanti et al., 2019). Sementara senyawa benzofenon glukosida seperti 2,4'-dihidroksi-4-metoksi-benzofenon-6-*O*- β -D-glukopiranosida yang diisolasi dari kulit batang PM juga menunjukkan aktivitas sitotoksik terhadap sel leukemia L1210 (Winarno et al., 2009).

Iradiasi gamma pada simplisia kulit batang PM menunjukkan bahwa dosis hingga 10 kGy tidak mengubah karakteristik fisik, warna, maupun profil kromatogram KLT secara signifikan (Katrin et al., 2010; Winarno et al., 2010b). Analisis lanjut menggunakan KCKT mengindikasikan bahwa iradiasi dapat memicu pemutusan ikatan glikosida, yang berpotensi menghasilkan senyawa turunan yang lebih aktif (Katrin et al., 2010). Penelitian lain terhadap ekstrak etanol daging buah PM menunjukkan bahwa iradiasi $\leq 7,5$ kGy mampu mengeliminasi angka lempeng total serta kapang khamir, sekaligus mempertahankan aktivitas sitotoksik terhadap sel leukemia L1210 (Winarno et al., 2010a). Sementara itu, iradiasi terhadap simplisia kulit batang dan daun pada dosis $\leq 7,5$ kGy juga tetap menunjukkan aktivitas sititoksik terhadap sel leukemia L1210 (Winarno et al., 2010b; Katrin et al., 2011a). Analisis urea-kreatinin pada tikus putih

Buku ini tidak diperjualbelikan.

galus Wistar menunjukkan bahwa pemberian campuran ekstrak buah MD dan pegagan hingga dosis 2500 mg/g BB tidak menyebabkan toksisitas sistemik pada ginjal (Sumaryono et al., 2008). Dengan demikian, iradiasi gamma pada dosis hingga 7,5 kGy efektif sebagai metode dekontaminasi sekaligus mempertahankan stabilitas fitokimia dan aktivitas biologis PM.

K. Famili Zingiberaceae: Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.), Temu Putih (*Curcuma zedoaria* (Berg.) Rosc.), dan Jahe Merah (*Zingiber officinale*)

Rimpang genus *Curcuma* dan *Zingiber* dari famili Zingiberaceae telah lama digunakan selama ratusan tahun dalam pengobatan tradisional maupun modern sebagai antiinflamasi, hepatoprotektor, mempercepat penyembuhan luka, mengatasi gangguan pencernaan, antimikroba, dan terapi pendukung penyakit kanker. Aktivitas terapeutik tersebut terutama berkaitan dengan kandungan kurkuminoid, seskuiterpenoid, monoterpen, dan senyawa fenolik yang berperan dalam modulasi jalur molekuler, termasuk aktivitas antioksidan dan antiproliferatif (Hewlings & Kalman, 2017).

Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb., CX) merupakan tanaman obat asli Indonesia yang digunakan untuk gangguan pencernaan, penyakit hati, serta sebagai imunomodulator. Rimpangnya mengandung kurkuminoid (kurkumin, demetoksikurkumin, bisdemetoksikurkumin) dan minyak atsiri yang didominasi seskuiterpenoid seperti xanthorrhizol, curdione, curzerene, germacrone, dan β -curcumene. Kurkuminoid diketahui memiliki aktivitas antiinflamasi, antioksidan, hepatoprotektif, dan antikanker melalui induksi apoptosis dan penghambatan proliferasi sel, sedangkan xanthorrhizol menunjukkan aktivitas antiproliferatif terhadap sel kanker payudara MCF-7 (Cheah et al., 2006). Namun demikian, rimpang CX rentan terhadap kontaminasi mikroorganisme,

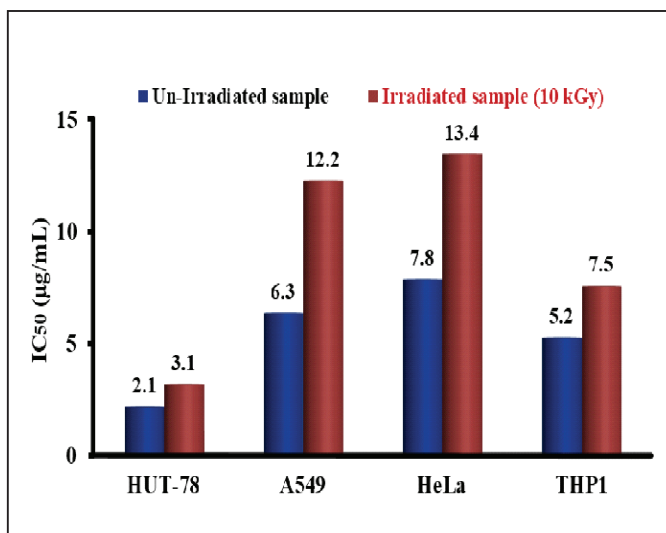
Buku ini tidak diperjualbelikan.

sehingga iradiasi gamma digunakan sebagai metode dekontaminasi untuk meningkatkan mutu tanpa menurunkan aktivitas biologisnya (Winarno et al., 2019).

Pengawetan rimpang CX dengan iradiasi gamma 5 kGy dapat menghambat pertunasan dan menurunkan jumlah mikroorganisme hingga 4 *log cycle* serta kapang hingga 5 *log cycle*, sedangkan dosis hingga 7 kGy tidak mempengaruhi kestabilan kurkuminoid (Chosdu, et al., 2008). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa iradiasi serbuk rimpang CX dosis 10 kGy tidak mempengaruhi rendemen ekstrak etanol dan kadar kurkuminoid, meskipun terjadi penurunan aktivitas antioksidan dan antiproliferatif terhadap sel kanker HeLa, THP-1, A549, dan HUT-78 (Susanto et al., 2021).

Lebih lanjut dilaporkan bahwa fraksi aktif (fraksi 3) dari ekstrak etil asetat CX menunjukkan aktivitas antiproliferatif tertinggi terhadap sel kanker tersebut dengan nilai IC_{50} 2,1 – 5,2 $\mu\text{g/mL}$, yang sedikit menurun setelah iradiasi dosis 10 kGy, namun tetap mempertahankan potensi aktivitas antiproliferatifnya (Gambar 8) (Winarno et al., 2019). Uji toksisitas akut menunjukkan bahwa ekstrak etanol rimpang CX kontrol maupun yang diradiasi 5 dan 10 kGy memiliki nilai *lethal dose* 50% (LD_{50}) > 7500 mg/kg BB (Katrin et al., 2011b). Nilai ini diklasifikasikan sebagai “praktis tidak toksik” (*practically non-toxic*) yang menunjukkan bahwa iradiasi hingga dosis 10 kGy tidak menyebabkan rimpang temulawak menjadi toksik.

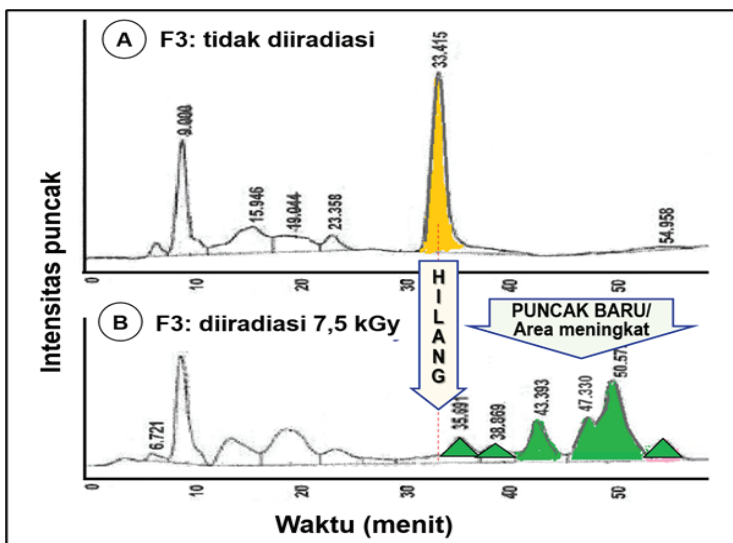
Selain temulawak, temu putih (*Curcuma zedoaria* (Berg.) Rosc.) (CZ) juga memiliki aktivitas antimikroba, antiviral antioksidan, antiinflamatory hepatoprotektor, antiradang (Gharge et al., 2021; Katrin et al., 2012a). Xantorizol dari rimpang CZ menunjukkan aktivitas antiproliferatif terhadap sel kanker payudara MCF-7 dan T47D (Cheah et al., 2006; Fitriana et al., 2023). Iradiasi gamma terhadap fraksi dari rimpang CZ pada dosis 5 – 15 kGy menunjukkan kecenderungan penurunan aktivitas sitotoksik (IC_{50} meningkat) seiring



Gambar 8. Nilai IC₅₀ fraksi 3 dari ekstrak etil asetat CX yang diiradasi 10 kGy (*bar chart* merah) dan tidak diiradasi (*bar chart* biru) terhadap galur sel kanker manusia HUT-78, A549, HeLa, dan THP-1

Sumber: Winarno et al., 2019

dengan peningkatan dosis iradiasi, yang berkorelasi dengan perubahan profil fitokimia berdasarkan analisis HPLC (Gambar 9) (Winano et al., 2012). Sebaliknya, iradiasi dosis 15 kGy pada kapsul herbal berbahan dasar rimpang CZ, tidak menyebabkan perubahan signifikan terhadap kandungan kurkumin maupun aktivitas sitotoksiknya (Katrin et al., 2013c). Selain itu, iradiasi berkas elektron hingga 25 kGy pada spesies *Curcuma longa* juga dilaporkan tidak mengubah kadar kurkumin secara signifikan (Rosiak *et al.*, 2024). Hal ini menunjukkan bahwa stabilitas senyawa aktif dipengaruhi oleh bentuk sediaan dan matriks bahan.



Gambar 9. Perubahan profil kromatogram HPLC pada fraksi aktif (F3) ekstrak etil asetat dari simplisia kunyit putih (CZ): tidak diiradiasi (A) dan diiradiasi gamma dosis 7,5 kGy (B)

Sumber: Winarno et al., 2012

Jahe merah (*Zingiber officinale* var. *rubrum*) (ZO) merupakan tanaman herbal penting dengan aktivitas antiinflamasi, antioksidan, dan imunomodulator. Meskipun telah dikeringkan, serbuk rimpang ZO masih berpotensi terkontaminasi mikroorganisme. Iradiasi gamma dosis 10 kGy tidak mempengaruhi kandungan fenolik ekstrak etanol ZO dan secara efektif meningkatkan kualitas dan keamanan mikrobiologis ekstrak (Kusumaningtyas et al., 2022). Uji toksisitas akut terhadap ekstrak etanol ZO dari serbuk rimpang yang tidak diiradiasi maupun yang diiradiasi 10 kGy menunjukkan bahwa ekstrak tersebut tetap aman hingga dosis 1250 mg/kg berat badan (Katrin et al., 2014a).

L. Karakteristik Radioresistensi Tanaman Obat dan Stabilitas Fitokimia terhadap Iradiasi Pengion

Berdasarkan berbagai studi pada tanaman obat, tingkat radioresistensi OBA dapat dikelompokkan ke dalam empat kategori berdasarkan respons stabilitas fitokimia dan aktivitas biologis terhadap paparan radiasi (IAEA, 2015; WHO, 1999). Pengelompokan ini mencerminkan kemampuan senyawa bioaktif dalam mempertahankan struktur kimia dan bioaktivitasnya pasca iradiasi (Tabel 3). Kelompok I (radioresistensi sangat tinggi), seperti *Phaleria macrocarpa*, *Scurrula atropurpurea*, dan *Peperomia pellucida*, stabil hingga ± 10 kGy tanpa perubahan bermakna (Winarno et al., 2019; Winarno et al., 2023). Kelompok II (radioresistensi tinggi), seperti *Curcuma zedoaria* dan *Dendrophthoe pentandra*, relatif stabil hingga mendekati 10 kGy, meskipun pada dosis lebih tinggi mulai terjadi perubahan minor pada komponen tertentu (Winarno et al., 2023; Ognyanov et al., 2022). Kelompok III (radioresistensi sedang–rendah) mencakup sebagian besar OBA dengan stabilitas optimal pada dosis 5 – 7,5 kGy, sesuai rentang dekontaminasi yang direkomendasikan (CAC, 2003; IAEA, 2015). Stabilitas ini berkaitan dengan karakter metabolit sekunder, seperti polifenol dan flavonoid, yang memiliki ketahanan berbeda terhadap radiasi (Ahmed & Hassan, 2023; Ognyanov et al., 2022). Kelompok IV (radioresistensi rendah/sensitif) OBA yang menunjukkan perubahan signifikan pada dosis relatif rendah (< 5 kGy) terhadap parameter fitokimia maupun aktivitas biologis. Umumnya karena senyawa yang labil terhadap oksidasi atau kadar air tinggi yang meningkatkan efek radiolysis air (IAEA, 2015; WHO, 1999). Pengelompokan ini penting sebagai dasar penentuan dosis optimal agar dekontaminasi efektif tanpa menurunkan stabilitas kimia dan khasiat OBA.

Tabel 3 Tingkat radioresistensi OBA terhadap iradiasi gamma

Tanaman	Senyawa Marker Utama	Model Sel Kanker	Dosis Stabil (kGy)	Respons terhadap Iradiasi	Tingkat Radio-resistensi
Mahkota dewa (<i>Phaleria macrocarpa</i>)	Benzofenon glikosida	L1210, A549, THP-1	5 – 10	Tidak ada perubahan signifikan IC ₅₀ & profil kromatografi	Sangat tinggi
Benalu teh (<i>Scurrula atropurpurea</i>)	Alkynic fatty acid, flavonoid	HeLa, A549, HUT-78	≤ 10	Aktivitas konsisten hingga dosis tinggi	Sangat tinggi
Suruhan (<i>Peperomia pellucida</i>)	Pellucidin A	L1210	≤ 10	Aktivitas stabil; beberapa fraksi meningkat	Sangat tinggi
Kunyit putih (<i>Curcuma zedoaria</i>)	Kurkumin, zedoarone	L1210, MCF-7, OV-CAR-3	≤ 7,5 – 10	Stabil; fraksi tertentu sensitif dosis tinggi	Tinggi
Benalu masisin (<i>Dendrophthoe pentandra</i>)	Flavonoid (quercetin derivat)	HeLa, MCF-7	≤ 7,5 – 10	Tidak ada penurunan bermakna	Tinggi
Benalu alus (<i>Scurrula fusca</i>)	Flavonoid	MCF-7	≤ 7,5	Aktivitas relatif stabil	Tinggi
Temulawak (<i>Curcuma xanthorrhiza</i>)	Kurkumin, xanthorrhizol	HUT-78, A549, HeLa, THP-1	≤ 7,5	IC ₅₀ stabil; menurun ringan ≥10 kGy	Sedang-rendah (optimal ≤ 7,5 kGy)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tanaman	Senyawa Marker Utama	Model Sel Kanker	Dosis Stabil (kGy)	Respons terhadap Iradiasi	Tingkat Radio-resistensi
Sambiloto (<i>Andrographis paniculata</i>)	Andrographolide	HeLa, THP-1, HUT-78	$\leq 7,5$	Stabil dosis sedang; menurun ≥ 10 kGy	Sedang-rendah
Jati belanda (<i>Guazuma ulmifolia</i>)	Tiliroside	MCF-7	$\leq 7,5$	IC ₅₀ stabil	Sedang-rendah
Keladi tikus (<i>Typhonium flagelliforme</i>)	Vitexin	MCF-7	$\leq 7,5$	Aktivitas apoptosis tetap	Sedang-rendah
Daun sirsak (<i>Annona muricata</i>)	Annonacin	MCF-7	$\leq 7,5$ kGy	Aktivitas tetap terjaga	Sedang-rendah
Sirih merah (<i>Piper crocatum</i>)	Flavonoid	L1210	$\leq 7,5$	Aktivitas stabil	Sedang-rendah
Jahe merah (<i>Zingiber officinale</i>)	6-Gingerol	HeLa, MCF-7	$\leq 7,5$	Stabil; sedikit penurunan ≥ 10 kGy	Sedang-rendah
Rosela (<i>Hibiscus sabdariffa</i>)	Delphinidin-3-glucoside	MCF-7, A549	$\leq 7,5$ kGy	Stabil; mulai menurun ≥ 10 kGy	Sedang-rendah

Sumber: diambil dari berbagai sumber

Data dan informasi hasil penelitian ini, yang mencakup analisis fisikokimia, stabilitas senyawa bioaktif, aktivitas biologis, dan aspek toksikologi, memiliki peran strategis dalam pengembangan OBA. Bagi regulator, temuan yang mencakup analisis fisikokimia, stabilitas senyawa metabolit sekunder, aktivitas biologi, dan aspek toksikologis, menjadi dasar dalam evaluasi dan penyempurnaan kebijakan, khususnya terkait standar keamanan, batas dosis, dan penerapan

teknologi; bagi industri, berfungsi sebagai acuan untuk menghasilkan produk yang efisien, konsisten, dan sesuai regulasi; sedangkan bagi masyarakat, memberikan jaminan mutu, keamanan, dan efikasi. Integrasi pendekatan multidisipliner memperkuat landasan ilmiah modernisasi OBA, sehingga diperlukan sinergi antara pemerintah, perguruan tinggi, dan lembaga penelitian untuk mendukung implementasi teknologi iradiasi yang optimal dan berkelanjutan.

BAB V. TANTANGAN PENERAPAN TEKNOLOGI IRADIASI PADA OBAT BAHAN ALAM

Teknologi radiasi pangan memiliki potensi besar dalam meningkatkan mutu dan keamanan obat bahan alam (OBA), terutama melalui pengendalian cemaran mikrobiologis seperti bakteri, kapang, khamir, serta eliminasi serangga dan parasit tanpa meninggalkan residu kimia. Di Indonesia, penerapan teknologi ini telah didukung oleh berbagai regulasi, antara lain Peraturan BPOM Nomor 3 Tahun 2018 tentang “Pangan Iradiasi” dan Peraturan BPOM Nomor 18 Tahun 2019 tentang “Cara Iradiasi Pangan yang Baik” (BPOM RI, 2018; BPOM RI, 2019). Regulasi tersebut sejalan dengan standar internasional yang menegaskan keamanan proses iradiasi serta bahwa produk yang diiradiasi tidak menjadi radioaktif dan tidak menghasilkan residu kimia berbahaya (CAC, 2003; IAEA, 2015; WHO, 1999, 2018). Meskipun demikian, penerapan teknologi iradiasi pada OBA, termasuk pengembangan dan penerimaan produk OBA iradiasi, masih menghadapi berbagai tantangan multidimensional yang mencakup aspek teknis, mutu dan keamanan produk, ekonomi, infrastruktur, regulasi, serta sosial.

Salah satu hambatan utama adalah keterbatasan fasilitas iradiasi yang tersedia dan persebarannya yang masih terkonsentrasi di beberapa lokasi tertentu. Saat ini, fasilitas iradiasi gamma berbasis Co-60 antara lain berada di bawah pengelolaan pemerintah di BRIN Tangerang Selatan, serta fasilitas milik swasta di Bekasi, sementara fasilitas akselerator elektron komersial juga masih terbatas di Bekasi dan Surabaya. Keterbatasan ini menyebabkan peningkatan biaya logistik bagi industri yang jauh dari lokasi fasilitas, dan berdampak pada waktu tunggu layanan yang relatif lebih lama, serta keterbatasan kapasitas produksi. Sebagai perbandingan, negara seperti India,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tiongkok, Thailand, dan Vietnam telah memiliki jaringan fasilitas iradiasi yang lebih luas dan terdistribusi dengan baik sehingga mampu mendukung komersialisasi secara lebih efisien (IAEA, 2015). Oleh karena itu, penguatan infrastruktur nasional melalui pembangunan fasilitas baru, pemerataan lokasi layanan, serta peningkatan kolaborasi antara pemerintah dan sektor swasta menjadi langkah strategis yang perlu diprioritaskan.

Pembangunan fasilitas iradiasi memerlukan investasi awal yang tinggi, mencakup infrastruktur, sumber radiasi (Co-60 atau akselerator elektron), sistem proteksi radiasi, dan perizinan. Selain itu, biaya operasional seperti pemeliharaan, kalibrasi dosimetri, dan pelatihan SDM turut menambah beban ekonomi. Bagi industri OBA skala kecil dan menengah, kondisi ini menjadi kendala utama dalam adopsi teknologi. Pengalaman di berbagai negara menunjukkan bahwa keberhasilan pengembangan industri iradiasi sangat dipengaruhi oleh dukungan pemerintah melalui insentif fiskal, kemudahan regulasi, dan skema pembiayaan yang kompetitif (IAEA, 2015). Di sisi lain, pengoperasian fasilitas iradiasi menuntut ketersediaan sumber daya manusia (SDM) yang memiliki kompetensi khusus, terutama dalam aspek keselamatan radiasi, dosimetri, serta pemahaman terhadap stabilitas senyawa fitokimia. Keterbatasan tenaga ahli terlatih masih menjadi kendala dalam pengembangan dan adopsi teknologi iradiasi di Indonesia. Oleh karena itu, penguatan kapasitas SDM melalui pendidikan formal, pelatihan teknis, serta sertifikasi profesi perlu disiapkan untuk menjamin operasional fasilitas yang andal (IAEA, 2015; WHO, 2007).

