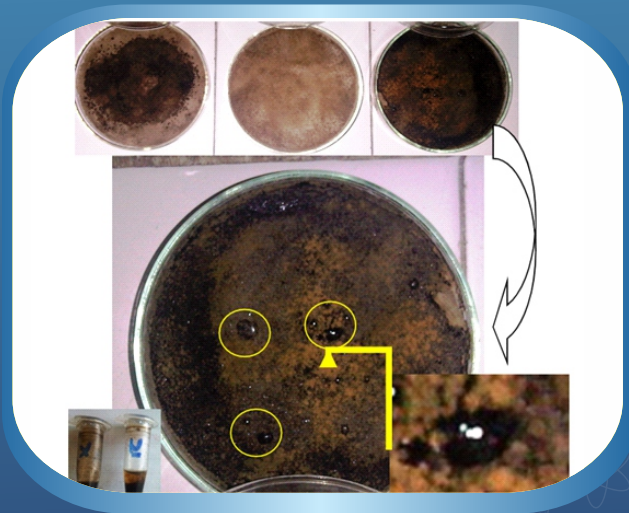


ORASI ILMIAH: RISET DAN INOVASI

TEKNOLOGI NUKLIR DALAM MIKROBIOLOGI BIDANG PERTANIAN, KESEHATAN, LINGKUNGAN DAN ENERGI

ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
KEPAKARAN MIKROBIOLOGI RADIASI



OLEH:
IRAWAN SUGORO

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

**TEKNOLOGI NUKLIR
DALAM MIKROBIOLOGI BIDANG PERTANIAN,
KESEHATAN, LINGKUNGAN DAN ENERGI**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Diterbitkan pertama pada 2025 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/>



**TEKNOLOGI NUKLIR
DALAM MIKROBIOLOGI
BIDANG PERTANIAN, KESEHATAN,
LINGKUNGAN DAN ENERGI**

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU BIOLOGI
BIDANG BIOLOGI RADIASI
KEPAKARAN MIKROBIOLOGI RADIASI**

**OLEH:
IRAWAN SUGORO**

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2025 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Teknologi Nuklir dalam Mikrobiologi Bidang Pertanian, Kesehatan, Lingkungan dan Energi/
Irawan Sugoro-Jakarta: Penerbit BRIN, 2025.

xiii + 99 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISSN 3090-8485

- | | |
|------------|-----------------|
| 1. Radiasi | 2. Perunut |
| 3. Deteksi | 4. Bioprospeksi |

539.2

Copy editor : Meita Safitri
Proofreader :
Penata Isi : Meita Safitri
Desainer Sampul : Meita Safitri

Edisi pertama : Juni 2025



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	ix
PRAKATA PENGUKUHAN	xiii
I. PENDAHULUAN	1
II. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI NUKLIR DALAM MENUNJANG RISET MIKROBIOLOGI	5
A. Radiasi	5
B. Perunut	9
C. Deteksi Nuklir	10
D. Bioprospeksi Radiasi	12
III. RISET MIKROBIOLOGI BERBASIS TEKNOLOGI NUKLIR DI BIDANG PERTANIAN, KESEHATAN, LINGKUNGAN, DAN ENERGI	15
A. Riset Mikrobiologi Berbasis Teknologi Nuklir di Bidang Pertanian	15
B. Riset Mikrobiologi Berbasis Teknologi Nuklir di Bidang Kesehatan	21
C. Riset Mikrobiologi Berbasis Teknologi Nuklir di Bidang Lingkungan	26
D. Riset Mikrobiologi Berbasis Teknologi Nuklir di Bidang Energi	29
IV. TANTANGAN DAN PELUANG PEMANFAATAN TEKNOLOGI NUKLIR DALAM MENDUKUNG RISET MIKROBIOLOGI	33
VI. PENUTUP	41
UCAPAN TERIMA KASIH	43
DAFTAR PUSTAKA	45
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH	61
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	81

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	A. Pemupukan menggunakan metode perunut dengan isotop ^{15}N dan ^{32}P :kontribusi nitrogen dari bakteri endofit pada tanaman padi; B. Kontribusi legum terhadap penyerapan fosfor oleh <i>Panicum maximum</i> cv Riversdale dalam sistem tumpeng-sari.....	16
Gambar 2.	A. Sintesis protein mikroorganisme cairan rumen dengan menggunakan isotop ^{32}P ; B. Pertambahan bobot badan harian (PBBH) Sapi PO; C. Produksi susu harian sapi FH yang disuplementasi probiotik khamir.....	18
Gambar 3.	A. Perunut dengan isotop ^{32}P untuk melabeli usus ikan; B. Deteksi kontaminasi Cd, Hg, dan Pb pada bakteri usus <i>P. pardalis</i> dari Sungai Ciliwung, Indonesia.....	20
Gambar 4.	A. Kemasan <i>lip gloss non-coating</i> ; B. <i>Coating</i> ; C. Setelah iradiasi gamma, serta jumlah bakteri dan jamur dari tiap batch.....	22
Gambar 5.	A. Radiasi gamma untuk pengembangan vaksin inaktif: profil protein <i>K. pneumoniae</i> hasil iradiasi gamma dan pemanasan; B. Bobot mencit setelah infeksi <i>K. pneumoniae</i> hasil inaktivasi iradiasi gamma (800 dan 1000 Gy) dan pemanasan (30' dan 45'); C. Jumlah makrofag mencit setelah infeksi <i>K. pneumoniae</i>	24
Gambar 6.	Biodiversitas Bakteri Air IPSB3.....	26
Gambar 7.	Efek Radiasi Gamma terhadap Pengurangan Gas Metana oleh Bakteri Pereduksi Nitrat.....	27
Gambar 8.	Pemanfaatan Radiasi Gamma untuk Produksi Batubara Cair oleh <i>Trichoderma asperellum</i>	31

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BIODATA RINGKAS



Irawan Sugoro, lahir di Tasikmalaya, 18 Oktober 1976 adalah anak ketiga dari pasangan Sudibyو dan Kurniasih. Menikah dengan Devita Tetriana dan dikaruniai satu orang putri, yaitu Aisyah Faza Sugoro.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 36/M Tahun 2023 tanggal 18 Agustus 2023 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama di lingkungan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) terhitung mulai tanggal 10 Oktober 2023.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 137/I/HK/2025 tanggal 2 Juni 2025 tentang Pembentukan Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan orasi Pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri Inpres Angkasa Biak tahun 1989, Sekolah Menengah Pertama Negeri 3 Bandung tahun 1992, dan Sekolah Menengah Atas Karya Pembangunan Margahayu Bandung tahun 1995. Memperoleh gelar Sarjana Sains dari Biologi MIPA, Institut Teknologi Bandung (ITB) tahun 1999; gelar Magister Sains di bidang ilmu Biologi dari ITB tahun 2002, dengan topik tesis Bioremediasi *Sludge* Minyak Bumi dengan Teknik *Land Farming* dalam Skala Laboratorium; dan gelar Doktor (Dr.) di bidang ilmu Biologi dari ITB pada tahun 2012 dengan topik disertasi Analisis Gas Hasil Degradasi Minyak Bumi oleh Bakteri Hidrokarbonoklastik.