Tantangan lain yang tidak kalah penting adalah rendahnya tingkat literasi publik terkait teknologi iradiasi turut memperkuat berkembangnya miskonsepsi, khususnya anggapan bahwa produk iradiasi bersifat radioaktif. Persepsi ini tidak sejalan dengan bukti ilmiah bahwa proses iradiasi pada OBA tidak menyebabkan bahan menjadi radioaktif maupun meninggalkan residu berbahaya (BPOM

RI, 2018; BPOM RI, 2019; IAEA, 1992; WHO, 1999). Kurangnya pemahaman tersebut berdampak langsung pada rendahnya tingkat penerimaan konsumen serta kehati-hatian pelaku industri dalam mengadopsi teknologi ini. Oleh karena itu, diperlukan strategi edukasi publik yang sistematis, berbasis bukti ilmiah, dan didukung oleh komunikasi risiko yang efektif, dengan melibatkan akademisi, regulator, dan lembaga riset.

Dari aspek regulasi, meskipun kerangka kebijakan telah tersedia, implementasinya di tingkat lapangan masih menghadapi kendala. Produsen diwajibkan memenuhi sejumlah persyaratan administratif, antara lain dokumentasi dosis iradiasi, jenis dan sumber radiasi, spesifikasi kemasan, serta sertifikasi proses iradiasi sebelum produk dapat dipasarkan. Bagi industri kecil dan menengah, pemenuhan persyaratan ini seringkali menjadi beban tambahan yang dapat menghambat adopsi teknologi. Selain itu, ketidakkonsistenan dalam penerapan pelabelan iradiasi juga berpotensi mengurangi transparansi dan kepercayaan konsumen terhadap produk OBA iradiasi (BPOM RI, 2018; BPOM RI, 2019).

Pengawasan pasca-iradiasi merupakan aspek krusial yang masih perlu diperkuat untuk menjamin bahwa proses iradiasi tidak hanya efektif dalam dekontaminasi, tetapi juga tidak menurunkan stabilitas senyawa bioaktif serta keamanan OBA. Pengawasan ini mencakup validasi dosis, kalibrasi dan sertifikasi dosimetri, penggunaan operator tersertifikasi, serta penerapan sistem dokumentasi yang tertelusur. Di sisi lain, meskipun iradiasi pada dosis ≤ 10 kGy telah diakui aman secara internasional, respons senyawa bioaktif terhadap radiasi tetap bervariasi, dipengaruhi oleh jenis tanaman, komposisi metabolit sekunder, kadar air, serta parameter proses. Senyawa fenolik dan flavonoid dalam simplisia kering pada umumnya stabil pada dosis 5 – 10 kGy, sedangkan pada bahan dengan kadar air tinggi, radiolisis air dapat menghasilkan radikal bebas yang memicu reaksi oksidatif dan berpotensi menyebabkan degradasi (IAEA, 2015; Susanto et

Buku ini tidak diperjualbelikan.

al., 2023; WHO, 1999; Winarno et al., 2009; Winarno et al., 2010a; Winarno et al., 2020; Winarno et al., 2026a). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar simplisia kering, termasuk kelompok rimpang seperti *Curcuma* spp. dan tanaman daun seperti *Andrographis paniculata*, *Piper crocatum*, serta *Annona muricata* tetap mempertahankan kandungan senyawa aktif dan aktivitas biologisnya pada kisaran dosis tersebut (Winarno et al., 2009; Winarno et al., 2010a; Winarno et al., 2020). Sebaliknya, senyawa yang lebih sensitif seperti antosianin memerlukan dosis yang lebih rendah (≤ 5 kGy) untuk mencegah degradasi (Susanto et al., 2023; WHO, 2007). Oleh karena itu, optimasi dosis secara spesifik tetap diperlukan dengan mempertimbangkan karakteristik bahan dalam menjaga kualitas dan aktivitas farmakologis (IAEA, 2015; WHO, 1999). Selain aspek tersebut, pemilihan teknologi pengendalian cemaran juga menjadi pertimbangan penting dalam penerapan OBA. Pengendalian cemaran pada simplisia dan obat bahan alam (OBA) secara konvensional dapat dilakukan melalui pengeringan, perlakuan panas, fumigasi, maupun penggunaan bahan kimia tertentu. Metode tersebut efektif dalam menurunkan cemaran mikrobiologis, tetapi masing-masing memiliki keterbatasan, terutama terkait kemungkinan perubahan karakteristik fisik dan senyawa bioaktif akibat panas, keterbatasan penetrasi, serta potensi residu bahan kimia pada metode tertentu. Efektivitasnya juga sangat bergantung pada jenis bahan, kadar air, karakteristik cemaran, dan kondisi proses.

Dibandingkan dengan metode tersebut, iradiasi pengion memiliki beberapa keunggulan, antara lain bersifat non-termal, tidak meninggalkan residu kimia, dapat diaplikasikan pada bahan dalam kemasan, serta mampu menurunkan cemaran mikrobiologis secara efektif. Karakteristik ini memberikan keuntungan terutama bagi OBA yang mengandung senyawa bioaktif sensitif terhadap panas atau bahan kimia. Namun, iradiasi juga memiliki keterbatasan berupa kebutuhan fasilitas khusus, investasi dan biaya operasional, persyaratan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

keselamatan radiasi, serta perlunya validasi dosis dan dosimetri yang andal (CAC, 2003; IAEA, 2015; WHO, 1999).

Oleh karena itu, teknologi iradiasi tidak harus dipandang sebagai pengganti seluruh metode konvensional, tetapi sebagai salah satu alternatif atau teknologi komplementer dalam pengendalian mutu OBA. Pemilihan metode perlu mempertimbangkan karakteristik bahan, tujuan proses, tingkat cemaran, sensitivitas senyawa bioaktif, persyaratan mutu dan keamanan, serta kelayakan teknis dan ekonomi. Dengan pendekatan tersebut, iradiasi dapat ditempatkan secara proporsional sebagai bagian dari strategi pengendalian mutu OBA yang berbasis bukti ilmiah dan sesuai dengan kebutuhan industri.

Secara keseluruhan, penerapan teknologi iradiasi pada OBA di Indonesia masih memerlukan penguatan infrastruktur, SDM, regulasi, validasi proses, serta penerimaan masyarakat. Di sisi lain, meningkatnya kebutuhan terhadap OBA yang bermutu, aman, dan terstandar membuka peluang pengembangan teknologi ini secara lebih luas melalui sinergi pemerintah, regulator, lembaga penelitian, perguruan tinggi, dan industri. Dengan dukungan tersebut, teknologi iradiasi berpotensi memperkuat hilirisasi dan daya saing OBA Indonesia.

BAB VI. KESIMPULAN

Teknologi radiasi pengion memiliki kontribusi signifikan dalam meningkatkan mutu, keamanan, dan daya saing obat bahan alam (OBA) Indonesia. Dalam pembangunan kesehatan nasional dan pencapaian SDGs, khususnya Tujuan ke-3 tentang “Kehidupan Sehat dan Sejahtera”, pemanfaatan teknologi ini memiliki relevansi strategis. Indonesia sebagai negara megabiodiversitas memiliki potensi besar dalam pengembangan simplisia, jamu, obat herbal terstandar, dan fitofarmaka yang memenuhi standar mutu nasional maupun internasional, tetapi optimalisasi potensi tersebut memerlukan teknologi yang mampu menjamin konsistensi mutu dan keamanan produk.

Radiasi pengion, seperti sinar gamma, berkas elektron, dan sinar-X bekerja melalui mekanisme ionisasi menghasilkan spesies reaktif yang mampu merusak struktur DNA mikroorganisme, menyebabkan inaktivasi mikroorganisme tanpa meningkatkan suhu secara signifikan dan tanpa meninggalkan residu kimia. Karakteristik non-termal dan non-kimiawi menjadikan iradiasi sebagai salah satu alternatif metode dekontaminasi yang sesuai untuk OBA yang sensitif terhadap panas dan bahan kimia. Dengan pengaturan dosis yang tepat, teknologi ini mampu menurunkan cemaran mikrobiologis tanpa mengubah karakteristik fisik, organoleptik, maupun komponen kimia utama secara signifikan.

Bukti empiris menunjukkan bahwa iradiasi pada dosis dekontaminasi sedang (5 – 10 kGy) efektif menurunkan bioburden berbagai OBA. Stabilitas senyawa bioaktif, seperti kurkuminoid, flavonoid, polifenol, dan minyak atsiri, umumnya terjaga pada dosis optimum. Dalam beberapa kasus, terjadi peningkatan aktivitas

antioksidan dari senyawa fenolik terikat. Hal ini mengindikasikan bahwa iradiasi tidak hanya berfungsi sebagai metode pengendalian mikroorganisme, tetapi juga mendukung preservasi kualitas bioaktif secara terkontrol.

Dari aspek keamanan, berbagai evaluasi internasional seperti Codex Alimentarius Commission, WHO, dan IAEA telah menyatakan bahwa iradiasi hingga dosis 10 kGy tidak menimbulkan risiko toksikologis, tidak menyebabkan perubahan nilai gizi yang signifikan, dan tidak menyebabkan produk menjadi radioaktif. Prinsip ini telah diadopsi dalam regulasi nasional, sehingga penerapannya pada OBA memiliki dasar hukum dan ilmiah yang kuat. Meskipun demikian, respons bahan terhadap radiasi bersifat spesifik, sehingga optimasi dosis berbasis bukti ilmiah sangat diperlukan. Selain itu, pemenuhan aspek regulatori seperti GMP, validasi proses, dan dosimetri menjadi prasyarat penting, terutama produk dengan klasifikasi lebih tinggi seperti OHT dan fitofarmaka.

Implementasi teknologi iradiasi masih menghadapi tantangan, antara lain persepsi publik yang negatif terhadap istilah “radiasi”, keterbatasan fasilitas yang berdampak pada akses dan biaya logistik, dan kebutuhan investasi yang relatif tinggi. Pemilihan teknologi iradiasi sebagai metode pengendalian mutu juga perlu mempertimbangkan karakteristik bahan, tujuan proses, sensitivitas senyawa bioaktif, serta kelayakan teknis dan ekonomi dibandingkan dengan metode konvensional. Oleh karena itu, keberhasilan penerapan iradiasi memerlukan dukungan ekosistem yang komprehensif, mencakup regulasi, infrastruktur, riset, dan edukasi.

Pada akhirnya, teknologi radiasi pengion berperan dalam meningkatkan mutu dan keamanan OBA, mempertahankan senyawa bioaktif dan aktivitas biologis, serta menjembatani pengetahuan tradisional dengan standar ilmiah modern untuk memperkuat kemandirian kefarmasian dan daya saing global.

BAB VII. PENUTUP

Sebagai refleksi ilmiah dan kontribusi pemikiran terhadap pengembangan OBA Indonesia, teknologi radiasi pengion bukan sekadar alternatif teknis dalam dekontaminasi, melainkan bagian dari transformasi paradigma pengelolaan OBA di era modern. Transformasi ini menempatkan mutu, keamanan, konsistensi, dan validasi ilmiah sebagai fondasi utama pengembangan produk yang tidak hanya bernilai tradisional dan kultural, tetapi juga memiliki legitimasi ilmiah serta pengakuan regulatori. Dalam globalisasi industri kesehatan, OBA tidak hanya bertumpu pada pengalaman empiris, melainkan harus didukung bukti ilmiah dan terstandar.

Indonesia memiliki keunggulan komparatif berupa kekayaan biodiversitas tanaman obat yang sangat besar dan memiliki potensi strategis untuk mengembangkan industri OBA yang berdaya saing global. Akan tetapi, keunggulan tersebut belum sepenuhnya terkonversi menjadi keunggulan kompetitif di pasar global. Salah satu kendala utama adalah variabilitas mutu bahan baku, terutama terkait cemaran mikrobiologis dan ketidakstabilan senyawa aktif. Dalam kerangka ini, teknologi iradiasi merupakan salah satu solusi rasional melalui kemampuannya dalam mendekontaminasi bahan secara efektif tanpa perlakuan panas yang dapat memengaruhi komponen bioaktif yang sensitif. Pemanfaatannya perlu ditempatkan secara proporsional sesuai karakteristik bahan dan tujuan pengendalian mutu, serta dapat melengkapi teknologi konvensional yang telah digunakan.

Keberhasilan implementasi teknologi ini tidak hanya ditentukan oleh aspek teknis, tetapi juga oleh penerimaan publik dan kesiapan sistem pendukung. Persepsi negatif terhadap istilah “radiasi” yang kerap diasosiasikan dengan bahaya nuklir masih menjadi hambatan

yang perlu diatasi melalui edukasi berbasis bukti ilmiah. Selain itu, diperlukan penguatan infrastruktur, peningkatan kapasitas sumber daya manusia, serta distribusi fasilitas iradiasi yang lebih merata untuk menjamin aksesibilitas bagi industri OBA. Dari sisi kebijakan, regulasi nasional telah tersedia dan memberikan landasan hukum yang memadai, akan tetapi efektivitasnya bergantung pada implementasi yang konsisten, termasuk validasi dosis, sertifikasi dosimetri, sistem jaminan mutu, dan dokumentasi proses. Pengawasan yang efektif menjadi kunci untuk memastikan bahwa penerapan teknologi berjalan sesuai standar dan memberikan perlindungan optimal bagi konsumen.

Lebih jauh, riset lanjutan yang komprehensif tetap diperlukan untuk memahami mekanisme perubahan fitokimia akibat iradiasi, mengevaluasi stabilitas jangka panjang, dan memastikan keamanan sub-kronis dari berbagai jenis tanaman obat. Mengingat karakteristik setiap tanaman berbeda, pendekatan berbasis kasus menjadi penting dalam menentukan kondisi proses yang optimal. Kolaborasi multidisiplin antara akademisi, industri, pemerintah, dan pemangku kepentingan lainnya (pentaheliks) menjadi kunci percepatan inovasi dan hilirisasi hasil riset yang berkelanjutan. Melalui kolaborasi ini, hasil penelitian tidak berhenti pada publikasi ilmiah, tetapi dapat diimplementasikan dalam skala industri dan memberikan dampak nyata bagi peningkatan kualitas OBA nasional. Dengan integrasi antara teknologi, regulasi, riset, dan edukasi, iradiasi berpotensi menjadi bagian dari sistem penjaminan mutu terpadu dalam pengembangan OBA. Pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan produk herbal yang aman, bermutu, dan berdaya saing tinggi, serta berkontribusi nyata terhadap peningkatan kesehatan masyarakat dan kemandirian industri farmasi nasional yang berdaya saing global menuju visi Indonesia Emas 2045.

UCAPAN TERIMA KASIH

Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional yang mulia, dan dan hadirin yang saya hormati, pada akhir orasi ilmiah ini, perkenankanlah saya memanjatkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas setiap berkah yang telah dianugerahkan kepada saya dan keluarga sehingga pada akhirnya saya dapat menyampaikan Orasi Pengukuhan Profesor Riset ini.

Saya juga menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada yang terhormat, Presiden Republik Indonesia, Bapak Jenderal (Purn.) Prabowo Subianto dan Presiden ke-7 Republik Indonesia Bapak Ir. H. Joko Widodo, atas penetapan saya sebagai Peneliti Ahli Utama; Kepala dan Wakil Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Prof. Dr. Arif Satria, S.P., M.Si., dan Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian, M.Sc., atas dukungan dan kepercayaan dalam pengembangan karier kepakaran saya sebagai peneliti. Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset Prof. Dr. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, MSCE, Ph.D.; Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset Prof. Dr. Ir. Zainal Arifin, M.Sc.; Tim Penelaah Naskah Orasi, Prof. Dr. Irawan Sugoro, M.Si, Prof. Dr. Mukh. Syaifudin, dan Prof. Dr. apt. Esti Mumpuni, M.Si.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Sekretaris Utama BRIN, Nur Tri Aries Suestiningtyas, S.I.P. M.A.; dan Kepala Biro Organisasi dan Sumber Daya Manusia BRIN, Ratih Retno Wulandari S.Sos, M.Si yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk ditetapkan sebagai Profesor Riset.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, saya juga mengucapkan terima kasih kepada Kepala Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Prof. Dr. Syaiful Bakhri; Plt. Kepala Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi, Heranudin, M.Eng., Ph.D.; dan Kepala Pusat Riset Teknologi Proses

Radiasi 2022 – 2026, Prof. Dr. Irawan Sugoro, M.Si; atas bantuan dan dukungannya; serta kolega saya di PRTPR, Susanto, S.Si, M.Si, Dra. Ermin Katrin Harantung, Indra Mustika Pratama, S.T., M.Si., Ashri Mukti Benita, S.TP, M.Sc, Dr. Murni Indrawatmi, M.Si, Ir. Idrus Kadir, SE, M.P., Henni Widyastuti, S.ST, Hadian Iman Sasmita, Ph.D., Asti Nilatany, S.K.M., M.Si, Deudeu Lasmawati, S.Si., Dr. apt. Darmawan Darwis, Dr. Meri Suhartini, Dr. Tita Puspitasari, Dr. Eng. Farah Nurlidar, M.Si, apt. Dien Puji Rahayu, Ph.D.; rekan-rekan periset dan layanan radiasi di Gedung 40 dan 41 Kawasan Sains dan Teknologi GA. Siwabessy, dan seluruh rekan-rekan periset PRTPR untuk semua dukungannya.

Perjalanan panjang ini tentu tidak dapat saya lalui tanpa peran dan jasa para guru saya, khususnya pembimbing program doktor di Fukuyama University – Hiroshima – Japan, Prof. Dr. Hirotaka Shibuya (alm.) dan Prof. Dr. Kazuyoshi Ohashi (alm.); pembimbing program master di Osaka University – Osaka – Japan, Prof. Dr. Soichi Kusumoto dan Prof. Dr. Yasuo Suda, pembimbing program sarjana di Universitas Gadjah Mada, Ir. Priyana, M.Sc (alm) dan Prof. Dr. Narsito (alm), serta para guru SMAN Genteng – Banyuwangi, SMPN Srengat – Blitar, dan SDN Pakisrejo – Blitar.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada orangtua saya almarhum Mitkal Marsono dan almarhumah Lilik Sunarti juga mertua saya almarhum Billy Bahen Harantung, BA dan Rusdiwi Dugie Ludang, adik-adik, serta paman dan bibi yang selalu mendoakan dan memberikan bimbingan.

Kepada istri tercinta Dra. Ermin Katrin Harantung, dan kedua anakku tersayang, Yosaka Eka Putranta, S.T, MBA dan Albertus Wida Wiratama, S.T., ucapan terima kasih yang tak terhingga saya sampaikan atas cinta kasih yang tulus, serta dukungan doa dan semangat yang tiada henti.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Panitia Pelaksana Pengukuhan Profesor Riset atas jerih payah, kerja keras, dan dukungannya dalam menyelenggarakan acara orasi ini.

Kepada para tamu undangan, hadirin, para mitra dari institusi, perguruan tinggi, industri obat herbal, dan semua pihak yang tidak dapat saya sebut satu persatu, yang turut berperan serta dalam mengantarkan saya sampai saat ini, dengan tulus saya ucapkan terima kasih.