Mengikuti beberapa pelatihan dan pendidikan nonformal yang terkait dengan kompetensi di bidang nuklir dan mikrobiologi

serta manajemen, antara lain *Leadership Development Program* (2015), *Research Management Training – MDF Training and Consultancy*, Belanda (2015), *Pelatihan Manajemen Pengetahuan Nuklir – Mark Plus* (2019), *RCA Methodologies and Mechanism for Screening Against Abiotic Stresses – IAEA* (2019), *ASEAN Workshop on 4th Industrial Revolutions: AI Implementation in Energy Efficiency, Cyber Security, and Agriculture – ASEAN* (2020), *Joint Symposium between Indonesia-Japan on Nuclear Applications – JAEA* (2020), dan *Program Research and Innovation in Science and Technology Project (RISET-Pro)* tentang Resterilisasi APD Bekas Pakai dengan Menggunakan Iradiasi Gamma (2020), *National Seminar for Senior Manager on Nuclear Security Culture* (2022), *Leadership 5.0 Agile People Development Smart Decision with Data-Mark Plus* (2022), *Application of Next Generation Sequencing for Rhizosfer Microbes Population on Batan Superior Variety to Support Food Security – Inbio* (2022).

Sejak tahun 2002 hingga 2024 telah mengikuti kegiatan yang diselenggarakan oleh IAEA, FNCA, dan lainnya untuk *training course* dan *meeting*. Sebagai pembicara dan undangan terkait aplikasi teknologi nuklir di bidang pertanian, biologi, dan mikrobiologi di dalam negeri. Pada tahun 2006 memperoleh penghargaan Atom Award dan tahun 2015 sebagai 108 Inovator untuk Karya Inovasi Formulasi Mikroba Cairan Rumen untuk Peningkatan Volume Gas Metana Batubara (GMB).

Sedang menduduki jabatan sebagai Kepala Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi sejak tahun 2022 – sekarang. Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Pertama tahun 2005, Peneliti Muda golongan III/c tahun 2005, Peneliti Madya golongan IV/a tahun 2009, dan Peneliti Ahli Utama golongan IV/c bidang Mikrobiologi Radiasi dan Paduan tahun 2023 dengan

Scopus h-index mencapai nilai 7 (Juni 2025). Menghasilkan 126 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk jurnal, prosiding, buku dan bagian buku. Sebanyak 48 dari 126 KTI ditulis dalam bahasa Inggris. Sampai dengan tahun 2025 menghasilkan 3 hak cipta, 5 paten, dan 1 lisensi.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing jabatan fungsional peneliti di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) dan BRIN, serta pembimbing dan penguji skripsi/tesis/disertasi di lembaga pendidikan di Indonesia. Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu Himpunan Ilmuwan Peternakan Indonesia (HILPI) sebagai Pengurus Bidang Diseminasi, Publikasi dan IT (2019-2023), sebagai anggota di HILPI, Mikoia. Persatuan Biologi Indonesia, Himpunan Peneliti Indonesia (HIMPENINDO), Perhimpunan Periset Indonesia (PPI), dan *Applied Microbiology International*. Menerima tanda penghargaan dari Presiden Republik Indonesia, yaitu Satyalancana Karya Satya X Tahun (tahun 2012) dan XX Tahun (tahun 2022).

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assaalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset yang mulia dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur kehadiran Allah SWT. atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah Pengukuhan Profesor Riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

“TEKNOLOGI NUKLIR DALAM MIKROBIOLOGI
BIDANG PERTANIAN, KESEHATAN,
LINGKUNGAN DAN ENERGI”

Pada orasi ini, akan disampaikan *state of art* tentang peran iptek nuklir di bidang mikrobiologi. Hal ini mencakup penjelasan tentang bagaimana teknologi nuklir berupa radiasi, perunut, dan deteksi serta bioprospeksi dapat berkontribusi menghasilkan produk yang bermanfaat untuk masyarakat dan industri. Orasi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang bagaimana integrasi teknologi nuklir dalam penelitian dan pengembangan riset mikrobiologi di bidang pertanian, kesehatan, lingkungan, dan energi.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

I. PENDAHULUAN

Mikrobiologi adalah suatu bidang ilmu yang mempelajari mikroorganisme seperti bakteri, arkea, fungi, protozoa, alga, dan virus yang turut andil besar dalam kehidupan manusia. Ilmu ini terus berkembang sesuai dengan perkembangan zaman baik dasar atau terapan. Mikrobiologi dasar menjawab pertanyaan mengenai biologi mikroorganisme, sedangkan mikrobiologi terapan mengacu pada penggunaan mikroorganisme untuk aplikasi di berbagai bidang, seperti pertanian, kesehatan, lingkungan, dan energi (Verma & Srivastav, 2017).

Dalam membangun riset mikrobiologi yang kuat diperlukan teknologi pendukung. Salah satu teknologi yang turut berperan adalah teknologi nuklir. Teknologi nuklir adalah suatu teknologi yang berkaitan dengan inti atom, atau dengan energi yang dilepaskan ketika inti-inti tersebut dibelah (fisi) atau digabungkan (fusi). Teknologi nuklir saat ini tidak hanya bersumber dari radioaktif tapi juga dapat berasal dari akselerator yang berbasis listrik (McEvoy et al., 2023). Riset mikrobiologi yang menggunakan teknologi nuklir dapat terakselerasi sehingga dihasilkan produk-produk yang menjadi kebutuhan masyarakat dan industri.

Teknologi nuklir dalam ilmu mikrobiologi dapat berperan di level riset dasar maupun terapan. Salah satu peran di level dasar adalah pemanfaatan isotop radioaktif dan stabil sebagai perunut untuk menjelaskan jalur metabolisme dalam sistem sel dan perannya di lingkungan yang sebelumnya teknologi non-nuklir belum dapat menjawab hal tersebut. Dalam percobaan perunut isotop, substrat diberi label pada posisi tertentu dengan

isotop dan setelah bereaksi dengan enzim, posisinya dalam produk ditentukan sehingga memungkinkan penelusuran jalur biokimia dan fluks metabolik secara akurat (Adrian & Marco-Urrea, 2016). Dalam riset terapan, teknologi nuklir radiasi dapat digunakan secara langsung untuk penentuan dosis sterilisasi (Harrington et al., 2020; Sugoro, 2021) atau pasteurisasi (Ghaisani et al., 2023) suatu produk yang sebelumnya diproses secara kimiawi dan menghasilkan residu. Secara langsung teknologi nuklir juga digunakan untuk mengetahui efek radiasi terhadap mikroorganisme untuk menghasilkan mutan yang menguntungkan (Oladosu et al., 2016). Secara tidak langsung, radiasi digunakan untuk modifikasi material sehingga mudah dimanfaatkan mikroorganisme dan dihasilkan produk yang maksimal (Indiarto et al., 2020; Sugoro et al., 2012).

Selama karir menjadi peneliti, penelitian yang telah dilakukan berhubungan dengan pemanfaatan teknologi nuklir dalam riset mikrobiologi di bidang pertanian, kesehatan, lingkungan, dan energi. Dalam bidang pertanian, teknik perunut digunakan untuk mengetahui formulasi pemupukan yang tepat sehingga mikroorganisme penyubur tanah dapat hidup dengan baik (Sajimin et al., 2017; Zain et al., 2018) dan teknik iradiasi digunakan untuk sterilisasi dan meningkatkan kualitas bahan pembawa pupuk (Gandanegara et al., 2002). Di bidang peternakan, teknik perunut digunakan untuk menganalisis sintesis protein mikroorganisme rumen (Sugoro, 2009), sedangkan teknik radiasi digunakan untuk menghasilkan mutan-mutan unggul dari probiotik khamir (Sugoro & Mellawati, 2004a), sterilisasi bahan pembawa (Sugoro, 2009), dan tanaman pakan yang akan mempermudah mikroorganisme rumen memanfaatkannya (Firsoni et al., 2003; Imanda et al., 2016; Sugoro et al., 2003, 2014; Wahyono et al., 2019) serta menghasilkan bahan vaksin

bakteri untuk pencegahan mastitis (Hermanto & Sugoro, 2008; Tuasikal et al., 2003).