Akhirnya, dengan segala kerendahan hati, saya mohon maaf atas segala khilaf dan kekurangan dalam menyampaikan orasi ilmiah ini. Semoga Tuhan Yang Maha Kuasa senantiasa memberikan ampunan, perlindungan, bimbingan, dan berkat kepada kita semua.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ahmed, S. M., & Hassan, A. B. (2023). *Validation of γ -radiation and their effect on phenolic compounds, antioxidant activity, and microbial load of fennel (*Foeniculum vulgare*) seeds and cinnamon (*Cinnamomum verum*) sticks. Food Science & Nutrition, 11, 1994–2001. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3233>.*
1. Alijaniha, F., Emadi, F., Naseri, M., Kamalinejad, M., Motevaseli, E., Soodi, M., & Karimi, R. (2021). Effect of gamma irradiation on cytotoxicity, phenolics content and acute toxicity of *Cuscuta chinensis* L. extract. *Radiation Physics and Chemistry*, 185, 109508. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109508>
1. Association of Southeast Asian Nations (2015). *ASEAN Economic Community blueprint 2025*. ASEAN Secretariat.
1. Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia (2018). *Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 3 tahun 2018 tentang Pangan Iradiasi*. BPOM RI.
1. Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia (2019). *Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 18 Tahun 2019 tentang Cara Iradiasi Pangan Yang Baik*. BPOM RI. https://jdih.pom.go.id/download/book/4/Buku_02-Perka_BPOM_2019.pdf.
1. Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia (2021). *Peraturan Badan POM Nomor 25 Tahun 2021 tentang Pedoman Teknis Cara Pembuatan Obat Tradisional yang Baik (CPOTB)*. BPOM RI. <https://standar-otskk.pom.go.id/storage/uploads/b9f9516d-0fca-4224-be16-639872816ea4/>.
1. Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia (2023). *Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 29 Tahun 2023 tentang Persyaratan Keamanan dan Mutu Obat Bahan Alam*. BPOM RI.

1. Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia (2025). Kepala BPOM Tekankan Pentingnya Pemanfaatan Obat Bahan Alam dalam Pelayanan Kesehatan Indonesia. Siaran Pers BPOM RI, 7 Maret 2025. <https://www.pom.go.id/berita/kepala-bpom-tekanan-pentingnya-pemanfaatan-obat-bahan-alam-dalam-pelayanan-kesehatan-indonesia>. Diakses pada 18 Februari 2026.
1. Badan Tenaga Nuklir Nasional (2003). Ensiklopedi Teknologi Nuklir. <https://www.batan.go.id/index.php/id/ensiklopedi2>. Diakses 16 Agustus 2024].
1. Baeyens, A., Abrantes, A. M., Ahire V., Ainsbury, E. A., Baatout, S., Baselet, B., Botelho, M. F., Boterberg, T., Chevalier, F., Pieve F. D., Delbart, W., Eden, N. F. J., Fernandez-Palomo, C., Geenen, L., G. Georgakilas, A. G., Heynickx, N., Meade, A. D., Michaelidesova, A. J., Mistry, D., ... Wozny, A.-S. (2023). *Basic Concepts of Radiation Biology*: in Radiobiology Textbook (S. Baatout, Ed.), 25–82. <file:///C:/Users/Edy/Downloads/978-3-031-18810-7.pdf>.
1. Bray, F., Laversanne, M., Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Soerjomataram, I., & Jemal, A. (2024). Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 74(3), 229–263. <https://doi.org/10.3322/caac.21834>.
1. Cheah, Y. H., Azimahtol, H. L. P., & Abdullah, N. R. (2006). Xanthorrhizol exhibits antiproliferative activity on MCF-7 breast cancer cells via apoptosis induction. *Anticancer Research*, 26(6B), 4527–4534.
1. Chodidjah, Dharmana, E., Susanto, H., & Ekawuyung, P. (2023). The effect of the ethanol extract of *Typhonium flagelliforme* on apoptosis adenocarcinoma mamma cells in C3H mice. *Bangladesh Journal of Medical Science*, 22 (2), 329–335. <https://doi.org/10.3329/bjms.v22i2.64991>.
1. Chosdu, R. (2008). Gamma radiation processing on temulawak (*C. xanthorrhiza* Roxb.) and other Zingiberaceae. *Jurnal Ilmiah*

Aplikasi Isotop dan Radiasi, 4(2), 109-115.

1. Codex Alimentarius Commission (CAC) (2003). *General Standard for Irradiated Foods. Codex Stan 106-1983, Rev.1-2003*. FAO/WHO. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/.pdf>.
1. Da'i, M., Wikantyasning, E. R., Wahyuni, A. S., & Setyowati, E. P. (2016). Antiproliferative properties of tiliroside isolated from *Guazuma ulmifolia* Lamk on T47D and MCF-7 cancer cell lines. *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology*, 6(6), 627–633. <https://doi.org/10.5455/njppp.2016.6.041620164>.
1. Dorge, R. (2026). *Pasar obat herbal Indonesia 2024–2033*. Laporan Custom Market Insights: CMI56057, 24 Februari 2026. <https://www.custommarketinsights-com.translate.goog/report/indonesia-herbal-medicine-market/?>
1. European Medicines Agency (EMA) (2015). *Reflection paper on microbial aspects of herbal medicinal products and traditional herbal medicinal products*. Committee on Herbal Medicinal Products (HMPC). EMA/HMPC/95714/2013. <https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/pdf>.
1. Fitriana, N., Rifa'i, M., Masruri, M., Wicaksono, S. T., & Widodo, N., (2023). Anticancer effects of *Curcuma zedoaria* (Berg.) Roscoe ethanol extract on a human breast cancer cell line. *Chemical Papers*, 77(1), 399–411. <https://doi.org/10.1007/s11696-022-02482-9>.
1. Food and Agriculture Organization and World Health Organization 2023. *General principles of food hygiene*. Codex Alimentarius, Code of Practice, No. CXC 1-1969. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc6125en>.
1. Garbi, M. I., Osman, E. E., Kabbashi, A. S., Saleh, M. S., Mohammed, Y. S., Ahmed, S. A., Hamza A. A Salam, H. A. A., & Priya, M. R. (2017). Cytotoxicity of *Vitex trifolia* leaf extracts on MCF-7 and Vero cell lines. *International Research Journal of Natural Sciences*, 5(2), 12–21.
1. Ghaly, H. K. F., Younis, F. A. A.-Y., Soliman, A. M., & El-Sabbagh,

S. M. (2025). Phytochemical and antibacterial properties of calyces *Hibiscus sabdariffa* L.: An in vitro and in silico multitarget-mediated antibacterial study. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 25, 62. <https://doi.org/10.1186/s12906-025-04794-1>.

1. Gharage, S., Hiremath, S. I., Kagawad, P., Jivaje, K., Palled, M. S., & Suryawanshi, S. S. (2021). *Curcuma zedoaria* Rosc. (Zingiberaceae): A review on its chemical, pharmacological and biological activities. *Bulletin of the National Research Centre*, 45(166), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s43094-021-00316-1>.
1. Hadiati, S. W., **Winarno, H.**, & Pramono, S. (2021). Gamma irradiation as suitable preservation method on herbal medicine: A review. *Food Research*, 5(5), 33–42. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(5\).494](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(5).494)
1. Halliwell, B., Adhikary A., Dingfelder, M., & Dizdaroglu, M. (2021). Hydroxyl radical is a significant player in oxidative DNA damage in vivo. *Chemical Society Reviews*, 50(15), 8355–8360. doi: [10.1039/d1cs00044f](https://doi.org/10.1039/d1cs00044f).
1. Harantung, E. K., Susanto, & **Winarno, H.** (2021). Toksisitas akut ekstrak etanol dari simplisia daun sirsak (*Annona muricata* L.) yang diawetkan dengan iradiasi gamma. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 17(1), 41–52. <https://doi.org/10.17146/jair.2021.17.1.6091>.
1. Hassan K. M., Njogu, P. M., Njuguna, N. M., & Ndwigah, S. N. (2021). Microbiological contamination of herbal medicinal products marketed in Kenya for chronic diseases: A case study of Nairobi metropolis. *Journal of Herbal Medicine*, 29, 100475. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2021.100475>.
1. Hewlings, S. J., & Kalman, D. S. (2017). Curcumin: A review of its effects on human health. *Foods*, 6(10), 92. <https://doi.org/10.3390/foods6100092>.
1. International Atomic Energy Agency (1992). *Irradiation of spices, herbs and other vegetable seasonings: A compilation of technical*

data for its authorization and control. IAEA TECDOC-639. International Consultative Group on Food Irradiation, Joint FAO/IAEA/WHO.

1. International Atomic Energy Agency (2003). *Manual for reactor produced radioisotopes.* IAEA-TECDOC-1340. https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1340_web.pdf?
1. International Atomic Energy Agency (2008). *Irradiation development of electron beam and X ray applications for food irradiation.* Final Report of a Coordinated Research Project. IAEA TECDOC 2008. Joint FAO/IAEA. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2008web.pdf>.
1. International Atomic Energy Agency (2009). *Irradiation to ensure the safety and quality of prepared meals,* p.375. IAEA.
1. International Atomic Energy Agency (2010). *Radiation safety of gamma, electron and X-ray irradiation facilities.* (Safety Standards Series No. SSG-8). IAEA.
1. International Atomic Energy Agency (2013). *Guidelines for development, validation and routine control of industrial radiation processes* (Radiation Technology Series No. 4). IAEA.
1. International Atomic Energy Agency (2015). *Manual of good practice in food irradiation: Sanitary, phytosanitary and other applications.* Technical Report Series No. 481. IAEA. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/trs481web-98290059.pdf>.
1. Ishizu, T., Tsujino, E., **Winarno, H.**, Ohashi, K., Shibuya, H. (2001). A complex of perseitol and K⁺ ion from *Scurrula fusca* (Loranthaceae). Tetrahedron Letters, 42(39), 6887–6889. [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(01\)01403-4](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(01)01403-4)
1. Ishizu, T., Tsujino, E., **Winarno, H.**, Ohashi, K., Shibuya, H. (2002). Indonesian Medicinal Plants. XXIV. Stereochemical structure of perseitol·K⁺ complex isolated from the leaves of *Scurrula fusca* (Loranthaceae). *Chem. Pharm. Bull.*, 50(4), 489–492. <https://doi.org/10.1248/cpb.50.489>.

1. Izquierdo-Vega, J. A., Arteaga-Badillo, D. A., Sánchez-Gutiérrez, M., Morales-González, J. A., Vargas-Mendoza, N., Gómez-Aldapa, C. A., Castro-Rosas, J., Delgado-Olivares, L., Madrigal-Bujaidar, E., & Madrigal-Santillán, E. (2020). Organic acids from roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.): A brief review of its pharmacological effects. *Biomedicines*, 8(5), 100. <https://doi.org/10.3390/biomedicines8050100>.
1. Junedi, M. I., **Winarno, H.**, M. Hanafi, M., dan Artanti, N. (2020). The isolation and identification of active compounds of *Dendrophthoe praelonga* (Blume) Miq. extract against breast cancer cell (MCF-7). *Jurnal Jamu Indonesia*, 5(3), 85–91. <https://doi.org/10.29244/jji.v5i3.117>.
1. Kartakusumah, P., Kusumaningrum, S., & **Winarno, H.** (2006). Uji sitotoksitas ekstrak buah *Phaleria macrocarpa* terhadap sel kanker lestari A549 dan THP-1. *Jurnal Ilmu kefarmasian Indonesia*, 4(1), 33–37.
1. Katrin, E., Susanto, & **Winarno, H.** (2010). Pengaruh radiopasteurisasi pada simplisia kulit batang mahkota dewa. *Prosiding Seminar Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 269-278.
1. Katrin, E., Selvie, & **Winarno, H.** (2011a). Chromatogram profiles and cytotoxic activity of irradiated *Phaleria macrocarpa* leaves. *Atom Indonesia*, 37(1), 17–23.
1. Katrin, E., Susanto, & **Winarno, H.** (2011b). Toksisitas akut ekstrak etanol temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.) iradiasi yang mempunyai aktivitas antikanker. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 7(1), 41–52.
1. Katrin, E., Tambunan, R. M., dan **Winarno, H.** (2011c). Uji aktivitas inhibisi isolat kuersitrin dari benalu masisin *Dendrophthoe pentandra* (L.) Miq. terhadap sel leukemia L1210. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 9(1), 1–7.
1. Katrin, E., Yulianti, M., & **Winarno, H.** (2011d). Effectiveness of gamma irradiation for decontamination of microbes on tea parasite herb *Scurrula atropurpurea* (Bl.) Dans. *Atom Indonesia*,

37(3) 107–112.

1. Katrin, E., Albert, J. R., Tamat, S. R., Susanto, & **Winarno, H.** (2012a). Sitotoksitas terhadap sel leukemia L1210 dan profil kromatogram dari serbuk temu putih (*Curcuma zedoaria* [Berg.] Rosc.) yang diiradiasi. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 10(1), 57–64.
1. Katrin, E., Novagusda, F. N., Susanto, & **Winarno, H.** (2012b). Karakteristika dan khasiat daun keladi tikus (*Typhonium divaricatum* L. Decne) iradiasi. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 8 (1), 31–42.
1. Katrin, E., Amaliah, R., Aziz, Z., & **Winarno, H.** (2013a). Aktivitas sitotoksik dan profil kromatogram daun sirsak (*Annona muricata* L.) yang diiradiasi. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 11(1), 244–254.
1. Katrin, E., Komarudin, D., Susanto, & **Winarno, H.** (2013b). Pengaruh iradiasi gamma terhadap sitotoksitas daun sirih merah (*Piper crocatum* Ruiz & Pav.) pada sel leukemia L1210. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 9(2), 113–127. <https://doi.org/10.17146/jair.2013.9.2.2736>.
1. Katrin, E., Narulita, E., Aziz, Z., & **Winarno, H.** (2013c). Iradiasi sediaan obat herbal temu putih (*Curcuma zedoaria* [Berg.] Rosc.): Cemaran mikroba, sitotoksitas dan profil kromatogram. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 11(1), 36–44.
1. Katrin, E., Andayani, W., Susanto, & **Winarno, H.** (2014a). Pengaruh iradiasi gamma pada toksisitas akut oral ekstrak etanol jahe merah (*Zingiber officinale*). *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 10(1), 55–70.
1. Katrin, E., Susanto, & **Winarno, H.** (2014b). Keamanan sambiloto (*Andrographis paniculata* Nees) kering yang diiradiasi gamma berdasarkan aspek toksisitas akutnya terhadap mencit galur Swiss webster. *Indones. J. Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 15(2), 103–118. <http://dx.doi.org/10.17146/jstni.2014.15.2.1637>.
1. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (2017). *Farmakope*

herbal Indonesia seri II. (2017). <https://farmalkes.kemkes.go.id/2020/08/farmakope-herbal-indonesia-edisi-ii-tahun-2017-3/>.

1. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (2024). *Profil kesehatan Indonesia, 2023*. <https://kemkes.go.id/id/profil-kesehatan-indonesia-2023>.
1. Knoll, G. F. (2010). *Radiation detection and measurement* (4th ed.). John Wiley & Sons.
1. Kondev, F. G., Wang, M., Huang, W. J., Naimi, S., & Audi, G. (2021). *The NUBASE2020 evaluation of nuclear properties. Chinese Physics C*, 45(3), 030001. doi:10.1088/1674-1137/.
1. Kusumaningtyas, A. N., Harahap, Y., Mun'im, A., & Supandi (2022). Study of gamma ray irradiation effect on red ginger (*Zingiber officinal roscoe*) 70% ethanol extract level markers and its anti-inflammatory activity. *Bioeduscience*, 6(3), 294–303. <https://doi.org/10.22263/jbes/6310688>.
1. Maha, H. L., Fidrianny, I., Satrialdi, & Suciati, T. (2023). An updated review of *Typhonium flagelliforme*: Phytochemical compound, pharmacological activities and the use of vitexin and isovitexin as flavonoid compound in cosmetics development. *Pharmacia*, 70 (3), 673–680.
1. Maslikah, S. I., Lestari, S. R., Siri, S., Yunus, M., El Baroroh, A. R., Miasih, D. S., Rifa'i, M., Warsito, & Djati, M. S. (2025). Phytochemical screening and antioxidant potential of ethanol extract from *Piper crocatum* leaves. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 9(7), 3114–3119. <https://doi.org/10.26538/tjnpr/v9i7.24>.
1. Montalvo-González, E., Villagrán, Z., González-Torres, S., Iñiguez-Muñoz, L. E., Isiordia-Espinoza, M. A., Ruvalcaba-Gómez, J. M., Arteaga-Garibay, R. I., Acosta, J. L., González-Silva, N., & Anaya-Esparza, L. M. (2022). Physiological effects and human health benefits of *Hibiscus sabdariffa*: A review of clinical trials. *Pharmaceuticals*, 15(4), 464. <https://doi.org/10.3390/>

Buku ini tidak diperjualbelikan.

ph15040464.

1. Moorthi, N., Vasantha, K., & Maruthasalam, A. (2018). *In vitro evaluation of cytotoxic properties of Peperomia pellucida L. Bioscience Discovery*, 9(3), 344–355.
1. Natacha, A., Melanie, A., Behanzin, J., & Alphonse, S. (2018). Evaluation of the toxicity of *Annona muricata* leaf extracts on liver and kidney function and investigation of acute and subacute toxicity in Wistar rats. *American Journal of Pharmaceutical Technology Research*, 8(1), 189–217. <https://doi.org/10.46624/ajptr.2018.v8.i1.013>.
1. Nguyen, N. Q., & Nguyen, V. T. (2020). Bioactive compounds from *Piper sarmentosum* (Piperaceae). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 991, 012028. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/991/1/012028>.
1. Nugraha, A. S., Damayanti, Y. D., Wangchuk, P., & Keller, P. A. (2019). Anti-infective and anti-cancer properties of the *Annona* species: Their ethnomedicinal uses, alkaloid diversity, and pharmacological activities. *Molecules*, 24, 4419. doi:10.3390/molecules24234419.
1. Ognyanov, M., Denev, P., Teneva, D., Georgiev, Y., Taneva, S., Totseva, I., Kamenova-Nacheva, M., Nikolova, Y., & Momchilova, S. (2022). Influence of gamma irradiation on different phytochemical constituents of dried rose hip (*Rosa canina L.*) fruits. *Molecules*, 27(6), 1765. <https://doi.org/10.3390/molecules27061765>.
1. Ohashi, K. **Winarno, H.**, Mukai, M., Inoue M., Prana, S. M., P. Simanjuntak, P., & Shibuya, H. (2003a). Indonesian medicinal plants. XXV. Cancer cell invasion inhibitory effects of chemical constituents in the parasitic plant *Scurrula atropurpurea* (Loranthaceae) *Chem. Pharm. Bull.*, 51(3), 343–345. <https://doi.org/10.1248/cpb.51.343>.
1. Ohashi, K. **Winarno, H.**, Mukai, M., & Shibuya, H. (2003b). Preparation and cancer cell invasion inhibitory effects of C₁₆-

alkynic fatty acids. *Chem. Pharm. Bull.*, 51(4), 463–466. <https://doi.org/10.1248/cpb.51.463>.

1. Opuni, K. F. M., Kretchy, J. P., Agyabeng, K., Boadu, J. A., Adanu, T., Ankamah, S., Appiah, A., Amoah, G. B., Mariam Baidoo, M., & Kretchy, I. A. (2023). Contamination of herbal medicinal products in low-and-middle-income countries: A systematic review. *Heliyon*, 9, e19370. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19370>.
1. Purgiyanti, P., Purba, A. V., & **Winarno, H.** (2019). Penentuan kadar fenol total dan uji aktivitas antioksidan kombinasi ekstrak herba pegagan dan buah mahkota dewa. *Parapemikir Jurnal Ilmiah Farmasi*, 8(2):40–45.
1. Putra, A., Riwanto, I., Putra, S. T., & Wijaya, I. (2020). *Typhonium flagelliforme* extract induce apoptosis in breast cancer stem cells by suppressing survivin. *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, 16 (6), 1302–1308. https://doi.org/10.4103/jcrt.JCRT_85_20.
1. Rafi, M., Meitary, N. M., Septaningsih, D. A., & Bintang, M. (2020). Phytochemical profile and antioxidant activity of *Guazuma ulmifolia* leaves extracts using different solvent extraction. *Indonesian Journal of Pharmacy*, 31(3), 171–180. <https://doi.org/10.22146/ijp.59840>.
1. Raghavendra, H. L., & Kekuda, T. R. P. (2018). Ethnobotanical uses, phytochemistry and pharmacological activities of *Peperomia pellucida* (L.) Kunth (Piperaceae) – A review. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 10(2), 1. <https://doi.org/10.22159/ijpps.2018v10i2.23417>.
1. Rahayu A. C. (2021). Industri jamu dan farmasi menggenjot pemanfaatan bahan baku herbal. Kontan.Co.id. 18 Juli 2021. <https://industri.kontan.co.id/news/industri-jamu-dan-farmasi-menggenjot-pemanfaatan-bahan-baku-herbal>.
1. Rani, D. M., Wongso, H., Purwoko, R. Y., Winarto, N. B., Shalas, A. F., Triatmoko, B., Pratama, A. N. W, Keller, P. A., & Nugraha

A. S. (2023). Anti-cancer bioprospecting on medicinal plants from Indonesia: A review. *Phytochemistry*, 216, 113881. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2023.113881>.

1. Rosiak, N., Garbiec, E., Bednarski, W., Skibiński, R., Lewandowska, K., Bazan-Woźniak, A., Pietrzak, R., Cielecka-Piontek, J., & Zalewski, P. (2024). How does radiation affect curcumin raw material? *International Journal of Molecular Sciences*, 25(2524), 1–13. <https://doi.org/10.3390/ijms25052524>.
1. Santos, I. L., Rodrigues, A. M. d. D., Amante, E. R., Silva, L. H. M. d. (2023). Soursop (*Annona muricata*) properties and perspectives for integral valorization. *Foods*, 12(7),1448. doi: [10.3390/foods12071448](https://doi.org/10.3390/foods12071448).
1. Santos, J. M. d, Alfredo, T. M., Antunes, K. A., Cunha, D. M., Costa, R. M., Lima, E. S., & Lima, E. F. (2018). *Guazuma ulmifolia* Lam. decreases oxidative stress in blood cells and prevents doxorubicin-induced cardiotoxicity. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018, Article 2935051. <https://doi.org/10.1155/2018/2935051>
1. Song, H.-Y., Kim, K.-I., Han, J. M., Park, W. Y., Seo, H. S., Lim, S., & Byun, E.-B. (2022). Ionizing radiation technology to improve the physicochemical and biological properties of natural compounds by molecular modification: A review. *Radiation Physics and Chemistry*, 194, 110013. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110013>.
1. Suhail, P., Venkatachalam, V. V., Balasubramanian, T., Murali, R., & Renganathan A. B. L. (2025). Evaluation of anticancer activity of *Annona muricata* leaf targeting FGFR3 and EGFR receptors against bladder and lung cancer. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 15(04), 095–101. <http://doi.org/10.7324/JAPS.2025.224656>.
1. Sumaryono, W., Wibowo, A. E., Ningsih, S., Agustin, K., Sumarny, R., Amri, F., & **Winarno, H.** (2008). Analisis urea-kreatinin tikus putih pasca pemberian ekstrak buah mahkota dewa dan

herba pegagan. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 6(1):35–40.

1. Susanto, S., Winarno, E. K., & **Winarno, H.** (2020). Effect of gamma irradiation on jati belanda (*Guazuma ulmifolia* L.) against human cancer cell lines. *AIP Conference Proceedings*, 2296(1), 020076. <https://doi.org/10.1063/5.0030423>.
1. Susanto, Saepudin, E., **Winarno, H.**, Winarno, E. K., & Lasmawati, D. (2023). Effect of gamma irradiation on phytochemical content and anticancer activities of roselle (*Hibiscus sabdariffa* Linn). *Indonesian Journal of Nuclear Science and Technology*, 24(1), 1–9. <https://doi.org/10.17146/jstni.2023.24.1.6846>.
1. Susanto, Winarno, E. K., & **Winarno, H.** (2021). The effect of gamma irradiation on ethanolic extract of temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.) against human cancer cell lines. *Indonesian Journal of Nuclear Science and Technology*, 22(1), 10–15. <https://doi.org/10.17146/jstni.2021.22.1.6221>
1. Susanto, Winarno, E. K., & **Winarno, H.** (2022). The effect of gamma irradiation on herbal medicine (*Annona muricata*, *Morinda citrifolia*, and *Typhonium flagelliforme*) against MCF7 breast cancer. *AIP Conference Proceedings*, 2391, 050014. <https://doi.org/10.1063/5.0072476>.
1. Susanto, Winarno, E. K., & **Winarno, H.** (2024). Acute toxicity test of ethanol extract of gamma-irradiated *Vitex trifolia* L. leaves. *AIP Conference Proceedings*, 3074, 050001, 1–8. <https://doi.org/10.1063/5.0211321>.
1. Thongphasuk, P. & Thongphasuk, J. (2012). Effects of irradiation on active components of medicinal plants: A review. *Rangsit Journal of Arts Sci.* 2(1), 57-71. <https://doi.org/10.14456/rjas.2012.7>.
1. U.S. Food and Drug Administration. (2026). *Irradiation in the production, processing and handling of food* (21 C.F.R. part 179). U.S. Department of Health and Human Services. [file:///C:/Users/Edy/Downloads/21%20CFR%20Part%20179%20\(up%20to%20date%20as%20of%202023-20-2026\).pdf](file:///C:/Users/Edy/Downloads/21%20CFR%20Part%20179%20(up%20to%20date%20as%20of%202023-20-2026).pdf).
1. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2024 tentang

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2025 – 2045. (2024). <https://indonesia2045.go.id/>.

1. Vahapoglu, B., Kilicoglu, O., Cebi, N., Ayseli, M. T., Umit Kara, U., Sagdig, O., & Capanoglu, E. (2022). *Investigating the effect of gamma-ray interaction on the stability and physicochemical properties of turmeric and ginger using Monte Carlo simulation. Radiation Physics and Chemistry*, 201, 110413. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110413>.
1. **Winarno, H.**, Bagyo A. N. M., Lindu, W., & Winarno, E. K. (2004). Radiation-induced degradation of pirimiphos methyl in aerated solution. *Atom Indonesia*, 30(2), 35–43. <https://doi.org/10.17146/aij.2004.213>.
1. **Winarno, H.** & Harantung, E. K. (2007). Irradiation effects on insecticides as a pollutant model in aqueous solution. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 3(2), 25–40. <http://dx.doi.org/10.17146/jair.2007.3.2.557>.
1. **Winarno, H.** (2009). Antiproliferative Activity of octadeca-8,10,12-trienoic acid against human cancer cell lines. *Berita Biologi*, 9(4), 343–348. <https://doi.org/10.14203/beritabiologi.v9i4.2003>.
1. **Winarno, H.**, & Katrin, E. W. (2009). Benzophenone glucoside isolated from the bark of *Phaleria macrocarpa* and its inhibitory activity on leukemia L1210. *Indonesian Journal of Chemistry*, 9(1), 142–145. <https://doi.org/10.22146/ijc.21576>.
1. Winarno, E. K., Mazda, M., Rahmawati, H., & **Winarno, H.** (2010a). Pengaruh iradiasi gamma pada aktivitas sitotoksik daging buah mahkota dewa (Phaleria macrocarpa (Scheff) Boerl.). *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 11(2), 67–76. <http://dx.doi.org/10.17146/jstni.2010.11.2.398>.
1. **Winarno, H.**, Wisnurahadi, Tamat, S. R., & Winarno, E. K. (2010b). Dosis iradiasi optimum pada pengawetan simplisia kulit batang mahkota dewa sebagai antikanker. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 6(1), 1–15.

1. **Winarno, H.** (2011). Safety evaluation of the ethyl acetate extract on irradiated tea parasite: Acute toxicity study on mice. *Indonesian Journal of Nuclear Science and Technology*, 12(2), 85–94. <http://dx.doi.org/10.17146/jstni.2011.12.2.5>.
1. Winarno, E. K., **Winarno, H.**, & Susanto. (2019). Antiproliferative activity of extracts and fractions from irradiated *Curcuma xanthorrhiza* rhizomes against mouse leukemia and human cancer cell lines. *Atom Indonesia*, 45(3), 159–164. <https://doi.org/10.17146/aij.2019.957>.
1. Winarno, E. K., Susanto, & **Winarno, H.** (2020a). Antiproliferative activity against cancer cell lines of gamma-irradiated “legundi” (*Vitex trifolia* L.) leaves and its chromatogram profiles. *AIP Conference Proceedings*, 2296, 020068, 1–7. <https://doi.org/10.1063/5.0030628>.
1. Winarno, E. K., Susanto, & **Winarno, H.** (2020b). Gamma irradiation for preservation of suruhan herbs (*Peperomia pellucida* L. Kunth) and its bioactivity against L1210 leukemia cells. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 5(3), 236–244. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v5i3.46133>.
1. **Winarno, H.**, Susanto, S., & Winarno, E. K. (2022). Oral acute toxicity study on ethanolic extract of un-irradiated- and irradiated *Guazuma ulmifolia* leaves in DDY mice. In *AIP Conference Proceedings*, 2391 (1), Article 050006. <https://doi.org/10.1063/5.0075306>.
1. **Winarno, H.**, Susanto, S., & Winarno, E. K. (2023). Gamma irradiation effect on physicochemical properties of *Guazuma ulmifolia* leaves and their antiproliferative activities against human cancer cell lines. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 16(3), 100576. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2023.100576>.
1. **Winarno, H.**, Zamzam, M. Y., Winarno, E. K., Susanto, & Simanjuntak, P. (2025). Antiproliferative activity of neoandrographolide isolated from *Andrographis paniculata*

leaves against human cancer cell lines: cervix HeLa, THP-1 leukemia, HUT-78 lymphoma, and A549 lung carcinoma. (*Unpublished*).

1. **Winarno, H.**, Susanto, S., Winarno, E. K. Kadir, I., Benita, A. M., Widyastuti, H., Pratama, I. M., Lasmawati D., Hanafi, M., Artanti, N., & Puspitasari, R. (2026a). Evaluation of physicochemical properties, antioxidant capacity, and antiproliferative activity against human cancer cell lines of ethanolic extract of irradiated *Sonchus arvensis*. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9(1) 102152. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2025.102152>.
1. **Winarno, H.**, Susanto, S., Winarno, E. K., Kadir, I., Hanafi, M., Artanti, N., Kristiani, E. B. E. (2026b). Dose-dependent effects of gamma irradiation on phytochemical composition, antioxidant activity, and cytotoxic potential of *Hibiscus sabdariffa* calyx extract: An integrated study. (*under review*).
1. World Health Organization (1999). *High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy* (WHO Technical Report Series No. 890). Joint FAO/IAEA/WHO Study Group.
1. World Health Organization (2007). *WHO guidelines for assessing quality of herbal medicines with reference to contaminants and residues*. WHO.
1. World Health Organization (2018). *WHO guidelines on good herbal processing practices for herbal medicines* (WHO Technical Report Series No. 1010). WHO. <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/medicines/norms-and-standards/guidelines/>.
1. World Health Organization (2023). *Ionizing radiation and health effects*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-and-health-effects>. Diakses tanggal 20 Februari 2026.
1. World Health Organization (2024). *Global Cancer Observatory (GLOBOCAN) Indonesia 2022*, International Agency for

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Research on Cancer - WHO. <https://gco.iarc.who.int/media/globocan/factsheets/populations/360-indonesia-fact-sheet.pdf>.

1. Yao, J. L., Fang, S. M., Liu, R., Oppong, M. B., Liu, E.-W., Fan, G.-W., & Zhang, H. (2016). A review on the terpenes from genus *Vitex*. *Molecules*, 21(9), 1179. <https://doi.org/10.3390/molecules21091179>.
1. Yunarto, N., Ar Rosyid, H. M., & Lienggonegoro, L. A. (2018). Effect of ethanolic leaves extract of *Peperomia pellucida* (L.) Kunth as antimalarial and antioxidant. *Media Penelitian dan Pengembangan Kesehatan*, 28(2), 123–130. <https://doi.org/10.22435/mpk.v28i2.132>.

1.

DAFTAR CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET, DAN INOVASI

Karya Tulis Ilmiah

1.	Buku Nasional	1	buah
2.	Bagian dari Buku Internasional	2	buah
3.	Jurnal Internasional	30	buah
4.	Jurnal Nasional	42	buah
5.	Prosiding Internasional	7	buah
6.	Prosiding Nasional	15	buah

Kekayaan Intelektual

7.	Paten Nasional Tersertifikasi	4	buah
----	----------------------------------	---	------

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Buku Nasional

1. Alatas, Z., Hidayati, S., Akhadi, M., Purba, M., Purwadi, M. D., Aryanto, S., **Winarno, H.**, Rismiyanto, Sofyaningrum, E., Hendriyanto H., Widyastono, H., & Syahril. (2016). Buku Pintar Nuklir. BATAN Press. <https://pustaka.kemendikdasmen.go.id/libdikbud/>.

Bagian dari Buku Internasional

2. **Winarno, H.**, Mulyana, N., Suhartini, M., Darwis, D., Puspitasari, T., Katrin, E., & Iskandar, S. (2016). Radiation technology application to develop industrial process in Indonesia: in “*Radiation Technology for Cleaner Products and Processes*”. Penerbit IAEA-Vienna. ISBN 978-92-0-101016-2. pp.79 – 91. <http://www.iaea.org/books>.
3. Bagyo, A. N. M., Lindu W. A., Sadjirun, S., Winarno, E. K., Widayat, E., Aryanti, & **Winarno, H.** (2001). Radiation-induced degradation of organic pollutants in wastewater: in “*Use of irradiation for chemical and microbial decontamination of water, wastewater and sludge*”, Penerbit IAEA-Vienna, ISSN 1011-4289. pp. 133 – 146. <https://inis.iaea.org/records/ymst8-vkx18>.

Jurnal International

4. **Winarno, H.**, Susanto, S., Winarno, E. K. Kadir, I., Benita, A. M., Widyastuti, H., Pratama, I. M., Lasmawati D., Hanafi, M., Artanti, N., & Puspitasari, R. (2026). Evaluation of physicochemical properties, antioxidant capacity, and antiproliferative activity

against human cancer cell lines of ethanolic extract of irradiated *Sonchus arvensis*. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9(1) 102152. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2025.102152>.

5. Handayanti, I., Darwis, D., Desmiaty, Y., Nurlidar, F., Heryani, R., Lestari, A., Perkasa, D. P., Sanjaya, M. F., Susanto, S., **Winarno, H.** (2026). Physico-chemical and mechanical properties of modified bacterial cellulose using nanochitosan, polyvinyl alcohol, polyethylene glycol, and treated by gamma irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 249, 114065. Available online 17 June 2026. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2026.114065>.
6. Nurfiana, F., Rochmadi, R., Cahyono, R. B., **Winarno, H.**, Kristanto, J., Putra, S., M. Yusmaman, M., Fitria, D., & Agustiningih, D. (2025). Radiolytic degradation of reactive orange-16: Degradation pathways and kinetics, *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, 25(2), 225 – 240. <https://doi.org/10.22146/ajche.14820>.
7. Wirabrata, I.G.M., Kartamihardja, A.H.S., Syamsudin., Anggraeni, Y., & **Winarno, H.** (2024). Case Report: Diagnosis of extrapulmonary manifestation of tuberculosis in knee bones/ joints by using radiopharmaceutical ^{99m}Tc - ethambutol and side effects monitoring. *Bali Med. J.*, 13(3), 1440–1446. doi: 10.15562/bmj.v13i3.5485
8. Nurfiana, F., Rochmadi, R., Cahyono, R. B., **Winarno, H.**, Putra, S., & M. Yusmaman, M. (2024). Degradation kinetics of textile azo dye reactive orange-16 by gamma irradiation, *J. Teknologi*. 86(6), 131–139. <https://doi.org/10.11113/jurnalteknologi.v86.21973>.
9. Hadi, S., Winarno, E. K., **Winarno, H.**, Susanto, S., Thian, D. A. S., Fansang, M. D., Berawi, K. N., & Suhartati, T. (2024).

“Synthesis, characterization and antiproliferative activity test of some diphenyltin(IV) hydroxybenzoates against A549, MCF-7 and HeLa human cancer cell lines”, *J. Inorg. Organomet. Polym. Mater.*, Published online: 16 April 2024. <https://doi.org/10.1007/s10904-024-03042-2>.

10. Hadi, S., Winarno, E. K., **Winarno, H.**, Berawi, K. N., Suhartati, T., Yandri, Y., & Simanjuntak, W. (2024). Synthesis, characterization and in vitro activity study of some organotin(IV) carboxylates against leukemia cancer cell L-1210. *Phys. Sci. Rev.*, 9(6), 2187–2194. DOI:[10.1515/psr-2022-0303](https://doi.org/10.1515/psr-2022-0303).
11. Djuria, A. F., Hanafi, M., & **Winarno, H.** (2024). Alpha-Glucosidase inhibitor activity test of fractions and isolate from leaves of *Tristaniaopsis obovate*. *Int. J. Agric. Biol.*, 31(02), 123 – 128. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.2123>.
12. Hadi, S., Winarno, E. K., **Winarno, H.**, Berawi, K. N., Suhartati, T., Noviany, N., Simanjuntak, W., & Yandri, Y. (2023). Synthesis and in vitro activity investigation of some dibutyl-, diphenyl- and triphenyltin(IV) carboxylates against leukemia cancer cell L-1210. *Pure Appl. Chem.*, 95(7), 823–832. <https://doi.org/10.1515/pac-2023-0107>.
13. **Winarno, H.**, Susanto, S., & Winarno, E. K. (2023). Gamma irradiation effect on physicochemical properties of *Guazuma ulmifolia* leaves and their antiproliferative activities against human cancer cell lines. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 16(3) 100576. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2023.100576>.
14. Hadiati, S. W., **Winarno, H.**, & Pramono, S. (2021). Gamma irradiation as suitable preservation method on herbal medicine: A review. *Food Research*, 5(5), 33–42. <https://doi.org/10.26656/>

fr.2017.5(5).494.

15. Abdillah, S., Hikariastri, P., Purukan, J. I. A., Werawati, A., Mumpuni, E., Laksmiawati, D. R., **Winarno, H.**, & Kusmardi. (2021). The anti-atherosclerosis activity of fucoidan crude extract from *Sargassum crassifolium*. *J. Cardiovasc. Dis. Res.*, 12(03), 147–153. <https://doi.org/10.31838/jcdr.2021.12.03.20>.
16. Winarno, E. K. **Winarno, H.**, & Susanto, S. (2019). Antiproliferative activity of extracts and fractions from irradiated *Curcuma xanthorrhiza* rhizomes against mouse leukemia and human cancer cell lines. *Atom Indonesia*, 45(3), 159–164. <https://doi.org/10.17146/aij.2019.957>.
17. Poedjomartono, B., Sardjono, Y., Meiyanto, E., & **Winarno, H.** (2019). The Role of BNCT in Breast Cancer Treatment. *Atom Indonesia*, 45(3), 139–146. <https://doi.org/10.17146/aij.2019.936>.
18. Winarno, E. K., **Winarno, H.**, Susanto, Fadjarwati, T., Thomas, T. (2019). Assessment of human milk intake by breastfed infants using deuterium oxide dose-to-mother technique in “Tumbuh Kembang Anak” Cohort, Indonesia. *Atom Indonesia*, 45(1), 51–58. <https://doi.org/10.17146/aij.2019.844>.
19. Darwis, D., Khusniya T., Hardiningsih, L., Nurlidar F., dan **Winarno, H.** (2012). In-vitro degradation behaviour of irradiated bacterial cellulose membrane. *Atom Indonesia*, 38(2), 78–82. <https://doi.org/10.17146/aij.2012.164>.
20. Katrin, E., Selvie, & **Winarno, H.** (2011). Chromatogram profiles and cytotoxic activity of irradiated *mahkota dewa* (*Phaleria macrocarpa* (Scheff.) Boerl) leaves. *Atom Indonesia*, 37(1), 17–23.
21. Katrin, E., Yulianti, M., & **Winarno, H.** (2011). Effectiveness of gamma irradiation for decontamination of microbes on tea parasite herb *Scurrula atropurpurea* (Bl.) Dans. *Atom Indonesia*,

37(3), 107–112.

22. **Winarno, H.**, & Katrin, E. (2009). Benzophenone glucoside isolated from the bark of *Phaleria macrocarpa* and its inhibitory activity on leukemia L1210. *Indonesian Journal of Chemistry*, 9(1), 142–145. <https://doi.org/10.22146/ijc.21576>.
23. Syamsudin, Inawati, & **Winarno, H.** (2008). The effects of Inai (*Lawsonia inermis*) leave extract on blood sugar level: An experimental study. *Res. J. Pharmacol.*, 2(2), 20–23.
24. **Winarno, H.** (2007). Rapid isomerization of alkynol by potassium aminopropylamide reagent. *Indonesian Journal of Chemistry*, 7(3), 320–323. <https://doi.org/10.22146/ijc.21676>.
25. **Winarno, H.**, Bagyo A. N. M., Lindu, W., and Winarno, E. K. (2004). Radiation-induced degradation of pirimiphos methyl in aerated solution. *Atom Indonesia*, 30(2), 35–43. <https://doi.org/10.17146/aij.2004.213>.
26. Bagyo A. N. M., Lindu, W., **Winarno, H.**, Winarno, E. K. and Soebianto, Y. S. (2004). Radiolysis of reactive azo dyes in aqueous solution. *Atom Indonesia*, 30(2), 45–51. <https://doi.org/10.17146/aij.2004.214>.
27. Ohashi, K. **Winarno, H.**, Mukai, M., & Shibuya, H. (2003). Preparation and cancer cell invasion inhibitory effects of C₁₆-alkynic fatty acids. *Chem. Pharm. Bull.*, 51(4), 463–466. <https://doi.org/10.1248/cpb.51.463>
28. Ohashi, K. **Winarno, H.**, Mukai, M., Inoue M., Prana, S. M., P. Simanjuntak, P., & Shibuya, H., Indonesian medicinal plants. XXV. Cancer cell invasion inhibitory effects of chemical constituents in the parasitic plant *Scurrula atropurpurea* (Loranthaceae) *Chem. Pharm. Bull.*, 51(3), 343–345. <https://doi.org/10.1248/cpb.51.343>.
29. Shibuya, H., Kitamura, C., Machara, S., Nagahata M., **Winarno, H.**, Simanjuntak, P., Kim, H. S., Wataya Y., & Ohashi, K. (2003).