Di bidang kesehatan, teknik radiasi yang banyak berperan terutama untuk sterilisasi alat kesehatan (Fitriana et al., 2021; Sugoro et al., 2020) dan menginaktivasi mikroorganisme patogen untuk bahan vaksin (Sugoro & Djajanegara, 2011; Syaifudin et al., 2011) serta sterilisasi antibodi (Syaifudin et al., 2021). Di bidang lingkungan, teknik radiasi berperan dalam menginaktivasi bakteri (Pikoli et al., 2017; Rahmani et al., 2019) dan modifikasi materil yang mampu menghambat metanogen (Sugoro et al., 2019; Sugoro et al., 2016), serta deteksi logam berat yang berkorelasi dengan mikroorganisme di saluran pencernaan (Elfidasari et al., 2023). Di bidang energi, teknik radiasi digunakan untuk menghasilkan bahan baku berkualitas seperti untuk fermentasi produk etanol (Widyawati et al., 2022) atau batubara cair (Sugoro et al., 2013), sedangkan teknik perunut digunakan untuk mengetahui efisiensi penguraian media oleh mikroorganisme (Sugoro et al., 2011).

Riset yang sedang dikembangkan saat ini, lebih terkait dengan bioprospeksi mikroorganisme dari lingkungan radiasi sebagai agen bioremediasi limbah nuklir dan radioprotektor. Lingkungan radiasi yang berpotensi untuk riset tersebut diantaranya tanah radiasi alam tinggi seperti Mamuju, Tual, dan Biak. Sumber lainnya yaitu lingkungan tercemar radioaktif, reaktor (air dan dinding kolam primer), penampungan bahan bakar nuklir bekas (air, dinding, lantai, dan rak), dan irradiator (air dan dinding) (Sugoro et al., 2023).

Dalam riset yang telah dilakukan, ada 4 kata kunci teknologi nuklir, yaitu radiasi, perunut, deteksi, dan bioprospeksi. Oleh karena itu, judul orasi ilmiah ini adalah “Teknologi Nuklir dalam

Mikrobiologi di Bidang Pertanian, Kesehatan, Lingkungan dan Energi ”. Dalam orasi ini, iptek nuklir akan diuraikan perannya dalam riset mikrobiologi yang menghasilkan produk, khususnya di bidang pertanian, kesehatan, lingkungan, dan energi.

II. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI NUKLIR DALAM MENUNJANG RISET MIKROBIOLOGI

Teknologi nuklir banyak dimanfaatkan untuk menunjang riset dan aplikasi mikrobiologi di industri. Ada empat pemanfaatan teknologi nuklir, yaitu teknik radiasi, perunut, deteksi, dan bioprospeksi. Radiasi dapat dihasilkan dari sumber radioaktif dan listrik. Perunut menggunakan sumber radioaktif atau isotop stabil yang berasal dari alam atau buatan. Deteksi menggunakan efek paparan radiasi untuk mengidentifikasi suatu unsur. Bioprospeksi lebih ke arah pemanfaatan mikroorganisme dari lingkungan radiasi. Dalam bab ini akan diuraikan mengenai perkembangan teknologi nuklir dalam menunjang riset mikrobiologi.

A. Radiasi

Radiasi adalah energi yang dipancarkan dari suatu sumber dan bergerak melalui ruang atau tidak membutuhkan medium untuk berpindah. Radiasi dapat berbentuk gelombang elektromagnetik (cahaya tampak, sinar-X, gelombang radio atau sinar gamma) atau partikel (alfa, beta, atau neutron). Sumber radiasi dapat berasal dari sumber alami (matahari, tanah, atau batuan radioaktif) atau buatan manusia (reaktor nuklir atau akselerator). Pada awal 1900-an, studi radiasi menjadi upaya ilmiah yang diterima secara luas dan berdampak pula pada riset mikrobiologi. Jenis radiasi yang banyak digunakan dalam riset mikrobiologi adalah radiasi gamma, elektron, dan sinar-X. Radiasi gamma terdiri dari foton yang dihasilkan oleh peluruhan inti radioaktif (misalnya ^{60}Co

dan ^{137}Cs) sehingga laju dosis diatur oleh peluruhan tersebut. Foton merupakan tipe radiasi pengion, tidak memiliki massa, dan dapat menembus lebih dalam ke dalam materi. Produk dengan kepadatan sedang hingga tinggi sangat ideal untuk pemrosesan gamma. Keuntungan lain pemanfaatan radiasi gamma adalah metode dingin (peningkatan suhu sangat sedikit). Radiasi berkas elektron mengacu pada elektron berenergi tinggi yang dihasilkan oleh mesin akselerator. Elektron memiliki massa sehingga penetrasinya dibatasi oleh energi. Hal ini membuat penggunaan teknologi berkas elektron sangat berguna untuk produk dengan kepadatan rendah hingga sedang. Berkas elektron sangat cocok untuk produk sensitif karena dosisnya dapat diberikan secara signifikan lebih cepat daripada gamma atau sinar-X. Sinar-X dihasilkan melalui penggunaan akselerator berkas elektron yang digabungkan dengan target logam. Ketika elektron mengenai target logam, sinar-X tercipta. Sinar-X juga terdiri dari foton (tetapi dengan energi yang berbeda dari gamma), sehingga sinar-X juga berpotensi cocok untuk produk dengan kepadatan sedang hingga tinggi. Laju dosisnya juga lebih tinggi daripada gamma, karena sinar-X juga bertenaga mesin, tetapi terbatas atau lebih lambat dibandingkan dengan berkas elektron (Baatout, 2023).

Riset pemanfaatan radiasi di bidang mikrobiologi dibagi menjadi dua jenis, yaitu secara langsung atau tidak langsung. Secara langsung dilakukan dengan memaparkan radiasi terhadap material yang mengandung mikroorganisme dengan tujuan membunuh mikroorganisme dalam suatu materi untuk sterilisasi atau pasteurisasi. Teknik sterilisasi dapat menghancurkan baik sel vegetatif maupun spora mikroorganisme, tetapi pasteurisasi digunakan untuk menekan pertumbuhan mikroorganisme dan hanya dapat menghancurkan sel vegetatif mikroorganisme dan

bukan spora (Taub, 2001). Selain itu, paparan radiasi dapat diberikan pula secara langsung terhadap mikroorganisme yang diharapkan dapat menghasilkan mutan bermanfaat (Manikandan et al., 2022; Sugoro, 2009).