Transformation of *Cinchona* alkaloids into 1-*N*-oxide derivatives by endophytic *Xylaria* sp. Isolated from *Cinchona pubescens*. *Chem. Pharm. Bull.*, 51(1), 71–74. <https://doi.org/10.1248/cpb.51.71>

30. Ishizu, T., Tsujino, E., **Winarno, H.**, Ohashi, K., & Shibuya, H. (2002). Indonesian Medicinal Plants. XXIV. Stereochemical structure of perseitol·K⁺ complex isolated from the leaves of *Scurrula fusca* (Loranthaceae). *Chem. Pharm. Bull.*, 50(4), 489–492. <https://doi.org/10.1248/cpb.50.489>.
31. Ishizu, T., Tsujino, E., **Winarno, H.**, Ohashi, K., & Shibuya, H. (2001). A complex of perseitol and K⁺ ion from *Scurrula fusca* (Loranthaceae). *Tetrahedron Letters*, 42(39), 6887–6889. [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(01\)01403-4](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(01)01403-4)
32. Liu, W. C., Oikawa, M. , Fukase, K. , Suda, Y., **Winarno, H.**, Mori, S., Hashimoto, M., & Kusumoto, S. (1997). Enzymatic preparation of (*S*)-3-hydroxytetradecanoic acid and synthesis of unnatural analogues of lipid A containing the (*S*)-acid. *Bull. Chem. Soc. Japan*, 70(6), 1441–1450. <https://doi.org/10.1246/bcsj.70.1441>.
33. Fukase, K., **Winarno, H.**, & Kusumoto, S. (1993). Activation of trichloroacetimidates using montmorillonite as a heterogeneous acid catalyst - Convenient glycosidation and benzylation reactions. *ChemInform*, 24(41). <https://doi.org/10.1002/chin.199341263>.
34. Jurnal Nasional [dalam Bahasa Inggris]
35. Nuraini N., Anwar, E., Laksmitawati, D. R., Winarno, H., Rasydy, L. O. A., & Savira, F. H. (2025). Antioxidant activity from glucomannan degradation product using β- mannanase enzyme with DPPH method. *Journal of Fundamental and Applied Pharmaceutical Science*, 6(1), 107–117. <https://doi.org/10.1248/cpb.51.71>

[org/10.18196/jfaps.v6i1.23778](https://doi.org/10.18196/jfaps.v6i1.23778).

36. Fauziah, S., Rahmat, D., Winarno, H., Angelina, M. (2026). Biopolymer Chitosan: A Review of Modification, Characteristics and Biomedical Activity. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*. 11(2), 131-145. DOI: 10.24845/ijfac.v11.i2.131.
37. Nuraini N., Anwar, E., Laksmiawati, D. R., **Winarno, H.**, & Rahmawati, S. I. (2025). Anti-inflammatory activity of glucomannan resulting from β -mannanase enzyme hydrolysis in RAW 264.7 cells. *Journal of Natural Product for Degenerative Diseases*, 2(2), 63-70. <https://doi.org/10.58511/jnpdd.v2i2.7797>.
38. Wirabrata, I. G. M., Kartamihardja, A. H. S., Abdillah, S., Anggriani, Y., & **Winarno, H.** (2024), Clinical evaluation of the radiopharmaceutical ^{99m}Tc -ethambutol to diagnose pulmonary and extra-pulmonary tuberculosis – Case series. *Int. J. Administrative Clinical Pharmacy*, 1(1), 10–22.
39. Susanto, Saepudin, E., **Winarno, H.**, Winarno, E. K., & Lasmawati, D. (2023). Effect of gamma irradiation on phytochemical content and anticancer activities of roselle (*Hibiscus sabdariffa* Linn). *Indones. J. Nuclear Sci. Technol.*, 24(1), 1–9. <https://doi.org/10.17146/jstni.2023.24.1.6846>.
40. Susanto, Winarno, E. K., and **Winarno, H.** (2021). The effect of gamma irradiation on ethanolic extract of *temulawak* (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.) against human cancer cell lines. *Indonesian Journal of Nuclear Science and Technology*, 22(1), 10–15. <https://doi.org/10.17146/jstni.2021.22.1.6221>.
41. Susanto, Winarno, E. K., and **Winarno, H.** (2020). Cytotoxic activity against L1210 leukemia cells from the ethyl acetate fraction of *kenikir* leaves (*Cosmos caudatus*) preserved by gamma irradiation. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 5(3),

311–31. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v5i3.46544>.

42. Winarno, E. K., Susanto, **Winarno, H.** (2020). Gamma irradiation for preservation of *suruhan* herbs (*Peperomia pellucida* L. Kunth.) and its bioactivity against L1210 leukemia cells. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 5(3), 236–244. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v5i3.46133>.
43. Junedi, M. I., **Winarno, H.**, M. Hanafi, M., dan Artanti, N. (2020). The isolation and identification of active compound of *Dendrophthoe praelonga* (Blume) Miq. extract against breast cancer cell (MCF-7). *Jurnal Jamu Indonesia*, 5(3), 85–91. <https://doi.org/10.29244/jji.v5i3.117>.
44. **Winarno, H.** (2011). Safety evaluation of the ethyl acetate extract on irradiated tea parasite: Acute toxicity study on mice. *Indones. J. Nuclear Sci. Technol.*, 12(2), 85–94. <http://dx.doi.org/10.17146/jstni.2011.12.2.5>.
45. **Winarno, H.** (2009). Antiproliferative Activity of octadeca-8,10,12-trienoic acid against human cancer cell lines. *Berita Biologi*, 9(4), 343–348. <https://doi.org/10.14203/beritabiologi.v9i4.2003>.
46. **Winarno, H.** & Harantung, E. K. (2007). Irradiation effects on insecticides as a pollutant model in aqueous solution. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 3(2), 25–40. <http://dx.doi.org/10.17146/jair.2007.3.2.557>.
- 47.
48. Jurnal Nasional [dalam Bahasa Indonesia]
49. Nuraini, N., Anwar, E., Laksmitawati, D.R., dan **Winarno, H.** (2024). Uji sitotoksitas microtetrazolium (MTT) hasil degradasi glukomannan secara enzimatis β -mannanase dan irradiasi gamma pada sel raw 264.7. *Jurnal Farmagazine*, 12(2),

22–26. <http://dx.doi.org/10.47653/farm.v11i2.767>.

50. Harantung, E. K., Susanto, dan **Winarno, H.** (2021). Toksisitas akut ekstrak etanol dari simplisia daun sirsak (*Annona muricata* L.) yang diawetkan dengan iradiasi gamma. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 17(1), 41–52. <https://doi.org/10.17146/jair.2021.17.1.6091>.
51. Purgiyanti, P., Purba, A. V., dan **Winarno, H.** (2019). Penentuan kadar fenol total dan uji aktivitas antioksidan kombinasi ekstrak herba pegagan (*Centella asiatica* L. Urban) dan buah mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa* (Scheff.) Boerl.). *Parapemikir Jurnal Ilmiah Farmasi*, 8(2), 40–45. <http://dx.doi.org/10.30591/pjif.v8i2.1395>.
52. Hikariastri, P., **Winarno, H.**, Kusmardi K., Laksmiawati D. R., dan Abdillah, S. (2019). Aktivitas antiinflamasi *crude extract* fukoidan dari *Sargassum crassifolium* pada sel RAW 264.7 yang diinduksi LPS. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 9(2), 97–105. <https://doi.org/10.22435/jki.v9i2.1547>.
53. Winarno, E. K., Reswari, I. R., Susanto, dan **Winarno, H.** (2018). Pengaruh iradiasi gamma terhadap *Solanum Nigrum* L. dan efektivitasnya sebagai anti kanker. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 19(1), 21–28. <http://dx.doi.org/10.17146/jstni.2018.19.1.3693>.
54. Winarno, E. K., Jacobs, S., dan **Winarno, H.** (2017). Khasiat dan profil kromatogram fraksi aktif dari ekstrak kulit buah manggis (*Garcinia mangostana* L.) yang diiradiasi. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 15(2) 160–166.
55. Fitrah, M., **Winarno, H.**, Simanjuntak, P. (2017). Isolasi dan identifikasi senyawa kimia zat anti kanker dari daun kopasanda (*Chromolaena odorata* L.). *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*,

15(1) 77–81.

56. Yulyana, A., **Winarno, H.**, Kosasih K. (2016). Karakterisasi ekstrak daun cantigi (*Vaccinium varingiaefolium* Miq.) *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 1(5), 276–283. <https://doi.org/10.25026/jsk.v1i5.50>
57. Winarno, E. K., Fauziah, S., Susanto, dan **Winarno, H.** (2015). Kemampuan sitotoksik dan profil kromatogram umbi sarang semut (*Myrmecodia Pendans* Merr. & Perry) setelah diiradiasi gamma. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 11(2), 137–152. <http://dx.doi.org/10.17146/jair.2015.11.2.2800>.
58. Katrin, E., Susanto, dan **Winarno, H.** (2014). Keamanan sambiloto (*Andrographis paniculata* Nees) kering yang diiradiasi gamma berdasarkan aspek toksisitas akutnya terhadap mencit galur Swiss webster. *Indones. J. Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 15(2), 103–118. <http://dx.doi.org/10.17146/jstni.2014.15.2.1637>.
59. Winarno, E. K., Andayani, W., Susanto, S., **Winarno, H.** (2014). Pengaruh iradiasi gamma pada toksisitas akut oral ekstrak etanol jahe merah (*Zingiber officinale*). *J. Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 10(1), 55–70. <http://dx.doi.org/10.17146/jair.2014.10.1.2733>.
60. Katrin, E., Komarudin, D., Susanto, **Winarno, H.** (2013). Pengaruh iradiasi gamma terhadap sitotoksitas daun sirih merah (*Piper crocatum* Ruiz & Pav.) pada sel leukemia L1210. *J. Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 9(2), 113–127. <http://dx.doi.org/10.17146/jair.2013.9.2.2736>.
61. Katrin, E., Amaliah, R., Aziz, Z., dan **Winarno, H.** (2013). Aktivitas sitotoksik dan profil kromatogram daun sirsak (*Annona muricata* L.) yang diiradiasi. *J. Ilmu Kefarmasian Indonesia*,

11(1), 244–254.

62. Katrin, E., Narulita, E., Aziz, Z., dan **Winarno, H.** (2013). Iradiasi sediaan obat herbal temu putih *Curcuma zedoaria* (Berg) Rosc.: Cemaran mikroba, sitotoksitas dan profil kromatogram. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 11(1), 36–44.
63. Erizal, **Winarno, H.**, Abbas, B. (2012). Aplikasi hidrogel poli-(akrilamida) hasil iradiasi gamma untuk adsorpsi zat warna biru metilen dalam larutan *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 8(1) 53–62. <http://dx.doi.org/10.17146/jair.2012.8.1.498>.
64. Katrin, E., Albert, J. R., Tamat, S. R., Susanto, dan **Winarno, H.** (2012). Sitotoksitas terhadap sel leukemia L1210 dan profil kromatogram dari serbuk temu putih *Curcuma zedoaria* Berg. Rosc. yang diradiasi. *J. Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 10(1), 57–54.
65. Katrin, E., Novagusda, F. N., Susanto, dan **Winarno, H.** (2012). Karakteristika dan khasiat daun keladi tikus (*Typhonium divaricatum* L. Decne) iradiasi. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 8(1), 31–42.
66. Katrin, E., Susanto, **Winarno, H.** (2011). Toksisitas akut ekstrak etanol temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.) iradiasi yang mempunyai aktivitas antikanker. *J. Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 7(1), 41–52. <http://dx.doi.org/10.17146/jair.2011.7.1.494>.
67. Harantung, E. K., Mardikawati, R., dan **Winarno, H.** (2011). Aktivitas sitotoksik beberapa ekstrak dan fraksi dalam jamur lingzhi (*Ganoderma lucidum*) terhadap sel leukemia L1210. *J. Bahan Alam Indonesia*, 7(6), 311–315.
68. Harantung, E. K., Tambunan, R. M., dan **Winarno, H.** (2011). Uji aktivitas inhibisi isolat kuersitrin dari benalu masisin *Dendrophthoe pentandra* (L.) Miq. terhadap sel leukemia L1210.

Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia, 9(1), 1–7.

69. Winarno, E. K., Mazda, M., Rahmawati, H., **Winarno, H.** (2010). Pengaruh iradiasi gamma pada aktivitas sitotoksik daging buah mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa* (Scheff) Boerl.). *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 11(2), 67–76. <http://dx.doi.org/10.17146/jstni.2010.11.2.398>.
70. **Winarno, H.**, Wisnurahadi, Tamat S. R., dan Winarno, E. K. (2010). Dosis iradiasi optimum pada pengawetan simplisia kulit batang mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa* (Scheff. Boerl.) sebagai antikanker. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 6(1), 1-15.
71. Sumaryono, W., Wibowo, A. E., Ningsih, S., Agustin, K., Sumarny, R., Amri, F., & **Winarno, H.** (2008). Analisis urea-kreatinin tikus putih pasca pemberian ekstrak buah mahkota dewa dan herba pegagan. *J. Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 6(1), 35–40.
72. Pertamawati, Kusumaningrum, S., dan **Winarno, H.** (2006). Uji sitotoksik ekstrak buah *Phaleria macrocarpa* terhadap sel kanker lestari A549 dan THP-1. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 4(1), 33–37.
73. **Winarno, H.**, Katrin, E., Bagyo, A. S., Winarti, A., Liany, & Jenny (2000). Pengaruh iradiasi gamma pada penguraian insektisida sipermetrin dalam larutan air. *Jurnal Nusantara Kimia*, 7 (2.2), 22–27.
74. Bagyo, A. N. M., Winarti, A., Winarno, E. K., & **Winarno, H.** (1998). Radiolisis larutan standar zat warna basa maxilon golden yellow. *Jurnal Nusantara Kimia*, 98 (1), 11–16.
75. **Winarno, H.** (1995). Sintesis β -ketoester menggunakan asam Meldrum. *Jurnal Nusantara Kimia*, 95 (1.3), 103–111.
76. Winarti, A., & **Winarno, H.** (1994). Penguraian insektisida basudin, baycarb, dan etrofolan dalam air dengan iradiasi gamma.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Akta Kimia, 5(1), 19 – 27.

77. **Winarno, H.**, Suda, Y., Fukase, K., & Kusumoto, S. (1994). Studi sintesis analog lipid A. II. Sintesis 3-*O*-[(*R*)-3-benziloksialkanoil]-6-*O*-benziloksikarbonil-2-deoksi-4-*O*-difenil fosfat-2-(2,2,2-trikloroetoksikarbonilamino)-D-glukopiranosil trikloroasetimidat. *Akta Kimia*, 5(1), 1 – 9.
78. **Winarno, H.** (1994). Sistesis asam (*R*)-3-hidroksi alkanoat menggunakan katalisator lipase. *Jurnal Nusantara Kimia*, 94 (II.1-A), 25–38.

Prosiding International

79. Hadi, S., **Winarno, H.**, Winarno, E. K., Susanto, Angely, M. N., Mareta, A., Berawi, K. N. & Suhartati, T. (2025). Synthesis, characterization, and antiproliferation activity test of dibutyltin(IV) di-2-hydroxybenzoate and dibutyltin(IV) di-3-hydroxybenzoate against cervical cancer line Hela. *Proc. First International Conf. on Medical Science and Health 2023*, 1, 228–233. DOI: 10.5220/0013668400003873.
80. Susanto, Winarno, E. K., & **Winarno, H.** (2024). Acute toxicity test of ethanol extract of gamma irradiated *Vitex trifolia* L. leaves. *AIP Conference Proceedings*, 3074, 050001. <https://doi.org/10.1063/5.0211321>.
81. Winarno, E. K., Susanto, & **Winarno, H.** (2024). Acute toxicity test in DDY mice of ethanolic extract of irradiated *Clinacanthus nutans* Lindau leaves. *AIP Conference Proceedings*, 3074, 050002. <https://doi.org/10.1063/5.0211300>.
82. Susanto, Winarno, E. K., & **Winarno, H.** (2022). The effect of gamma irradiation on herbal medicine (*Annona muricata*, *Morinda citrifolia*, and *Typhonium flagelliforme*) against MCF-7 breast cancer. *AIP Conference Proceedings*, 2391, 050014.

<https://doi.org/10.1063/5.0072476>.

83. **Winarno, H.**, Susanto, & Winarno, E. K. (2022). Oral acute toxicity study on ethanolic extract of un-irradiated- and irradiated *Guazuma ulmifolia* leaves in DDY mice. *AIP Conference Proceedings*, 2391, 050006. <https://doi.org/10.1063/5.0072476>.
84. Susanto, Winarno, E. K., & **Winarno, H.** (2020). Effect of gamma irradiation on *Jati belanda* (*Guazuma ulmifolia* L.) against human cancer cell lines. *AIP Conference Proceedings* 2296, 020076. <https://doi.org/10.1063/5.0030371>.
85. Winarno, E. K., Susanto, and **Winarno, H.** (2020). Antiproliferative activity against cancer cell lines of gamma irradiated *legundi* (*Vitex trifolia* L.) leaves and its chromatogram profiles. *AIP Conference Proceedings*, 2296, 020068. <https://doi.org/10.1063/5.0030628>.

Prosiding Nasional

86. Katrin, E., Susanto, dan **Winarno, H.** (2010). Pengaruh radiopasteurisasi pada simplisia kulit batang mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa* Scheff Boerl). *Prosiding Seminar Ilmiah Hasil Penelitian Aplikasi Isotop dan Radiasi*, Jakarta, (269–275). BATAN.
87. **Winarno, H.**, Katrin, E., dan Oekar, N. K. (2008). Radiolabeling dan uji aktivitas sitotoksik senyawa *octadeca-8-10-12-triynoic acid*. *Prosiding Seminar Ilmiah Hasil Penelitian Aplikasi Isotop dan Radiasi*, Jakarta, (195–200). BATAN.
88. **Winarno, H.**, Darwis, D., dan Abas, B. (2006). Aplikasi radiasi dalam bidang industri. *Prosiding Seminar Teknoekonomi Iptek Nuklir*, Serpong (213–228). BATAN.
89. **Winarno, H.**, Ohashi, K., Mukai, M., Simanjuntak, P., & Shibuya, H. (2004). Uji bioaktivitas terhadap invasi sel kanker dari beberapa senyawa flavanoid, flavonoid, santin, terpen, dan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

lignan yang diisolasi dari benalu teh (*Scurrula atropurpurea*) (Loranthaceae). *Prosiding Seminar Kelompok Kerja Nasional Tumbuhan Obat Indonesia*, IPB, Bogor, 19–20 Sept. 2003.

90. **Winarno, H.**, Bagyo, A. M. N, Katrin, E. W., & Manurung, S. (2000). Pemanfaatan Teknik Nuklir untuk Pengelolaan Limbah Industri. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Teknologi Pengelolaan Limbah III*, Jakarta, 15–16 Februari 2000. (54–61). BATAN.
91. Winarno, E. K., Bagyo, A. M. N, Andayani, W., & **Winarno, H.**, (1999). Penguraian senyawa fenol dalam air menggunakan iradiasi gamma. *Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi*, Jakarta, 23-24 Februari 1999. (139–144). BATAN.
92. Andayani, W., Katrin, E. W., Agustin, S. M., **Winarno, H.**, & Endrawanto, W. (1999). Penguraian asam humus dalam air dengan iradiasi gamma. *Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi*, Jakarta, 23-24 Februari 1999. (133–137). BATAN.
93. Aryanti, **Winarno, H.**, Sumatra, M., Simanjuntak, P., Isolasi senyawa bioaktif anti leukemia L1210 dari kulit kayu simalur *Aglaia argentea* (Meliaceae): Identifikasi senyawa aglain B dalam fraksi etil asetat. *Prosiding Pertemuan Seminar Nasional Himpunan Kimia Indonesia*, Gedung DRN Serpong, Tangerang, 8 September 1999 (219–266). HKI–ILUNI UI.
94. Winarno, E. K., Anriani, L., Lindu, W. A., Bagyo, A. S., & **Winarno, H.**, (1999). Pengaruh iradiasi gamma pada penguraian larutan zat warna direct orange 34 dalam air. *Prosiding Pertemuan Teknologi Pengelolaan Limbah II*, Jakarta, 16–17 Februari 1999. (80–87). BATAN.
95. Bagyo, A. N. M., Lindu, W. A., **Winarno, H.**, Winarno, E. K., & Widyat, E. (1999). Penguraian limbah tekstil dengan iradiasi gamma. *Prosiding Pertemuan Teknologi Pengelolaan Limbah II*,

Jakarta, 16–17 Februari 1999. (88–92). BATAN.

96. **Winarno, H.** (1995). Studi sintesis analog lipid A: 1. Preparasi allil 3-O-(R-3-benziloksialkaloil-2-deoksi-2-(2,2,2-trikloro-etoksikarbonilamino)- α -D-glukopiranosida. *Prosiding UNESCO National Seminar on Chemistry*, FMIPA UI Depok, Feb. 1995.
97. Andayani, W., Bagyo, A. S. M., Winarno, E. K., & **Winarno, H.**, (1998). Pengaruh iradiasi gamma pada zat warna basa *maxilon blue* dalam air. *Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi*, Jakarta, 18-19 Februari 1998. (47–54). BATAN.
98. Endrawanto & **Winarno, H.** (1996). Proses pengolahan limbah secara fisika dan kimia. *Prosiding Pelatihan dan Lokakarya “Peranan Bioremediasi dalam Pengelolaan Lingkungan”*, Cibinong, 24 – 28 Juni 1996. (96–124). LIPI-BPPT-HSF Jerman, Cibinong. ISBN: 979-895 8-08-X. 96-124.
99. **Winarno, H.**, Andayani, W, & Sumatra M. (1995). Degradasi insektisida BPMC dalam larutan air dengan sinar UV. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 12-15 Des 1994. (227–230). PAIR-BATAN.
100. **Winarno, H.** (1995). Synthesis of two lipid A analogs containing fatty acids. *Prosiding Presentasi Ilmiah Hasil Studi Program Magister*, Jakarta, Des 1994, (49–67). BATAN.

Kekayaan Intelektual

Paten Nasional Tersertifikasi

101. Suhartini, M., Utama, M., Rahmawati, Syahputra A. R., **Winarno, H.**, Darwis, D. (2018). Proses pembuatan kopolimer lateks karet alam-stiren sebagai peningkat indeks viskositas pelumas dengan teknologi radiasi. Paten granted no. IDP000051106, tanggal 15

Mei 2018.

102. Puspitasari T., Sunarni, A., **Winarno, H.**, Iramani, D., Pangerteni, D. S., Susilawati, S., Nuryanthi, N. (2017). Proses pembuatan oligoalginat dengan teknologi radiasi dan produk oligoalginat sebagai zat pengatur tumbuh organik. Paten granted no. IDP000045587, tanggal 8 Mei 2017.
103. Darwis, D., **Winarno, H.**, Khusniya, T., Nurlidar F., dan Hardiningsih, L. (2014). Proses pembuatan membran selulosa mikrobial steril biodegradasi dengan teknik iradiasi. Paten granted no. IDP000037379, tanggal 4 Desember 2014
104. Sunarni, A., Puspitasari T., Kadarijah, Marlijanti, I., Iramani, D., Susilawati, S., Nuryanthi, N., Pangerteni, D. S., **Winarno, H.**, & Darwis, D. (2013). Proses pembuatan oligokitosan berbahan baku cangkang *Crustaceae* dengan teknologi radiasi dan produk oligokitosan serta penggunaannya. Paten granted no. IDP000034713, tanggal 9 Oktober 2013.

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

1. **Winarno, H.**, Winarno, E. K., Susanto, & Fajarwati, T. (2021). Using stable isotope tracer for studying the vitamin a status of children. IAEA-TC-INS6019 report, B-03/III.I.I/PR 04/12/2021.
2. **Winarno, H.**, Winarno, E. K., & Susanto, (2021). Pengaruh iradiasi gamma pada khasiat dan keamanan beberapa bahan obat herbal Indonesia: Bunga rosela (*Hibiscus sabdariffa*). Laporan Penelitian Tahun Anggaran 2021, B-02/III.I.I/PR 04/12/2021.
3. Katrin, E. H., **Winarno, H.**, & Susanto, (2020). Pengembangan teknik perunut isotop stabil untuk mengetahui status gizi anak usia 6 bulan sampai 5 tahun menggunakan D₂O. Laporan Penelitian Tahun Anggaran 2019, 27/AIR 1.1/OT 02 02/01/2020.
4. Darwis, D., Abbas, B., Nikham, Harantung, E. K., **Winarno, H.**, Warastuti, Y., Koesoemowidodo, R. S. A., Lukitowati, F., Pandansari, P., Dwijartini, T. R., Basyir, T. E., Perkasa, D. P., Suryani, N., Pangerteni, D. S., & Susilowati, S. (2018). Prototipe biomaterial steril untuk aplikasi klinis. Laporan Penelitian PAIR Tahun Anggaran 2017, 85/AIR 4/OT 02 02/02/2018.
5. Supriyadi, P. Y. T., Ansanay, Y. O., **Winarno, H.** (2011). Studi kandungan hidrokarbon pada batubara dengan metode kromatografi. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin*, Bidang Kimia dan Tekstil, UII, Yogya, 11 Juni 2011, pp. B49–B54.
6. **Winarno, H.**, Ermin Katrin Winarno, E. K., Susanto, & Fajarwati, T. (2021). Using stable isotope tracer for studying the vitamin a status of children, IAEA-TC-INS6019 report, B-03/III.I.I/PR 04/12/2021.
7. Nikham, Winarno, E. K., **Winarno, H.**, Rahayu, D. P., Erlinda, T., & Susanto (2015). Teknologi iradiasi untuk menjaga kualitas

produk kesehatan dari daun sirsak (*Annona muricata* L.) untuk mendukung Farmakope Indonesia. Laporan PAIR BATAN Tahun 2015, 1-20.

8. Nikham, Chosdu, R., **Winarno, H.**, Lina, M. R., & Winarno, E. K. (2010). Aplikasi teknik pasteurisasi radiasi pada temu lawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.) untuk produk kesehatan tanpa mengubah khasiatnya. Lap. Penelitian PAIR Tahun 2010, 1-32.
9. Chosdu, R., Nikham, Winarno, E. K. Aryanti, & **Winarno, H.** (2009). Pemanfaatan teknologi nuklir untuk produk kesehatan dari tanaman obat. Lap. Penelitian PAIR Tahun 2009, 1-23.
10. **Winarno, H.** (2003). Teh Hijau dan Zat Antikanker. *Kompas*, Jumat, 12 Desember 2003, hal. 10.
11. **Winarno, H.** (2003). Senyawa Antikanker dari Benalu Teh. *Kompas*, Kamis, 30 Oktober 2003, hal. 10.
12. **Winarno, H.** (2003). Chemical study on Indonesian parasitic plants *Scurrula atropurpurea* and *Scurrula fusca*. *Ph. D. Thesis*, Fukuyama University, Japan
13. **Winarno, H.** (2000). Tinjauan sintesis senyawa 2-alkilsiklobutanon untuk deteksi makanan iradiasi yang mengandung asam lemak. *Buletin BATAN*, No.1. BATAN.
14. **Winarno, H.** & Katrin, E. W. (2000). Proses pemurnian air minum sistem maju: Kombinasi ozonisasi dan penyerapan dengan karbon aktif. *Majalah Air Minum*, No. 89, (18-23). PDAM Pusat. ISSN 0126-2785.
15. **Winarno, H.** & Anwar, E. (1999). Tinjauan penggunaan mesin berkas elektron untuk pengolahan limbah organik dan gas buangan industry. *Buletin BATAN*, No. 3. BATAN.
16. Andayani, W., Winarno, E. K., Bagyo, A. N. M., & **Winarno, H.**, (1998). Penguraian Insektisida diazinon dalam air dengan iradiasi gamma. Laporan Penelitian PAIR-BATAN. PAIR/T.381/98.

BATAN.

17. Bagyo, A. N. M., Andayani, W., **Winarno, H.**, Katrin, E., Widayat, & Soebianto, Y. S. (1997). Radiolysis of reactive azo dyes in aqueous solution. *Laporan Penelitian PAIR-BATAN 1997*. PAIR/P.947/97. BATAN.
18. **Winarno, H.** (1997). Penguraian pencemar organik menggunakan sinar UV. *Buletin BATAN*, No.2 (34–43).
19. Katrin, E. W., Andayani, W., & **Winarno, H.**, (1996). Penguraian insektisida fenitrothion dalam air dengan iradiasi. *Laporan Penelitian PAIR-BATAN 1996*. PAIR/P.895/96. BATAN.
20. **Winarno, H.** (1996). Permasalahan, analisis, dan pengaruh iradiasi gamma pada senyawa poliklorobifenil. *Buletin BATAN*, No. 3 (10–19).
21. **Winarno, H.** (1996). Radiosintesis lipid A LPS *Escherichia coli*: Sintesis asam (R)-3-dekanoiloksitetradekanoat-¹⁴C. *Buletin BATAN*, No. 2 (22–31).
22. **Winarno, H.** (1995). Lipid A: Pusat aktif endotoksin, struktur kimia dan bioaktivitasnya. *Majalah Cermin Dunia Kedokteran*, 103 (56–62). Kementerian Kesehatan.
23. **Winarno, H.** (1994). Synthetic study on lipid A analogs containing various fatty acids. *Master Thesis*, Osaka University, Japan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. DATA PRIBADI

Nama	:	Dr. Hendig Winarno, M.Sc
Tempat, Tanggal Lahir	:	Blitar, 24 Mei 1960
Anak ke	:	1 dari 6 bersaudara
Jenis Kelamin	:	Pria
Nama Ayah Kandung	:	Mitkal Marsono (Alm.)
Nama Ibu Kandung	:	Lilik Sunarti (Almh.)
Nama Istri	:	Dra. Ermin Katrin Harantung
Jumlah Anak	:	2 (dua)
Nama Anak	:	1. Yosaka Eka Putranta, S.T., MBA
	:	2. Albertus Wida Wiratama, S.T.
Nama Unit	:	Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi
Nama Organisasi	:	Organisasi Riset Tenaga Nuklir
Nama Instansi	:	Badan Riset dan Inovasi Nasional
Judul Orasi	:	Kontribusi Teknologi Radiasi Pengion dalam Meningkatkan Mutu Obat Bahan Alam
Ilmu	:	Kimia
Bidang	:	Kimia Radiasi
Bidang Kepakaran	:	Iradiasi Obat Bahan Alam
No. SK Pangkat	:	No. 38/K Tahun 2018,
Terakhir	:	tanggal 14 September 2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No. SK Peneliti Ahli : Keputusan Presiden Republik
Utama Indonesia Nomor 30/M Tahun 2020,
tanggal 13 April 2020; dan Keputusan
Presiden Republik Indonesia Nomor
3/M Tahun 2022 tanggal 19 Januari
2022, terhitung mulai tanggal 1
Oktober 2021

Tautan Scopus : 6507730651

Tautan Web of : GJQ-2154-2022
Science

Tautan Google Scholar : <https://scholar.google.com/citations?>

B. PENDIDIKAN FORMAL

No	Jenjang	Nama Sekolah/ PT/Univ	Tempat/ Kota/ Negara	Tahun Lulus
1	SD	SDN Pakisrejo	Srengat, Blitar	1972
2	SMP	SMPN Srengat	Srengat, Blitar	1975
3	SMA	SMAN Genteng	Banyuwangi	1979
4	S1	UGM	Yogyakarta	1987
5	S2	Osaka Univ.	Osaka, Jepang	1994
6	S3	Fukuyama Univ.	Fukuyama, Jepang	2003

C. PENDIDIKAN NONFORMAL

No	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/ Kota/ Negara	Tahun
1	Keahlian Dasar Bidang Tenaga Atom	BATAN, Yogyakarta	1988

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/ Kota/ Negara	Tahun
2	Pra Jabatan Tingkat III	BATAN, Jakarta	1988
3	Kursus Bahasa Jepang (6 bulan)	Tokyo Nihongo Gakuin, Jakarta	1990-1991
4	Kuliah Bahasa Jepang (1 semester)	Osaka Univ. of Foreign Studies, Osaka, Japan	1991
5	Kursus Bela Negara	BATAN, Jakarta	1994
6	Operator Training on GCQ – Mass Spectrometer: Advances in Ion Trap Technology	BATAN, Jakarta	1996
7	Training on Optimizing and Validation of Poly Aromatic Hydrocarbons Analysis by GC-MS	Juelich Research Center – Jerman (3 bulan)	1997-1998
8	Regional (RCA) Training Workshop on the Use of Isotope Hydrology for Dam Safety and Dam Leakage	Yogyakarta	1999
9	Pelatihan Penyusunan Dokumentasi dan Audit Laboratorium ISO/IEC 17025:2005	BATAN, Jakarta	2007
10	Pelatihan Asesor Angkatan III: Komisi Nasional Akreditasi Pranata Penelitian dan Pengembangan (KNAPPP)	RISTEK, Puspiptek, Tangsel, BANTEN	2011

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/ Kota/ Negara	Tahun
11	Best Practice Workshop: Foundation of Physical Protection at Facilities Holding Nuclear or Radioactive Materials	London – Inggris	2012
12	Pendidikan dan Pelatihan Kepemimpinan Tingkat II	LAN RI, Jakarta	2012
13	Agent of Change Leadership from Heart	Gedung ESQ, Jakarta	2013
14	Workshop to Finalize the Study Protocols for the Assessment of Human Milk Intake	IAEA, Wina, Austria	2014
15	International Training Workshop on Development of Bioenergy Crops as Renewable Energy Sources for APEC Economies	Hotel Ambarukmo, Yogyakarta	2015
16	Workshop Change Management for Change Leader	BATAN, Jakarta	2015
17	Pendidikan dan Pelatihan Kepemimpinan Tingkat I	LAN RI, Jakarta	2017
18	Pelatihan Pemahaman Persyaratan Sistem Manajemen Laboratorium Berbasis SNI ISO/IEC 17025:2017	BRIN, Jakarta	2022
19	Teori & praktik: Application IVIS Spectrum in Life Science Research	Kerma PT. Elokarsa Utama - BRIN, Jakarta	2025

Buku ini tidak diperjualbelikan.

D. JABATAN STRUKTURAL

No	Jabatan/Pekerjaan	Nama Instansi	Tahun
1	Kepala Subbagian Administrasi Ilmiah dan Dokumentasi	Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi – BATAN	1999 – 2000
2	Kepala Bidang Proses Radiasi	Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi – BATAN	2006 – 2012
3	Kepala Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi	BATAN	2012 – 2014
4	Kepala Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi	BATAN	2014 – 2016
5	Deputi Kepala BATAN Bidang Pendayagunaan Teknologi Nuklir	BATAN	2016 – 2020

E. JABATAN FUNGSIONAL

No	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1	Peneliti Ahli Muda (IIIc)	1–7–1995
2	Peneliti Ahli Muda (IIId)	1–2–1997
3	Peneliti Ahli Madya (IVa)	1–8–1999
4	Dibebaskan sementara dari Jabatan Peneliti Ahli Madya (IVa) (studi S3)	31–3–2000
5	Pengangkatan kembali Jabatan Peneliti Ahli Madya (IVa)	1–5–2003
6	Peneliti Ahli Madya (IVb)	1–2–2005
7	Peneliti Ahli Madya (IVc)	1–2–2010

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
8	Dibebaskan sementara dari Jabatan Peneliti Ahli Madya (IVc) (rangkap jabatan eselon II)	3–7–2014
9	Peneliti Ahli Utama (IVd)	13–4–2020
10	Peneliti Ahli Utama (IVE)	13–4–2022

F. PENUGASAN KHUSUS NASIONAL/ INTERNASIONAL

No	Jabatan/pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1	Anggota Tim Analisis Jabatan BATAN	Kepala BATAN	1988 – 1999; 2007 – 2011
2	Anggota/Wakil Ketua Komisi Pembina Tenaga Fungsional Peneliti (KPTF) – Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi	Kepala PAIR-BATAN	2008 – 2011
3	Anggota Tim Seleksi Calon Peserta Training ke Jepang melalui program MEXT/Monbukagakusho Ketua/Penanggungjawab	Kepala BATAN	2009 – 2011 2017 – 2020
4	Anggota Tim Kekayaan Intelektual BATAN	Kepala BATAN	2009 – 2012
5	Anggota/Ketua Pokja Reformasi Birokrasi BATAN	Kepala BATAN	2010 – 2011; 2017 – 2020

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Jabatan/pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
6	Anggota Tim Reviu Proposal “Insentif Teknologi Yang Dimanfaatkan di Industri (ITDI)” 2016 – Kemenristek	Deputi Ristek	2015
7	Penanggungjawab Agro-Techno Park (ATP) BATAN di Klaten, Musi Rawas, dan Polewali Mandar	Kepala BATAN	2014 – 2016
8	Ketua Tim Penilai Jafung Pengawas Radiasi BATAN	Kepala BATAN	2015 – 2016
9	Anggota Delegasi FNCA-Ministerial Level Meeting di Tokyo-Jepang	Kepala BATAN	2016
10	Ketua Delegasi Indonesia pada FNCA-Ministerial Level Meeting (mewakili Menristek, di Kazakhstan)	Kepala BATAN/ Menristek	2017
11	Anggota Delegasi RI pada Ministerial Conference on Nuclear Science and Technology: Addressing Current and Emerging Development Challenges di IAEA – Wina – Austria	Kepala BATAN/ Kemenlu	2018
12	Anggota Delegasi Indonesia pada FNCA-Ministerial Level Meeting di Tokyo – Jepang	Kepala BATAN	2019
13	Koordinator Indonesia untuk “Forum Kerjasama Nuklir di Asia” (Forum for Nuclear Cooperation in Asia, FNCA)	Kepala BATAN	2016 – 2020

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Jabatan/pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
14	Ketua Tim Penilai Jafung Perekayasa BATAN	Kepala BATAN	2017 – 2020
	Anggota Delegasi Indonesia pada FNCA-Ministerial Level Meeting di Jakarta	Kepala BATAN	2020
15	Ketua Pengarah “Seminar Nasional Inovasi dan Pendayagunaan Teknologi Nuklir” - BATAN	Kepala BATAN	2020
16	Anggota Tim Penilai Peneliti Unit (TP2U)/ Komisi Pembina Tenaga Fungsional (KPTF) – Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi	Kepala PRT Proses Radiasi – ORTN – BRIN	2021 – 2022
17	P.J. / National Coordinator of IAEA-RAS6103	Kepala PRTPR	2022 – 2023
18	National Coordinator of IAEA TC-INS 6019	Kepala BATAN	2014 – 2024
19	Reviewer pada Monev Laporan Hasil Penelitian Pendanaan RIIM Gel. III	Ketua LPPM Univ. Pakuan	2024
20	Anggota Tim Adhoc/Tim Review Manajemen Talenta untuk Seleksi: Visiting Researcher/ Post-Doctoral Fellows/ Calon Mhs DBR/ Monev Mhs DBR/Tubel	Deputi SDM IPTEK - BRIN	2022 – 2023; 2025 – saat ini
21	Asesor Uji Kompetensi Jabatan Fungsional Peneliti	Direktur Pembinaan Jafung dan Pengembangan Profesi/ Ketua Sekretariat MAUK	2025 – saat ini

Buku ini tidak diperjualbelikan.