Pemanfaatan secara tidak langsung adalah memaparkan radiasi terhadap suatu materi sehingga memiliki fungsional yang lebih baik akibat perubahan struktur ikatan kimianya, misalnya untuk media pertumbuhan mikroorganisme (Almugren et al., 2023; Sugoro & Pikoli, 2006; Sukmadewi et al., 2021). Hal lainnya adalah membuat media tumbuh dan wadah kultur menjadi lebih higienis atau bebas kontaminan (Harrell et al., 2018; STERIS, 2018). Efek radiasi terhadap mikroorganisme dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada target kritis yaitu DNA. Sel mikroorganisme dapat mengalami kematian, inaktif atau mutasi (Tetrian & Sugoro, 2007). Radiasi gamma juga dapat mengubah polimer, dan menyebabkan pemutusan rantai dan ikatan silang untuk menghasilkan produk fungsional. Produk riset dari pemanfaatan radiasi ini dapat dimanfaatkan untuk bidang pertanian, pangan, kesehatan, energi, lingkungan dan pertahanan (Chmielewski, 2023).

Pemanfaatan radiasi gamma sebagai radiasi pengion untuk membunuh bakteri dalam makanan telah dipatenkan pada tahun 1905 di AS dan Inggris. Selanjutnya pada tahun 1947, peneliti menemukan bahwa energi tinggi dapat mensterilkan daging dan makanan lainnya. Pada tahun 1958, pabrik iradiasi makanan komersial pertama dipasang di Stuttgart, Jerman, yang memproses rempah-rempah. Pada tahun 1963, iradiator gamma pertama dipasang di AS untuk memproses dan mensterilkan peralatan medis. Pada tahun 1964, Badan Tenaga Atom Kanada meresmikan fasilitas sterilisasi ^{60}Co industri pertama untuk mensterilkan jahitan bedah. Saat ini, 40–50% produk medis

sekali pakai yang diproduksi di negara maju disterilkan dengan radiasi dan terdapat lebih dari 200 iradiator gamma di seluruh dunia yang beroperasi untuk berbagai keperluan. Perserikatan Bangsa-Bangsa juga membentuk Komite Ahli Gabungan untuk Iradiasi Makanan. Food and Drug Administration (FDA) memberikan izin untuk perluasan penggunaan iradiasi dalam pasokan makanan AS pada tahun 1986. Sumber radioaktif yang digunakan berupa ^{60}Co dan ^{137}Cs yang memancarkan radiasi utama berupa sinar gamma selama peluruhannya. Radiasi gamma merupakan pilihan yang lebih kuat daripada radiasi beta karena memiliki panjang gelombang yang lebih pendek, sehingga menghasilkan energi yang lebih tinggi dan daya rusak yang lebih besar (Eustice, 2017).

Sampai saat ini, Indonesia memiliki 3 fasilitas iradiator gamma untuk industri yang dikelola oleh BRIN, yaitu IRKA di Jakarta dan IGMP di Serpong, dan 1 iradiator milik PT Rel-Ion di Bekasi. Selain itu, BRIN juga memiliki 3 iradiator gamma untuk riset, yaitu Gamma Cell, Gamma Chamber, dan Irapasena. Semua iradiator menggunakan sumber radioaktif ^{60}Co . Dalam skala industri, jenis produk yang memanfaatkan teknik iradiasi ini bermacam-macam, seperti produk pangan segar atau olahan, herbal, alat kesehatan, wadah kosmetik, dan wadah makanan. Selain untuk sterilisasi, iradiasi gamma juga digunakan untuk pasteurisasi pangan (segar atau olahan) dan herbal dengan tujuan mereduksi jumlah kontaminan mikroorganisme (Mašić & Vujčić, 2021). Iradiator gamma riset dimanfaatkan untuk menentukan dosis iradiasi produk yang tepat dan nantinya akan menjadi acuan di iradiator gamma skala industri. Iradiator ini juga digunakan untuk riset mutasi tanaman dan modifikasi material serta mutasi dan inaktivasi mikroorganisme. Selain iradiator gamma, BRIN memiliki fasilitas akselerator elektron energi tinggi (AEET) di

KST G.A. Siwabessy, Jakarta yang masih tahap komisioning, sedangkan di sektor swasta akselerator dimiliki oleh PT Sterina dan Oneject Indonesia dan telah beroperasi untuk pasteurisasi dan sterilisasi serta modifikasi produk.

B. Perunut

Teknologi perunut isotop digunakan untuk mempelajari mikroorganisme dengan melacak aktivitas, fungsi, dan proses metabolismenya. Isotop yang digunakan dapat bersifat radioaktif (radioisotop) atau stabil (isotop stabil). Isotop radioaktif dilacak berdasarkan jenis radiasi yang dipancarkan, seperti gamma, beta, atau alfa, sedangkan isotop stabil dilacak berdasarkan perbedaan berat massanya. Dari sumber asalnya, isotop yang digunakan dapat diperoleh dari alam atau buatan (artifisial) (Kropacheva et al., 2017). Isotop alam terdapat secara alami di bumi dan dapat bersifat stabil atau radioaktif. Isotop buatan diproduksi dengan menembak inti stabil dengan partikel bermuatan atau neutron. Proses ini dapat dilakukan dengan menggunakan reaktor nuklir (Risovanyi, 2020) atau siklotron (Braccini & Alves, 2019).

Isotop dapat digunakan untuk melabeli mikroorganisme atau senyawa target. Pelabelan pada sel mikroorganisme biasanya untuk mengetahui distribusinya pada suatu sistem. Contoh isotop yang digunakan seperti radioisotop ^{32}P dan ^{15}N yang akan terinkorporasi pada DNA atau membran sel mikroorganisme (Sugoro et al., 2015). Pelabelan pada senyawa target digunakan untuk mengetahui laju pertumbuhan (^{32}P dan ^{15}N) (Lanpher & Popenorf, 2022); (Andriukonis & Gorokhova, 2017), interaksi mikroorganisme (^{32}P dan ^{18}O) (Siegenthaler et al., 2020), jalur fotosintesis (^{14}C , ^{13}C , ^{11}C , dan ^3H), analisis protein mikroba (^{32}P , ^{35}S , ^3H , ^{14}C , dan ^{15}N) (Sugoro et al., 2015), sintesis DNA

($^{32}\text{P}/^{15}\text{N}$) (Syaifuddin & Alatas, 2016), diagnostik (^{14}C) (Dar et al., 2021), infeksi bakteri dan resistensi antimikroba (^{18}F , ^{11}C , ^{124}I , dan ^{68}Ga). Tren saat ini lebih mengarah ke pemanfaatan isotop stabil alam (^{13}C , ^2H , ^{18}O , ^{15}N , dan ^{34}S), sebagai perunut untuk mengetahui peran mikroorganisme di alam atau dikenal dengan istilah biogeokimia, yang akan menginformasikan proses yang terjadi di lingkungan, peran mikroorganisme di lingkungan, pola konsorsium, dan jalur metabolisme (Adrian & Marco-Urrea, 2016).

Radioisotop dapat diukur dengan menggunakan detektor Geiger-Mueller (radiasi beta dan gamma), NaI (gamma), dan *liquid scintillation counter* (LSC/beta dan gamma). Isotop stabil dianalisis menggunakan *liquid chromatography-mass spectrometry* (LC/MS), *isotope ratio mass spectrometry* (IRMS), dan IRM-LC/MS. Untuk pencitraan dapat menggunakan alat seperti *positron emission tomography/computed tomography* (PET/CT), *single-photon emission computed tomography/computed tomography* (SPECT/CT), atau *positron emission tomography/magnetic resonance* (PET/MR) (Mota et al., 2020; Perini & Bontempo, 2022).