G. KEIKUTSERTAAN DALAM KEGIATAN ILMIAH

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1	UNESCO National Seminar on Chem. of Nat. Product of Indonesian Plants	Presenter	UNESCO bekerjasama dengan UI; Depok – Jabar	1994
2	IAEA/ RCA-Regional Executive Manag. Meeting for Policy Makers and End-Users on Green Radiat. Processing for Agric., Environ. and Industrial Applications	Presenter/ Ketua Delegasi Indonesia Judul Pres.: Current Results on The Use of Fitosan for PGP and PE	IAEA & VINATOM; Ho Chi Minh City, Vietnam, 27-31 Agust 2012	2012
3	Kunjungan Bilitbangda Jatim ke RISTEK (13 Sept 2012)	Narasumber Judul pres.: Potensi Hasil Litbang Batan untuk Daerah	BATAN, Jakarta	2012

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
4	Evaluasi Pelaksanaan Kegiatan Pemanfaatan Hasil Litbangyasa Iptek Nuklir Pertanian di Kab. Bogor	Narasumber Judul pres.: Aplikasi Teknologi Nuklir untuk Kes. Masyarakat	Kerjasama BATAN – Pemda Kab Bogor, Bogor, 7 Nov 2012	2012
5	Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Akselerator (20 Nov 2012)	Narasumber: Aplikasi Radiasi Peningkatan Bid. Industri, Kes, Pangan & Lingkungan	PSTA-BATAN, Yogyakarta	2012
6	Sosialisasi IPTEK Nuklir (29 Nov 2012)	Narasumber Judul pres.: Aplikasi Tekn. Nuklir untuk Mendukung Pemb. Nasional	BATAN-BALIT BANGDA JATIM, Surabaya	2012
7	RAKER Tahunan MPM PP Muhammadiyah 2013 (13 Jan 2013)	Narasumber Judul pres.: Inovasi Tekn. Nuklir untuk Daulat Pangan	PP Muhammadiyah, Yogyakarta	2013

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
8	Rapat Kerja Riset Perkebunan Nusantara (16 Januari 2013)	Narasumber Judul pres.: Aplikasi Tekn. Nuklir Bidang Non Energi	Riset Perkebunan Nusantara, Jember	2013
9	Talk show di TV Banyumas, topik: Produksi Padi dng Jaminan Hasil	Narasumber	BGAC - PT. MB Plus, TV Banyumas, 23 Feb 2013	2013
10	Diseminasi Kawasan Industri Nuklir di Kalimantan Timur (6 Mei 2013)	Narasumber Judul pres.: Peran Tekn. Nuklir dlm Pengembangan Sektor Non Listrik	Kerjasama BATAN - PEMDA Kaltim, Samarinda-Kaltim, Samarinda	2013
11	Sosialisasi IPTEK Nuklir dan Hasil Litbang BATAN Bidang Pertanian (27 Juni 2013)	Narasumber	Kerjasama BATAN-DPR RI Komisi 7 – Univ. Andalas, Lb. Basung, Sumbar	2013
12	Talkshow di Yogya TV (28 Nov 2013)	Narasumber tema Aplikasi Teknik Nuklir Bid. Pertanian	Kerjasama BATAN-Yogya TV, Yogya	2013

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
13	IAEA/ RCA-Regional Executive Meeting for End-user and Policy Makers on Radiation Grafting for Industrial Appl. and Envir. Preservation	Peserta/ Ketua Delegasi Indonesia	IAEA & KAERI; Jeongeup, Korea Selatan	2013
14	Sarasehan dan Temu Mitra Pengguna Varietas Padi Sidenuk	Narasumber: Peran Benih Unggul Hasil Litbang BATAN dlm Mendukung Program Ketersediaan Benih Nas.	Kerjasama BATAN – Mitra Penangkar Benih, Banyuwangi, 10 Des 2013	2013
15	Sosialisasi IPTEK Nuklir serta Pemanfaatannya bagi Kesejahteraan Masyarakat Kab. Klaten (27 Maret 2014)	Narasumber Judul pres.: Pengenalan Hasil Litbang BATAN di Bidang Pangan, Kes, Industri, SDAL	Kerjasama Pemerintah Kab Klaten – BATAN, Klaten	2014

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
16	Pelatihan/ Diseminasi IPTEK Nuklir Bidang Pertanian	Narasumber	ICMI – Organisasi Daerah Musi Rawas, 5 April	2014
17	Kunjungan PEMDA Sulawesi BARAT ke BATAN (23 April 2014)	Narasumber Judul pres.: Peran Tekn. Nuklir Bidang Non Energi	BATAN, Jakarta	2014
18	Workshop to Finalize the Study Protocols for the Assessment of Human Milk Intake	Peserta	IAEA; Wina – Austria	2014
19	Technical Meeting on Deployment of Clean/ Green Radiation Technology for Environmental Remedation	Invited Speaker	IAEA; Wina – Austria	2014

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
20	Talkshow di radio Sindo Trijaya: Nuklir non Energi	Narasumber	BATAN-Radio Sindo Trijaya, Jakarta, 26 Sept	2014
21	Talkshow di radio Elshinta, tema Nuklir non Energi	Narasumber	BATAN-Radio Elshinta, Jakarta, 14 Okt	2014
22	Inventarisasi Hilirisasi Hasil Litbang BATAN (Bogor, 6-7 Nov 2014)	Narasumber Judul pres.: Hilirisasi Hasil Litbang PAIR-Permasalahan dan Harapan	BATAN	2014
23	Seminar Hari Kebangkitan Teknologi Nasional, tema: Pengembangan SIDA Melalui Pendekatan Kluster Komoditi Unggulan	Narasumber Judul pres.: Kontribusi Teknologi Nuklir Dalam Pemuliaan Tanaman Padi	Litbang Bappeda Sleman, Sleman – Yogyakarta (12 Nov)	2015

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
24	Pelatihan Petugas Iradiator PT. NIPRO Indonesia (23 Feb - 6 Maret)	Pengajar/ Narasumber Judul pres.: Aplikasi Iradiator	BATAN, PUSDIK -LAT	2015
25	Diskusi, tema: Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan Akibat Pertambangan (24 Maret)	Narasumber: Aplikasi Inokulan Mikroba Fungsional Terpilih sbg. Bio-Agen Remediasi Lingkungan	Staf Ahli Menteri ESDM Bidang Lingkungan Hidup dan Tata Ruang, Jakarta	2015
26	Talkshow di radio Papeja 101,8 FM. (8 Juli)	Narasumber	Kerjasama BATAN - Radio Papeja, Musirawas	2015
27	Talkshow di radio Sindo Trijaya 104,6 FM, tema: ATP BATAN Tingkatkan Produksi Benih Unggul Bermutu	Narasumber	Kerjasama BATAN-Radio Sindo Trijaya 104,6 FM, MNC Tower Jl. Kebon Sirih, JKT (20 Agust)	2015

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
28	Talkshow di radio Sindo Trijaya 104,6 FM, tema: Proses Radiasi untuk Industri Pangan (6 Okt)	Narasumber	Kerjasama BATAN-Radio Sindo Trijaya 104,6 FM, MNC Tower Jl. Kebon Sirih, JKT	2015
29	Talkshow di RRI Pro 4, tema: Proses Radiasi untuk Industri Pangan	Narasumber	Kerjasama BATAN-RRI Pro 4, Jakarta (27 Okt)	2015
30	IAEA/RCA Regional Executive Meeting for Policy Makers and End-user on Radiation Grafting	Peserta/ Ketua Delegasi Indonesia	IAEA & JAEA; Takasaki - Japan	2015

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
31	Tindak Lanjut Rapat Kerja Nasional: Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan Akibat Pertambangan (15 Jan)	Narasumber; Judul pres.: Aplikasi Inokulan Mikroba Fungsional Terpilih sbg. Bio-Agen Remediasi Lingkungan	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Jakarta - Bogor	2016
32	Seminar Nasional & EXPO Kimia - UPI (24 Jan)	Narasumber Judul pres.: Peran Iptek Nuklir dalam Bidang Pangan	Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung	2016
33	Sarasehan Pemanfaatan Fasilitas Iradiator untuk Pangan dan Kesehatan	Narasumber Judul pres.: Iradiator dan Aplikasinya	BATAN, University Hotel, Yogyakarta (11 Feb)	2016
34	Seminar Pemanfaatan Teknologi Nuklir untuk Kesejahteraan Manusia	Pembicara, Judul pres.: Aplikasi Isotop dan Radiasi Bidng Pangan, Industri, dan Kesehatan	PAIR-BATAN, Jakarta (10 Mar)	2016

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
35	Dies Natalis UNS ke-40, 2016: Seminar Nasional Pemanfaatan Tekn. Nuklir untuk Kesejaht. Manusia	Pembicara Utama Judul pres.: Aplikasi Isotop dan Radiasi	Univ. Negeri Surakarta, Surakarta	2016
36	Seminar Nasional Kimia dan Pembelajaran Kimia (12 Mei)	Narasumber Judul pres.: Peran IPTEK Nuklir bidang Industri, Lingk, dan Kesehatan	Universitas Padjadjaran, Jatinangor – Jawa barat	2016
37	Seminar “Meningkatkan Daya Saing Industri Jamu” (18 Mei)	Narasumber Judul pres.: Radiasi- γ thd Simplisia	“GP Jamu” Cabang Jawa Tengah	2016
38	Sosialisasi Aplikasi Iradiasi untuk Pengawetan Makanan (19 Mei)	Narasumber Judul pres.: Pengawetan Makanan Menggunakan Iradiasi- γ	BATAN bekerjasama dengan Ikatan Pengusaha Gudeg Yogyakarta	2016

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
39	Sosialisasi Pemanfaatan Teknologi Nuklir untuk Kesejahteraan Manusia (12 Juni)	Pembicara Utama Judul Pres.: IPTEK Nuklir non Energi	Fakultas MIPA, Univ. Negeri Surakarta, Surakarta,	2016
40	Pertemuan Ilmiah Tahunan Radioisotop, Radiofarmaka dan Siklotron (3 Nov)	Pemb. Kunci/ Narasumber Judul pres.: Arah Kebijakan Pendayagunaan Teknologi RI, RF, dan Siklotron	BATAN, Puspipstek, Tangerang Selatan	2016
41	Seminar Nasional Pendayagunaan Teknologi Nuklir (9 Nov)	Pemb. Kunci/ Narasumber Judul pres.: Kebijakan Hilirisasi Hasil Litbang BATAN	BATAN, Puspipstek, Tangsel	2016

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
42	7 th Fukui International Meeting on HRD for Nuclear Energy in Asia: “Policies & Implementation Strategies on HRD to Introduction of Nuclear Power Plants (NPPs)”	Invited Speaker	The Fukui Prefectural Government & The Wakasan Energy Research Center – Japan; Fukui – Japan	2017
43	Nuclear Security School, peserta dari dalam dan luar negeri	Speaker Judul Pres.: Nuclear Application	Kerjasama BATAN – IAEA (20 Maret)	2017
44	IAEA-Annual Meeting of the International Network for Nuclear Security Training and Support Centers	Invited Speaker	IAEA; Vienna – Austria	2017
45	Talkshow di RRI Pro 1: Peran Tekn. Nuklir dalam Mendukung Daulat Pangan Nasional	Narasumber	Kerjasama BATAN-RRI Pro 1, Purwokerto, Jateng, (4 Mei)	2017

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
46	Temu Petani Pengguna Hasil Litbang BATAN (15 Agust)	Narasumber	Kerjasama BATAN-PEMDA Kab. Jember	2017
47	Pembekalan Calon Wisudawan Pascasarjana UGM (17 Okt)	Pemb. Tamu: Tekn. Nuklir dan Pemanfaatannya untuk Masy.” dan Menjunjung Integritas sbg. Alumni UGM	UGM; Yogyakarta	2017
48	Kuliah Umum: Unt Dosen dan Mhs Universitas Tadulako PALU (29 Okt)	Narasumber Judul pres.: Tekn. Nuklir untuk Masa Depan INA	Universitas Tadulako, Palu	2017
49	IAEA Nuclear Security Series: A Roadmap for Harmonizing and Integrating Nuclear Safety and Security Culture	Inv. Speaker, Judul pres.: National Experience Sharing on Culture Harmonization and Integration:	The Univ. of Georgia USA - BATAN; Tangel (29-31 Jan)	2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
50	2018 - FNCA Symposium: FNCA Activity's Contribution to Promote Application of Radiation Technology in Member Countries in Various Fields	Invited Speaker	Nuclear Safety Research Association and MEXT; Fukui – Japan	2018
51	Fukui International Meeting on Human Resource Development for Nuclear Energy in Asia 2019 (HRD-NEA2018)	Invited Speaker	The Fukui Prefectural Government & The Wakasa wan Eenergy Research Center- Japan; Fukui – Japan	2018
52	Kuliah Umum: IPTEK NUKLIR untuk Masa Depan Indonesia di depan Dosen dan Mhs. UnPatti	Pemb. Tamu/ Narasumber: Judul pres.: Tekn. Nuklir untuk Masa Depan INA	Kerjasama BATAN - Univ Pattimura; Ambon –Maluku	2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
53	Sosialisasi IPTEK NUKLIR Untuk Pemda dan Gapoktan di Lumajang (10 April)	Narasumber: Judul pres.: Teknologi Nuklir untuk Masa Depan Indonesia	Kerjasama BATAN – Pemda Lumajang – DPRD RI Komisi 7, Lumajang	2018
54	Sosialisasi IPTEK NUKLIR di UNDIP (23 April)	Pemb. Tamu/ Narasumber: Judul pres.: Nuklir untuk Kesejahteraan	Kerjasama BATAN – UNDIP, Di UNDIP, Semarang	2018
55	Sosialisasi IPTEK NUKLIR untuk Dosen UISI dan Masyarakat (12 Mei)	Pembicara Judul presentasi: Nuklir untuk Kesejahteraan	Univ. Int'l Semen Indonesia; Gresik – Jawa Timur	2018
56	Sosialisasi IPTEK Nuklir untuk Pemda dan Gapoktan Cianjur	Narasumber Judul Pres.: Teknologi Nuklir untuk Masa Depan Indonesia	BATAN – PEMDA Cianjur, DPR Komisi 7 (4 Juni)	2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
57	Sosialisasi IPTEK Nuklir untuk Para Pesilat PPS Betako Merpati Putih ex- Yogyakarta di Jabodetabek	Narasumber Judul presentasi: Nuklir untuk Kesejahteraan Masyarakat	BATAN, Cipanas-Cianjur, (30 Juni)	2018
58	Sosialisasi IPTEK Nuklir untuk Para Pesilat (30 Juni)	Pembicara Judul presentasi: Nuklir Bagi Kesejahteraan Masyarakat	Kerjasama BATAN - PPS Betako Merpati Putih Pengda Jawa Barat, Di Puspiptek	2018
59	Demo Teknologi Bidang Pertanian BATAN, tema: Pemanfaatan Hasil Litbang IPTEK Nuklir untuk Mendukung Kedaulatan Pangan Nasional	Narasumber	Kerjasama BATAN – DPR RI Komisi 7, Wajo, Sulawesi Selatan (9 Agust)	2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
60	4 th International Symposium on the Application of Nuclear Technology as a Key Element to Promote Competitive National Industrial Products	Invited Speaker, Judul Pres.: Application of Radiation Technology for Safety, Quality, and Security of Foods in INA	Univ. Tanjung Pura, Pontianak, Kalbar (14 Agust)	2018
61	The 22 nd Annual Scientific Meeting of ISNM ISNMB in conjunction with International Symposium of Nuclear Science Application for Human Health	Invited Speaker, Judul pres.: Better Life with T-BONE KAEF and ¹⁵³ Sm-EDTMP (14-16 Sept)	Indonesian Society of Nuclear Medicine, and Indonesian Society of Nuclear Medicine and Biology, and BATAN; Bandung	2018
62	Kuliah Umum: Nuklir untuk Kesejahteraan	Pembicara Tamu	Universitas Airlangga; Surabaya (20 Sept)	2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
63	Tekn. Nuklir Bidang Pertanian BATAN: Pemanfaatan Hasil Litbang IPTEK Nuklir untuk Mendukung Kedaulatan Pangan Nasional	Narasumber	Kerjasama BATAN – Pemda Lombok - DPR RI Komisi 7, Mataram, Lombok, (22 Sept)	2018
64	Inkubasi Bisnis dan Teknologi Produk Litbang BATAN, tema: Pemanfaatan Iptek Nuklir untuk Kesejahteraan Masy. Lamongan	Narasumber	Kerjasama BATAN – Pemda Lamongan, Lamongan, Jawa Timur, (15 Nov)	2018
65	Inkubasi Bisnis dan Teknologi Produk Litbang BATAN Pemanfaatan Thyroid Uptake Untuk Diagnosis Fungsi Kelenjar Thyroid	Pemb. Tamu/ Narasumber Judul Presentasi: Nuklir untuk Bidang Kesehatan	BATAN bekerjasama dengan RSUD Ulin, Banjarmasin (22 Nov)	2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
66	Side Event as Part of Ministerial Conference, theme: “Socioeconomic Benefits of Radiation Technol. Applications”	P. Jawab Chairperson Speaker	IAEA, Vienna – Austria (27 – 30 Nov)	2018
67	Pelatihan Introduksi Energi Nuklir dan Pemanfaatannya di Bidang Pangan, Pertanian, dan Kesehatan	Pemb. Tamu/ Narasumber Judul pres.: Pendayagunaan Iptek Nuklir Bagi Kesejah. Masy.	BATAN (3 Des)	2018
68	Kuliah Umum: Teknologi Nuklir dalam Bidang Kimia, Lingk., Industri, Pertanian, dan Kesehatan	Pemb. Tamu Judul: Tekn. Nuklir Bidang Kimia, Lingk, Indust, Pertan, dan Kesehatan	Universitas Brawijaya; Malang, Jawa Timur (25 Jan)	2019

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
69	Kuliah Umum: Teknologi Nuklir dalam Bidang Kimia, Lingk., Industri, Pertanian, dan Kesehatan	Narasumber	Kerjasama BATAN – Pemda Lamongan (30 Jan)	2019
70	Fukui International Meeting on Human Resource Development for Nuclear Energy in Asia 2019 (HRD-NEA2019)	Invited Speaker	The Fukui Prefectural Government & The Wakasan Energy Research Center-Japan; Fukui-Japan	2019
71	Sarasehan Alumni Diklat PIM II-34 LAN RI Klas C (1 Feb)	Narasumber, Judul pres.: Teknologi Nuklir untuk Kesejahteraan Masyarakat	Kerjasama BATAN – Alumni Diklat PIM II-34	2019

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
72	Sosialisasi Hasil Litbang BATAN, tema: Pemanfaatan Hasil Litbang BATAN demi Kesejahteraan Masyarakat	Narasumber	Kerjasama BATAN-Pemda Bantul_DPR RI Komisi 7, Bantul, Yogya, (21 Feb)	2019
73	Kuliah Umum: IPTEK Nuklir untuk Kesejahteraan Masyarakat dan Pemanfaatannya di Indonesia (13 Maret)	Pemb. Tamu/ Narasumber Judul pres.: Iptek Nuklir untuk Kesejahteraan Masy. dan Pemanfaatannya di INA	Kerjasama BATAN - Institut Teknologi Sumatera (ITTEA); Lampung	2019
74	Kuliah Umum di Depan Peserta Diklat PIM III kemendagri (21 Maret)	Pembicara/ Narasumber Judul Presentasi: IPTEK Nuklir untuk Kesejahteraan Masyarakat	BATAN, Puspiptek, Tangel	2019

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
75	Kuliah Umum: Teknologi Nuklir untuk Kesejahteraan Masyarakat (28 Maret)	Pembicara/ Narasumber Judul pres.: Teknologi Nuklir untuk Kes. Masyarkat	Kerjasama BATAN - Univ. Negeri Gorontalo; Gorontalo	2019
76	Sosialisasi Hasil Litbang BATAN (30 Maret)	Pembicara/ Narasumber Judul pres.: Pemanfaatan Hasil Litbang BATAN untk Kes. Masyrakat	Kerjasama RISTEK – PEMDA Pekanbaru	2019
77	Sosialisasi Hasil Litbang BATAN bidang Pertanian (9 April)	Narasumber: Judul pres.: Teknologi Nuklir bidang Pertanian	Kerjasama BATAN- Pemda Kulon Progo, Kulon Progo, Yogya	2019
78	Sosialisasi Hasil Litbang BATAN (23 Juli)	Narasumber Judul pres.: Pemanfaatan Hasil Litbang BATAN untk Kesejahteraan	Kerjasama BATAN- Pemda Sidoarjo- Duta Besar RI unt Austria, Sidoarjo	2019

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
79	Diklat dan Orientasi Pegawai Baru (24 Juli)	Narasumber: Judul pres.: Program Deputi PTN - BATAN	BATAN Jakarta	2019
80	Sosialisasi Hasil Litbang BATAN (23 Agust)	Narasumber: Pemanfaatan Hasil Litbang BATAN untk Kesejahteraan	Univ. Pem- angunan Negeri “Veteran” Yogyakarta	2019
81	Kuliah Umum: “Tekn. Nuklir untk Kesejahteraan	Pemb. Tamu/ Narasumber	Institut Teknologi Yogyakarta; Yogya (2 Sept)	2019
82	Seminar Nasional: Kiprah Pemuda dalam Menyongsong Era Nuklir di Indonesia	Pemb. Tamu/ Narasumber Judul Pres.: Enam Dasa Warsa Kiprah BATAN dlm Pemanfaatan Iptek Nuklir di Indonesia	Univ. Pamulang; Tangerang Selatan – BANTEN (12 Nov)	2019

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
83	Seminar: Peran & Tantangan Tekn. Nuklir dalam Era Revolusi Industri 4.0	Pemb. Tamu/ Narasumber	Univ. Ibnu Khaldun; Bogor, Jabar (20 Sept)	2019
84	International Workshop and Introduction of the Application of Nuclear Technology for Health	Invited Speaker Judul presentasi: Utilization of Nuclear Technology for Health	Univ. Pendi-dikan Ganesha, Singaraja–Buleleng, Bali (18 Nov)	2019
85	Diklat/Latsar CPNS BATAN-Kemendikbud	Narasumber: Judul pres.: Teknologi Nuklir untk Kesejahteraan Masyarakat	BATAN (21 Mar & 2 Apr 2019 & 27 Feb 2020)	2019, 2020
86	Kuliah Umum: Pembekalan dan Penyegaran Petugas Layanan Informasi BATAN	Narasumber:	BATAN	2019, 2020

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
87	Seminar Daring “Aplikasi Teknik Nuklir untuk Sterilisasi Produk Kesehatan dan Herbal”	Narasumber Judul Pres.: Aplikasi Radiasi untuk Pengawetan Bahan OBA	BATAN, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi. (12 Juli)	2020
88	Seminar Daring Pemanfaatan Teknologi Radiasi untuk Meningkatkan Daya Saing Komoditas Pangan	Pemb. Tamu/ Narasumber Judul Pres.: Teknologi Penanganan Pasca Panen Menggunakan Iradiasi	Kamar Dagang dan Industri (KADIN); Jakarta (16 Juli)	2020
89	Indonesia - Japan Joint Symposium on Nuclear Research & Development, Safety and Education”	Penanggung jawab kegiatan	Japan Atomic Energy Commission & BATAN; (Online Sympos) (Des)	2020
90	Webinar Nasional: Aplikasi Teknologi Sediaan Farmasi	Pembicara Tamu/ Narasumber	Sekolah Tinggi Teknologi Industri; Bogor	2021

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
91	The 6 th International Conference on Science and Applied Science (ICSAS2021)	Presenter	UNS Surakarta (Online Conference)	2021
92	Rapat BPOM RI, membahas: REVISI Peraturan Badan POM RI No. 32 Tahun 2019, tentang Persyaratan Keamanan dan Mutu Obat Tradisional	Narasumber; Judul pres.: Aplikasi Radiasi untuk Dekontaminasi Mikoba dan Pengawetan OBA dalam Meningkatkan Daya Saing	BPOM RI; Jakarta (25 Jun)	2021
93	Kunjungan Ilmiah dengan tema: “Terapan Ilmu Biologi dalam Konservasi dan Industri”	Narasumber; Judul presentasi: 1. Tekn Nuklir Bidang Energi dan Lingk.; 2. Tekn Nuklir Bid. Pangan & Kesehatan	Fakultas Biologi -Universitas Nasional Jakarta (14 - 15 Juli)	2021

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
94	Seminar: Kemandirian Nasional Bahan Baku Obat Bahan Alam melalui Inovasi Teknologi dan Pendekatan Standardisasinya	Pemb. Tamu/ Narasumber Judul Presentasi: Aplikasi dan Standardisasi Teknologi Radiasi OBA	BPOM RI; Jakarta	2022
95	Kuliah Umum Program Studi S-1 Pendidikan Kimia FKIP Univ Sebelas Maret	Pemb. Tamu/ Narasumber Judul: Kimia Radiasi, Radiokimia, & Aplikasinya di Indonesia	Univ . Sebelas Maret; FKIP, Pendidikan Kimia (12 Mei)	2022
96	The International Conference on Nuclear Science, Technology, and Application (ICONSTA 2023)	Reviewer	Himpunan Masyarakat Nuklir Indonesia (HIMNI), Univ. Pamulang, dan BRIN	2023

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
97	Kuliah Tamu Program Studi S-1 Kimia MIPA Univ. Brawijaya; Sesi I: Jumat, 22 Nov; Sesi II: Rabu, 4 Des)	Pemb. Tamu/ Narasumber Judul Kuliah: Kimia Radiasi, Radiokimia, & Aplikasinya di Indonesia	UNIBRAW, FMIPA, Malang	2024
98	The Int'l Conference on Nuclear Science, Technology, and Application (ICONSTA 2024)	Reviewer	HIMNI, Univ. Pamulang, dan BRIN	2024
99	Capacity Building and Workshop on Quality Standardization of Extracts and Quality Control Assessment in Traditional Medicine Products	Narasumber Judul pres.: Irradiation: Preserving Technique in Raw Materials and Finished Products	BPOM RI; Jakarta, (19 Agust)	2025

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
100	Pelatihan Teknis & Pengawasan Iradiasi untuk Proses Pembuatan OBA; Direktorat Pengawasan OT dan Suplemen Kesehatan - BPOM RI, Jakarta	Narasumber, judul presentasi: Teknis, Proses, dan Manfaat Iradiasi untuk Dekontaminasi Mikroba pada Obat Bahan Alam	BPOM RI; Jakarta (14 Nov)	2025
101	Kuliah Umum dengan tema: Inovasi Interdisipliner untuk Proteksi Kesehatan dan Teknologi	Narasumber, judul presentasi: Teknologi Radiasi untuk Meningkatkan Mutu OBA	ISTA, Jakarta, 22 Jan 2026	2026

H. KETERLIBATAN DALAM PENGELOLAAN JURNAL ILMIAH

No	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
Jurnal/Buku Internasional				
1	Atom Indonesia (Scopus Q 2)	BATAN/BRIN	Editor & Reviewer	2006 – sekarang
2	Molecules (Scopus Q1)	MDPI	Guest Reviewer	2012

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/ Tugas	Tahun
3	Current Drug Delivery (Q2)	Bentham Science, UEA & Netherlands	Guest Reviewer	2015
4	Hayati J. Biosciences (Q2-3)	Dept. of Biol. - IPB University & the Indones. Soc. for Biology	Guest Reviewer	2015; 2021 – 2022
5	Public Health Nutrition (Q1)	Cambridge University Press - UK	Guest Reviewer	2020
6	J. Pharm. Res. International	SDI	Guest Reviewer	2020 – 2022
7	Asian Journal of Advances in Medical Sci.	MB Int'l, Media & Pub. House	Guest Reviewer	2021
8	Asian Oncology Res. J.	OA Academic Press, India	Guest Reviewer	2021
9	Asian J. Res. in Medical and Pharm. Sci.	SDI	Guest Reviewer	2021
10	European J. Medicinal Plants	SDI	Guest Reviewer	2021 – 2022
11	Asian J. Applied Chem. Research	SDI	Guest Reviewer	2022

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/ Tugas	Tahun
12	Current Traditional Medicine (Q3)	Bentham Science Pub., Netherlands	Guest Reviewer	2023 – sekarang
13	Frontier in Toxicology, Q1	Frontier	Guest Reviewer	2025
14	Current Nanomedicine (Q4)	Bentham Science Pub., Netherlands	Guest Reviewer	2026
Jurnal/Buku Nasional				
24	Annales Bogorienses	Puslit Biotek - LIPI	Editor Tamu	1999 – 2000
25	Berita Biologi	Puslit Biologi- LIPI	Reviewer	2007; 2010 –2012
26	Jurnal Sains Materi Indonesia	Pusat Sains dan Teknol. Bahan Maju BATAN	Reviewer	2007, 2010 – 2012
27	Jurnal Veteriner	FKH Univ. Udayana & Perhimp. Drh. Indonesia	Reviewer	2008
28	Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi	Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi BATAN	Editor; Chief Editor	2008 – 2011 2012 – 2-16

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/ Tugas	Tahun
29	Atom Indonesia Best Paper Award	Kepala Pusat Pengembangan Informatika Nuklir	Juri best paper award	2012, 2013; 2016 – 2017
30	Buku Terbitan BATAN Press	BATAN Press	Reviewer	2021
31	J. Ilmu Farmasi Indonesia	Universitas Pancasila, Jkt	Reviewer	2023 – sekarang

I. CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET, DAN INOVASI

1. Karya Tulis Ilmiah

a) Kualifikasi Karya

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Buku Nasional	1
2.	Bagian dari Buku Internasional	2
3.	Jurnal Internasional	26
4.	Jurnal Nasional	46
5.	Prosiding Internasional	7
6.	Prosiding Nasional	15
7.	Paten Nasional	
	Tersertifikasi	4

b) Kualifikasi Penulis

No	Kualifikasi Penulis	Jumlah
----	---------------------	--------

1.	Penulis Tunggal	7
2.	Bersama Penulis Lainnya	90
	Total	97

c) Kualifikasi Bahasa

No	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Inggris	51
2.	Bahasa Indonesia	46
3.	Bahasa Lainnya	-
	Total	97

2. Kekayaan Intelektual

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Paten Nasional	
	Tersertifikasi	4

J. PEMBIMBINGAN KADER ILMIAH

Pejabat Fungsional Peneliti

No	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1	Dra. Ermin Katrini Harantung	BATAN/ BRIN	Membimbing Kegiatan Penelitian dan Penulisan KTI	2005 – sekarang
2	Dr. Tita Puspitasari, MSi	BATAN/ BRIN	Drafting Paten	2008 – 2011
3	Drs. Sudrajat Iskandar	BATAN	Drafting Paten	2008 – 2011

Buku ini tidak diperjualbelikan.

4	Susanto, M.Si	BATAN/ BRIN	Membimbing Kegiatan Penelitian dan Penulisan KTI	2009 - sekarang
5	Bambang Sutarto, S.AP., MM.	BATAN	Penulisan Tesis	2014
6	Dr. Sugiharto	BRIN	Penulisan KTI dan <i>submission</i>	2025

Mahasiswa

No	Nama	PT/Univ.	Peran/Tugas	Tahun selesai
Doktoral (S3)				
1	Pratiwi Pujiastuti	Universitas Indonesia (UI)	Penguji	2006
2	Sri Hartati	Univ. Indonesia	Penguji	2007
3	Bambang Yudono	Univ. Sriwijaya	Penguji	2011
4	Ali Arman	Institut Pertanian Bogor (IPB)	Penguji	2014
5	Kartiningsih	Univ. Pancasila (PS), Jakarta	Penguji	2020
6	Faridah	Univ. PS, Jkt	Penguji	2024

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama	PT/Univ.	Peran/Tugas	Tahun selesai
7	Fifi Nurfiana	Universitas Gadjah Mada (UGM)	Kopromotor	2024
8	I Gede M. Wirabrata	Univ. PS, Jkt	Kopromotor	2024
9	Nuraini	Univ. PS, Jkt	Kopromotor	2025
10	Ashri Mukti Benita	IPB	Kopromotor	<i>Ongoing</i> 2024- 2027
11	Siva Fauziah	Univ. PS, Jkt	Kopromotor	<i>Ongoing</i> 2024- 2027
12	Susanto	Univ. Indonesia	Kopromotor	<i>Ongoing</i> 2024- 2027
13	Dede Komarudin	Univ. Indonesia	Kopromotor	<i>Ongoing</i> 2024- 2027

Magister (S2)

14	Inawati	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2005
15	M. Yani Zamzam	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2009
16	Onny Indriani	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 2	2010
17	Tina Khusniya	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2010
18	Mashuri Yusuf	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2011
19	Purgiyanti	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 2	2016
20	Ana Yuliana	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2016
21	Armawati Situmorang	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2016

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama	PT/Univ.	Peran/Tugas	Tahun selesai
22	Muh. Fitrah	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 2	2016
23	Irfan Junedi	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2019
24	Pangartika Hikariastri	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 2	2019
25	Septilia Wahyu H.	UGM	Pembimbing 2	2020
26	Susanto	Univ. Indonesia	Pembimbing 2	2023
27	A. Febriyumita D.	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 2	2023
28	Lia Anggrainy	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 2	2024
29	Isnani Handayanti	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2024
30	Anggraini Siregar	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2025
31	Nina Kurnia Dewi	IPB	Pembimbing 3	2025

Sarjana (S1)

32	Rima Fatmasari	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 2	1997
33	Jenny	Institut Teknologi Indonesia (ITI), Jkt	Pembimbing 1	1997
34	Liany	ITI, Jkt	Pembimbing 1	1997
35	Aryanti	Universitas Nusa Bangsa	Pembimbing 2	1999

No	Nama	PT/Univ.	Peran/Tugas	Tahun selesai
36	Yesi Mariyana	Institut Sains dan Teknologi Nasional (ISTN), Jakarta	Pembimbing 1	2004
37	Abdullah Fajri	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2005
38	Febrika	UI, Jkt	Pembimbing 2	2005
39	Luh Gede P. Sari	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 2	2006
40	Astrina Navra	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2006
41	Emmi	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 2	2006
42	Diana	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2007
43	Ana Puspitasari	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2007
44	Theriska Triutomo	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2007
45	Rina Febriyeni	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2007
46	Yuyun Sugiarti	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2008
47	Retno Iriyanti	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2008
48	Veny V. Sutrisno	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2008
49	Wisnurahardi	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 2	2008
50	Mazda	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 2	2008
51	Maria Yulianti	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2009
52	Selvie	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2009
53	I.G. Ayu Widya L	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2009
54	Y.O. Ansanay	Univ. Pelita Harapan	Pembimbing 2	2009
55	Yulia Fatmasari	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2010
56	Fahrul Nizar N.	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2010
57	Wulang Widi	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2010

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama	PT/Univ.	Peran/Tugas	Tahun selesai
58	Yenti	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2010
59	Johan Richard A.	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2010
60	Dharmayanti Indra P	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2011
61	Nur Azizah	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2011
62	Yuli Jayanti	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2011
63	Marlya Adhy V.	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2012
64	Firda Amalia	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2012
65	Dede Komarudin	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2012
66	Siva Fauziah	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2012
67	Nopika Kurniati	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2013
68	Setiananda Jacobs	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2013
69	Aulia Yuwanawati	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2013
70	Novitasari	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2013
71	Arif Fachrian	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2014
72	Harvey Lukas W.	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2014
73	Esther Desyanti I.	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2014
74	Bunga Ayudia	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2015
75	Deni Triantono	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2015
76	Asri Diansari	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2015
77	Dini Ika Pratiwi	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2015
78	Maulida Rahma	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2015
79	Indira Radana R.	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2016
80	Faizah	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2016

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama	PT/Univ.	Peran/Tugas	Tahun selesai
81	Rina Febriana	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2016
82	Rahayu Fitriani	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2016
83	Reni Novitasari	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2016
84	Olivin	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2017
85	Elfrisa Hanun A.	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2017
86	Fathur Rahman	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2017
87	Ni Luh Ayu Sari S	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2017
88	Niken Raharjanti	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2018
89	Soemarni Shinta	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2018
90	Majdina Irmawati	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2018
91	Dinna Chaerani	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2019
92	Khadijah Zharifah	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2019
93	Irma Rahmayanti	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2019
94	Amirah Putri A.	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2020
95	Sinta Novianisari	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2020
96	Atika Nurmalasari	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2020
97	Adika Wiranti	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2020
98	Ega Juwita	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2021
99	Dewi Sekartaji	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2021
100	Desi Annastasia P.	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2021
101	Meisy Lantika A.	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2021
103	Noor Ramadhanty	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2021

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama	PT/Univ.	Peran/Tugas	Tahun selesai
104	Erin Seviany	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2023
104	Rahayu Puspitasari	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2023
106	Dika Kanama	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2023
107	Tri Widi Lestari	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2024
108	Azizah Nurrohmah	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2024
109	Raissa R. Audiary P.	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2025
110	Anisa Rafida Y.	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2025
111	Hurangan Otsu HS	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2025
112	Haura May Zahra	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2026
113	Audry P. Maharani	Univ. PS, Jkt	Pembimbing 1	2026

Mengajar Kuliah/Pelatihan/Coaching

No	Kualifikasi	Tempat	Peran/Tugas	Tahun
1	Program S2	Univ. Pancasila, JKT	Dosen Tidak Tetap	2004 - sekarang
2	Pelatihan Analisis Residu Pestisida	PPMB, Kementerian Perindustrian	Pengajar Pelatihan	2006
3	Program S1	Univ. Pancasila, JKT	Dosen Tidak Tetap	2006 - sekarang
4	<i>Coaching</i> Apl. Kimia Radiasi	PATIR-BATAN	Pengarah dan Pengajar	2008

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Kualifikasi	Tempat	Peran/Tugas	Tahun
5	Diklat Penulisan KTI dalam Bahasa Indonesia dan Inggris	BATAN (untuk Periset)	Pengajar dan Pembimbing Pelatihan	2008; 2010; 2011
6	Pelatihan untuk Para Guru SMA	Pusdiklat BATAN	Pengajar Pelatihan	2010; 2011
7	<i>Coaching</i> Instrumentasi Fisika-Kimia	BATAN/BRIN (untuk Periset)	Pengarah dan Pengajar <i>Coaching</i>	2011; 2022
8	Diklat PIM IV	LIPI, Cibinong	Pengajar, Judul: Diagnostic Reading	2019
9	Program S3	Univ. Pancasila, JKT	Dosen Mata Kuliah Penunjang Disertasi	2022, 2024
10	Program S3	IPB	Dosen Mata Kuliah Penunjang Disertasi	2025

K. Organisasi Profesi Ilmiah

No	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1	Anggota	Himpunan Kimia Bahan Alam Jepang	1992 -1994
2	Anggota	Himpunan Kimia Indonesia (HKI)	1999 -2012

3	Anggota	Kelompok Kerja Nasional Tanaman Obat	2006 -2012
4	Anggota	Perhimpunan Peneliti Bahan Obat Alami	2021 -2022
5	Anggota	Himpunan Peneliti Indonesia (PPI)	2019 -sekarang

L. Tanda Penghargaan

No	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1	Satyalancana Karya Satya 10 Tahun	Presiden Republik Indonesia	1998
2	University President's Award in Recognition of Outstanding Research as a Postgraduate Student of the Fukuyama Univ.	Rektor "Fukuyama University", Japan	2003
3	Satyalancana Karya Satya 20 Tahun	Presiden Republik Indonesia	2008
4	104 Inovasi Indonesia 2012	Business Innovation Center-Kemenristek	2012
5	Peserta Terbaik I Diklat PIM II	Kepala LAN RI	2012
6	Peserta Terbaik V Diklat PIM I	Kepala LAN RI	2017
7	Satyalancana Karya Satya 30 Tahun	Presiden Republik Indonesia	2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Indonesia memiliki keanekaragaman hayati yang sangat besar sebagai sumber obat bahan alam (OBA) yang berpotensi dikembangkan menjadi obat herbal terstandar dan fitofarmaka. Akan tetapi, pengembangan OBA masih menghadapi berbagai kendala, terutama cemaran mikrobiologis, penurunan mutu selama penyimpanan, dan perlunya jaminan keamanan, stabilitas, dan konsistensi kandungan senyawa bioaktif. Teknologi radiasi pengion, meliputi sinar gamma, berkas elektron, dan sinar-X merupakan salah satu pendekatan dekontaminasi yang efektif karena mampu menurunkan cemaran mikroorganisme tanpa meninggalkan residu kimia maupun merusak kualitas bahan.

Orasi ini membahas konsep dasar radiasi pengion, mekanisme interaksi radiasi dengan OBA, aplikasi iradiasi, serta dampaknya terhadap stabilitas fitokimia, aktivitas biologis, dan keamanan bahan. Selain itu, dibahas pula pentingnya kerangka regulasi internasional dan nasional, termasuk standar Codex Alimentarius Commission (CAC), International Atomic Energy Agency (IAEA), World Health Organization (WHO), dan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) sebagai landasan penerapan teknologi iradiasi di Indonesia.

Berbagai penelitian pada tanaman obat Indonesia, seperti sambiloto, daun sirsak, keladi tikus, benalu, rosela, jati belanda, mahkota dewa, temulawak, temu putih, jahe merah, dan tanaman obat lainnya menunjukkan bahwa iradiasi pada dosis optimum (5–10 kGy) efektif menurunkan cemaran mikrobiologis dengan tetap mempertahankan stabilitas fitokimia, aktivitas biologis, dan keamanan. Respons setiap tanaman dipengaruhi oleh jenis senyawa bioaktif, kadar air, bentuk sediaan, dan dosis radiasi sehingga optimasi proses diperlukan untuk setiap bahan.

Dengan memadukan konsep dasar, perkembangan regulasi, dan bukti ilmiah terkini, buku ini diharapkan menjadi referensi bagi peneliti, akademisi, regulator, pembuat kebijakan, dan industri dalam mengembangkan OBA yang aman, bermutu, dan berdaya saing. Penerapannya diharapkan mendukung modernisasi obat herbal Indonesia, memperkuat kemandirian industri farmasi nasional, serta mendorong pemanfaatan teknologi nuklir untuk pembangunan kesehatan yang berkelanjutan.