C. Deteksi Nuklir

Teknologi nuklir dapat digunakan untuk mendeteksi unsur yang terkandung di dalam sel atau jalur metabolisme mikroorganisme. Salah satu teknik deteksi nuklir adalah *neutron activation analysis* (NAA) untuk penentuan unsur secara kualitatif dan kuantitatif berdasarkan pengukuran radiasi karakteristik dari radionuklida yang terbentuk akibat penyinaran neutron terhadap material. Tingkat energi mengidentifikasi elemen dan tingkat

aktivitas menunjukkan kelimpahannya. Aktivasi neutron dapat digunakan untuk penentuan Ca, K, P, N, Mg, dan Na. Analisis aktivasi neutron dapat dilakukan dengan berbagai cara. Hal ini bergantung pada unsur dan tingkat radiasi terkait yang akan diukur, serta pada sifat dan tingkat gangguan dari unsur lain yang ada dalam sampel. Sebagian besar metode yang digunakan bersifat non-destruktif, berdasarkan deteksi radiasi gamma yang dipancarkan oleh material yang disinari setelah atau selama penyinaran. Level konsentrasi yang dapat dideteksi oleh metode ini sampai dengan ppb (10^{-9}) (Smith et al., 2022).

Metode NAA telah berhasil mendeteksi kandungan unsur sel bakteri pada fase vegetatif atau spora sehingga dapat menentukan kandungan mineral di dalam media untuk kedua fase tersebut. Metode ini telah terbukti ideal untuk mempelajari penyerapan dan pengeluaran elemen mineral selama pertumbuhan vegetatif dan metabolisme sekunder sporulasi. Selain itu, metode ini dapat digunakan untuk mengetahui efek paparan suatu logam terhadap sel dan absorpsi logam (Hermanto & Sugoro, 2009; Sugoro & Mellawati, 2004b).

Selain NAA, teknik deteksi lainnya yang memanfaatkan radiasi adalah *X-ray diffraction* (XRD) dan *X-ray Fluorescence* (XRF) yang umum digunakan dalam analisis material. XRD digunakan untuk mempelajari struktur kristal material, sedangkan XRF digunakan untuk menentukan komposisi unsur material. Dalam riset mikrobiologi, keduanya berperan penting dalam mengkarakterisasi material sel, produk metabolit mikroorganisme dan unsur baik di dalam atau di luar sel (Husain et al., 2024). Teknologi XRF dapat dimanfaatkan untuk nanotomografi, yaitu teknik pencitraan berdasarkan data konsentrasi distribusi dan jejak unsur dalam sel biologis pada

skala nano. Nanotomografi XRF telah berhasil digunakan untuk mencitrakan distribusi unsur dalam sel bakteri *E. coli* (Victor et al., 2018).

D. Bioprospeksi Radiasi

Bioprospeksi radiasi merupakan proses eksplorasi mikroorganisme dari lingkungan alami dan buatan untuk menemukan potensi bioteknologi yang memiliki efek menguntungkan bagi manusia. Teknologi nuklir yang digunakan dalam bioprospeksi ini melibatkan pemanfaatan radiasi untuk induksi senyawa khas akibat paparan radiasi dan kemampuan radiotolerannya serta menemukan agen bioremediasi (Sugoro et al., 2023). Proses bioprospeksi radiasi umumnya terdiri dari empat fase. Fase pertama adalah pengumpulan sampel. Fase kedua adalah riset multidisiplin ilmu. Fase ketiga adalah skrining untuk tujuan tertentu. Fase terakhir mencakup pengembangan produk dan komersialisasi, seperti pembuatan paten, uji coba produk, strategi penjualan dan pemasaran (Nambisan, 2017).

Pada bioprospeksi radiasi, sumber-sumber yang dipilih untuk memperoleh mikroorganisme adalah tempat dengan paparan radiasi tinggi, baik lingkungan alami (air, tanah, pasir, dan batuan) atau buatan (reaktor nuklir, iradiator, fasilitas penanganan limbah radioaktif, dan akselerator). Lingkungan tersebut umumnya mengandung mikroorganisme dengan kemampuan unik untuk bertahan di kondisi ekstrem, khususnya radiasi (Sugoro et al., 2023b). Untuk mengetahui potensinya dibutuhkan pendekatan multidisipliner yang melibatkan berbagai disiplin ilmu, seperti mikrobiologi, biokimia, bioinformatika, genomik, proteomik, metabolomik, dan epigenomik. Saat ini, riset terkait bioprospeksi radiasi pada mikroorganisme masih

terbatas. Bioprospeksi mikroorganisme (bakteri, fungi, dan alga) secara umum menunjukkan kontribusi positif di berbagai bidang, seperti pertanian melalui pengembangan biofertilizer, kesehatan dengan penemuan senyawa bioaktif, dan lingkungan melalui bioremediasi, serta energi dengan pemanfaatan biomassa, bioetanol, biodiesel, biogas, dan biohidrogen (Verma & Shah, 2022).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

III. RISET MIKROBIOLOGI BERBASIS TEKNOLOGI NUKLIR DI BIDANG PERTANIAN, KESEHATAN, LINGKUNGAN, DAN ENERGI

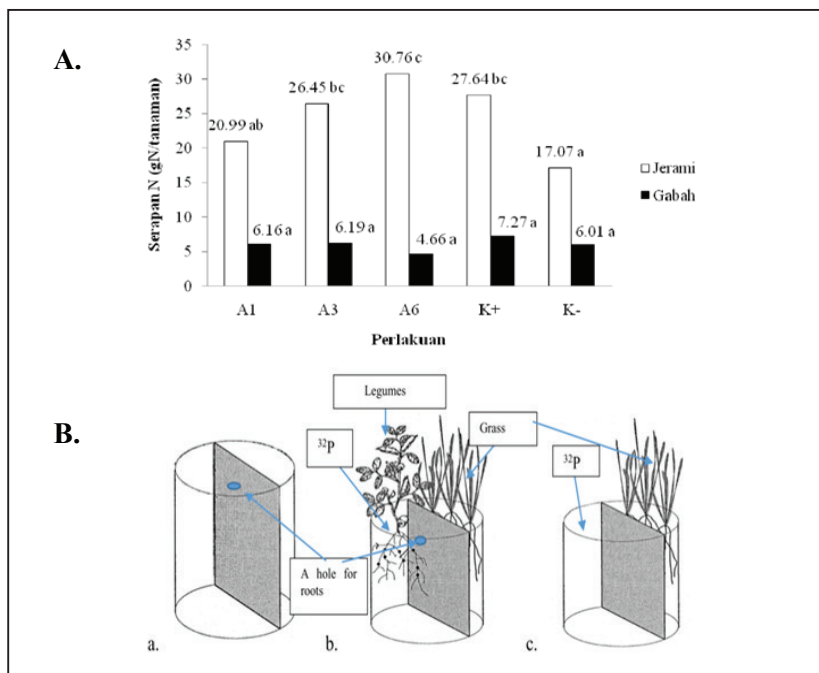
Riset mikrobiologi dapat diakselerasi dengan menggunakan teknologi nuklir berupa radiasi, perunut, dan deteksi serta bio-prospeksi. Riset tersebut dapat menghasilkan produk yang dapat dimanfaatkan di bidang pertanian, kesehatan, lingkungan dan energi. Berikut ini disampaikan saripati hasil riset tersebut beserta peluang pemanfaatannya di masa mendatang.

A. Riset Mikrobiologi Berbasis Teknologi Nuklir di Bidang Pertanian

Teknologi nuklir memiliki peran dalam riset mikrobiologi di bidang pertanian seperti pemupukan, peternakan, perikanan, pengawetan pangan, dan deteksi unsur. Peran teknologi nuklir berada di hulu berupa riset dasar dan hilir berupa aplikasi langsung di industri. Teknologi nuklir yang dimanfaatkan berupa radiasi, perunut dan deteksi, baik untuk riset dasar atau terapan.

Aplikasi teknologi nuklir dalam riset mikrobiologi untuk pemupukan melibatkan pemanfaatan radiasi dan perunut isotop. Radiasi gamma digunakan untuk meningkatkan kualitas dan sterilisasi media pembawa, seperti alginat yang diiradiasi hingga dosis 75 kGy untuk melepaskan senyawa pengatur tumbuh. Alginat hasil iradiasi ini dapat digunakan untuk menyimpan spora *Trichoderma harzianum* (Nurobifahmi et al., 2018) atau mengenkapsulasi spora fungi dan bakteri sehingga memperpanjang masa simpan pupuk hayati (Pitaktamrong et al., 2018). Sementara itu, teknik perunut dengan isotop ^{15}N digunakan untuk mengevaluasi efisiensi pemupukan dan efektivitas pupuk

hayati. Hasil riset menunjukkan bahwa inokulan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) meningkatkan serapan nitrogen tanaman jagung dibandingkan kontrol (Gandanegara et al., 2002; Sisworo et al., 2006). Selain itu, penelitian dengan isotop ^{15}N juga menunjukkan bahwa isolat bakteri endofit A3 meningkatkan berat kering tanaman padi dan jumlah malai (Zain et al., 2018). Teknik perunut dengan radioisotop ^{32}P juga digunakan untuk mengetahui laju penyerapan fosfor oleh tanaman, menunjukkan adanya translokasi fosfor dari legum ke rumput dalam sistem tumpang sari (Gambar 1) (Khoshru et al., 2023; Sajimin et al., 2017).

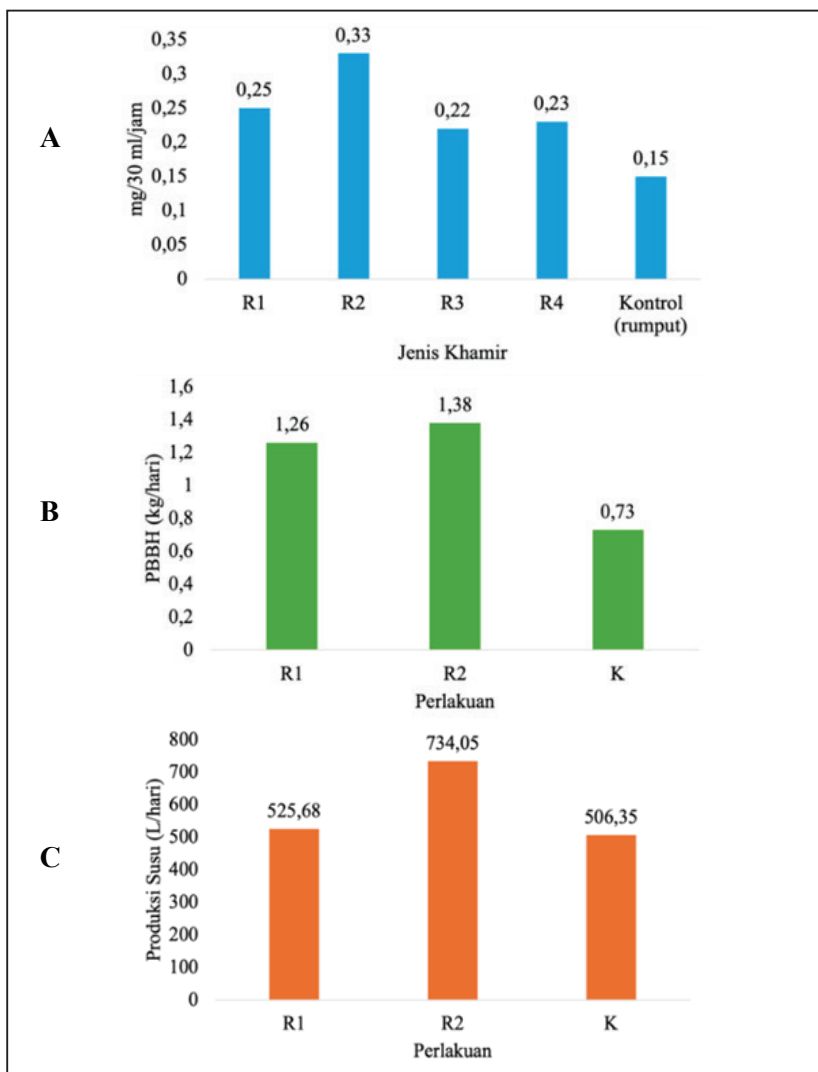


Sumber: A. Zain et al. (2018); B. Sajimin et al. (2017).

Gambar 1. A. Pemupukan menggunakan metode perunut dengan isotop ^{15}N dan ^{32}P : kontribusi nitrogen dari bakteri endofit pada tanaman padi; B. Kontribusi legum terhadap penyerapan fosfor oleh *Panicum maximum* cv Riversdale dalam sistem tumpangsari.

Dalam bidang peternakan, radiasi gamma dapat digunakan untuk menghasilkan mutan mikroorganisme dengan sifat unggul, seperti regenerasi yang lebih tinggi (Sugoro, 2006a). Contoh produk yang dihasilkan adalah probiotik BIOS K2 (Imanda et al., 2016; Sugoro & Wahyono, 2016) yang mengandung khamir dari jenis *Saccharomyces cerevisiae* (Sugoro, 2006b; Sundari & Sugoro, 2006) hasil mutasi iradiasi gamma (Sugoro, 2006a, 2010). Probiotik ini terbukti meningkatkan kinerja pencernaan ternak ruminansia dengan menjaga keseimbangan mikroorganisme di saluran pencernaan (Sugoro, 2010; Sugoro et al., 2014; Sugoro et al., 2005; Sugoro & Pikoli, 2004; Sugoro & Wahyono, 2016), serta meningkatkan sintesis protein mikroba rumen hingga 56% berdasarkan data persentase inkorporasi ^{32}P (Sugoro, 2010b) (Gambar 2A). Hasil pengukuran dengan metode NAA menunjukkan probiotik ini juga mengandung mineral penting seperti Fe, Sc, Na, Zn, dan Co yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme (Sugoro & Mellawati, 2004a). Penggunaannya dapat meningkatkan berat badan harian ternak sapi hingga 89% (Sugoro & Wahyono, 2016) (Gambar 2B) dan produksi susu hingga 31–45% (Sugoro, 2010) (Gambar 2C). Probiotik ini dapat diaplikasikan secara langsung dalam bentuk cair atau diimobilisasi dengan bahan pembawa yang sebelumnya dipasteurisasi dengan radiasi gamma untuk memperpanjang masa simpan (Imanda et al., 2016; Sasongko & Sugoro, 2004; Sugoro et al., 2005; Sugoro & Pikoli, 2004).

Selain itu, radiasi gamma digunakan untuk meningkatkan kualitas hijauan hasil mutasi, seperti sorgum, rumput gajah, dan padi yang meningkatkan kualitas pakan dan fermentasi rumen, sehingga mendukung pertambahan berat badan ternak (Hermawati et al., 2022; Shafifi et al., 2022; Wahyono et al., 2022). Teknik isotop digunakan untuk mempelajari penyerapan nitrogen dan fosfor serta peran mikroorganisme dalam dekom-



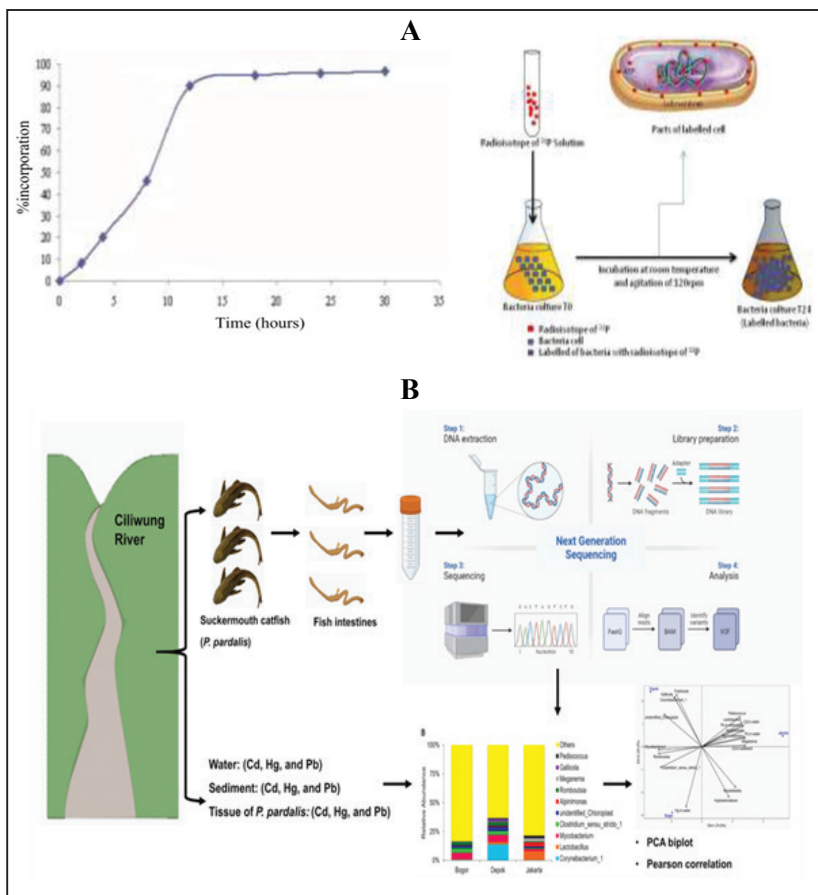
Sumber: A. Sugoro (2010b); B Sugoro (2016); C. Sugoro (2010)

Gambar 2. A. Sintesis protein mikroorganisme cairan rumen dengan menggunakan isotop ^{32}P ; B. Pertambahan bobot badan harian (PBBH) Sapi PO; C. Produksi susu harian sapi FH yang disuplementasi probiotik khamir.

posisi pakan (Pikoli et al., 2017; Rahmani et al., 2019; Sugoro et al., 2021). Isotop ^{125}I diaplikasikan untuk mengetahui kandungan tanin dalam riset reduksi protozoa (Sugoro & Yunianto, 2006), produksi gas dan protein *by-pass* di sistem pencernaan hewan ruminansia (Sugoro, 2004).

Radiasi gamma dapat dimanfaatkan pula dalam pengembangan vaksin ternak, di mana penelitian menunjukkan bahwa iradiasi gamma pada bakteri koliform penyebab mastitis menghasilkan kandidat vaksin yang mampu meningkatkan respon imun tanpa mengubah profil protein antigen (Djajanegara & Sugoro, 2010; Hermanto & Sugoro, 2008; Sugoro & Djajanegara, 2011). Hal ini membuka peluang pengembangan vaksin ternak lokal dan mengurangi ketergantungan pada vaksin impor.

Di bidang perikanan, teknologi nuklir perunut digunakan untuk menilai viabilitas probiotik bakteri asam laktat (BAL) yang dilabeli dengan radioisotop ^{32}P pada usus ikan yang dapat membantu menentukan frekuensi optimal pemberian probiotik (Gambar 3A). Riset ini membantu efisiensi pemberian probiotik dan menekan biaya produksi. Viabilitas BAL dapat terdeteksi di usus ikan patin dan berkorelasi dengan aktivitas ^{32}P (Sugoro et al., 2015b). Teknologi nuklir juga digunakan untuk mendeteksi kandungan logam berat pada daging ikan sapu-sapu melalui analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF). Logam seperti As, Hg, Pb, dan Cd pada ikan sapu-sapu dari Sungai Ciliwung terdeteksi melebihi ambang batas yang ditetapkan (Gambar 3B) (Elfidasari et al., 2019) dan terdapat korelasi dengan keberadaan mikrobiota usus yang turut membantu ikan tersebut bertahan di lingkungan tercemar (Elfidasari et al., 2023).



Sumber: Elfidasari et al. (2023)

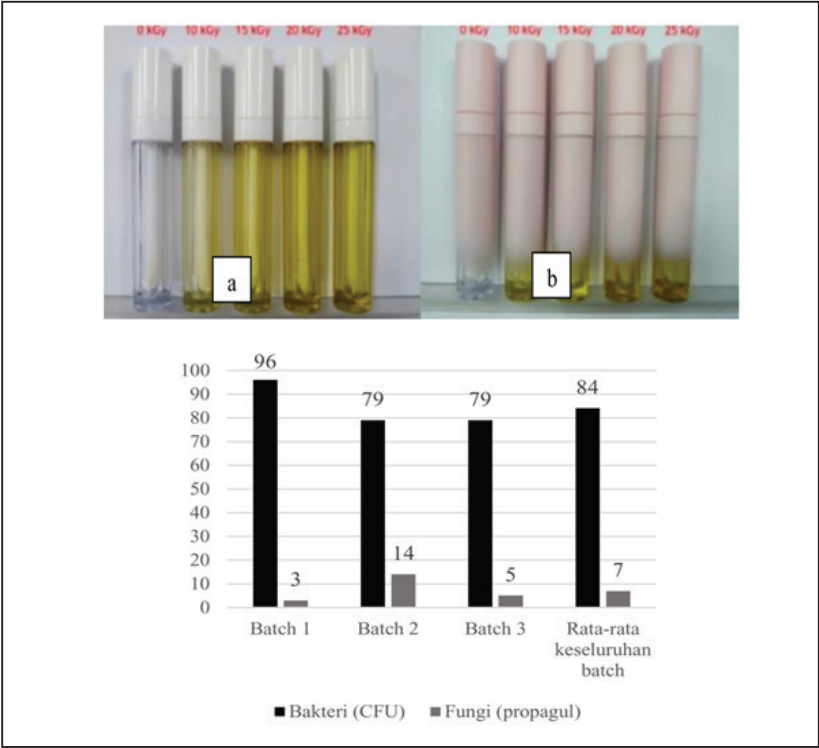
Gambar 3. A. Perunut dengan isotop ^{32}P untuk melabeli usus ikan; B. Deteksi kontaminasi Cd, Hg, dan Pb pada bakteri usus *P. pardalis* dari Sungai Ciliwung, Indonesia.

Iradiasi gamma terbukti efektif dalam berbagai aplikasi industri pangan segar atau olahan terutama untuk pasteurisasi dan sterilisasi. Percobaan dengan menggunakan ikan bawal laut segar menunjukkan bahwa jumlah mikroorganisme dapat direduksi dengan iradiasi gamma pada dosis 3 kGy (Akbar et al., 2024). Pada pengolahan ikan sapu-sapu menjadi abon, dosis 15 kGy mampu mengurangi kontaminasi mikroba, memperpanjang masa simpan, dan memenuhi standar SNI 01-3707, sekaligus mendukung keberlanjutan sumber daya perikanan (Ghaisani et al., 2023). Untuk ekspor daun pisang, iradiasi gamma dosis 250 Gy efektif memperpanjang masa simpan dan menjaga kualitasnya, sehingga memberikan panduan optimal bagi eksportir dan meningkatkan daya saing di pasar internasional (Fadilah et al., 2023). Selain itu, iradiasi gamma pada mikroalga *Spirulina platensis* meningkatkan pertumbuhan dan kadar lemaknya, meskipun tidak memengaruhi kadar protein dan asam lemak tak jenuh (Djajanegara et al., 2010).

B. Riset Mikrobiologi Berbasis Teknologi Nuklir di Bidang Kesehatan

Radiasi gamma terbukti efektif mensterilkan produk kesehatan, termasuk hazmat bekas pakai (Fitriana et al., 2021) dan masker KN95 (*repack*) (Syahputra et al., 2024). Metode ini menjadi pilihan utama selama pandemi COVID-19. Dengan menggunakan iradiasi gamma, kebutuhan akan hazmat sekali pakai dapat diminimalkan, yang pada gilirannya mengurangi limbah medis dan dampak lingkungan dari pembuangan APD yang terkontaminasi. Meskipun investasi awal untuk fasilitas iradiasi mungkin tinggi, metode ini dapat menekan biaya jangka panjang melalui penggunaan ulang hazmat, serta mendukung pengembangan protokol sterilisasi yang terstandarisasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis iradiasi gamma yang diperlukan untuk mensterilkan masker KN95 adalah 15,2 kGy, tanpa mengubah gugus fungsi, sifat termal, dan morfologi masker, meskipun terdapat penurunan pada nilai kekuatan tarik dan persentase elongasi. Perubahan warna masker KN95 juga terdeteksi dalam rentang 0,25-4,23 (Sugoro et al., 2020). Iradiasi gamma dalam industri kosmetik, efektif mensterilkan kemasan *lip gloss* dari bakteri dan fungi, tetapi dapat menyebabkan perubahan warna tanpa memengaruhi fungsionalitasnya (Gambar 4) (Purnomo et al., 2021).



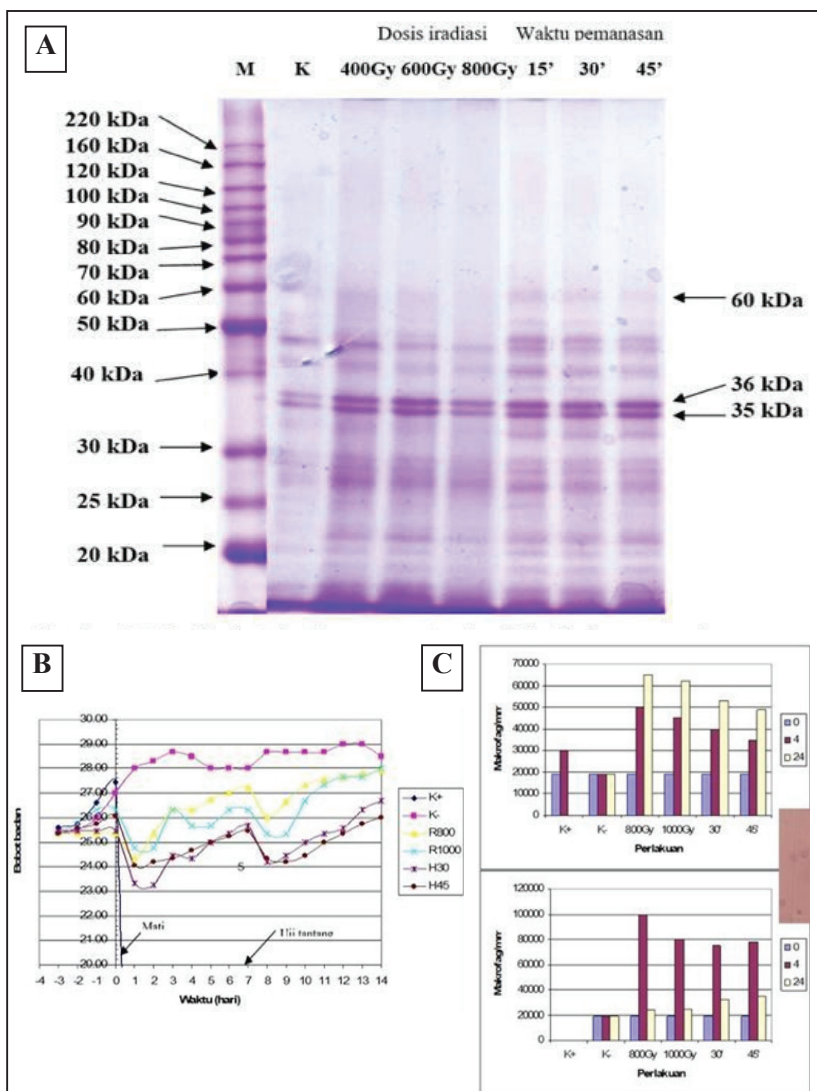
Sumber: Purnomo et al. (2021)

Gambar 4. A. Kemasan *lip gloss non-coating*; B. *Coating*; C. Setelah iradiasi gamma, serta jumlah bakteri dan jamur dari tiap batch.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Penelitian mengenai iradiasi gamma pada *Klebsiella pneumoniae* (Djajanegara & Sugoro, 2010; Sugoro et al., 2008) dan *Yersinia enterocolitica* (Sugoro & Hermanto, 2009) menunjukkan bahwa metode ini efektif untuk pengembangan vaksin. Iradiasi gamma menginaktivasi kedua bakteri patogen tersebut pada dosis tertentu, dengan *K. pneumoniae* memerlukan dosis 600–1.500 Gy (Djajanegara & Sugoro, 2010; Sugoro et al., 2008) dan *Y. enterocolitica* memerlukan dosis 800–1.500 Gy (Sugoro & Hermanto, 2009). Hasil ini menunjukkan bahwa iradiasi gamma lebih efektif dibandingkan pemanasan dalam menginaktivasi bakteri dan menghasilkan respon imun yang lebih kuat, terlihat dari peningkatan jumlah makrofag setelah vaksinasi (Gambar 5).

Vaksin inaktif ini juga memiliki profil keamanan yang baik, tidak menyebabkan kematian pada mencit sehingga cocok untuk pengujian pada hewan yang lebih besar dan manusia (Djajanegara & Sugoro, 2010). Radiasi gamma juga dimanfaatkan untuk riset vaksin malaria. Dilaporkan bahwa sporozoit *Plasmodium berghei* yang diradiasi dengan sinar-X atau sinar gamma, memberikan stimulus antigenik yang efektif untuk menginduksi respon imun protektif pada tikus dan mencit terhadap infeksi sporozoit berikutnya (James et al., 2022). Di saat pandemi COVID-19, iradiasi gamma juga dimanfaatkan untuk riset sterilisasi antiserum Immunoglobulin Y (IgY) dari telur ayam yang diinfeksi virus COVID-19 (Syaifudin et al., 2021).

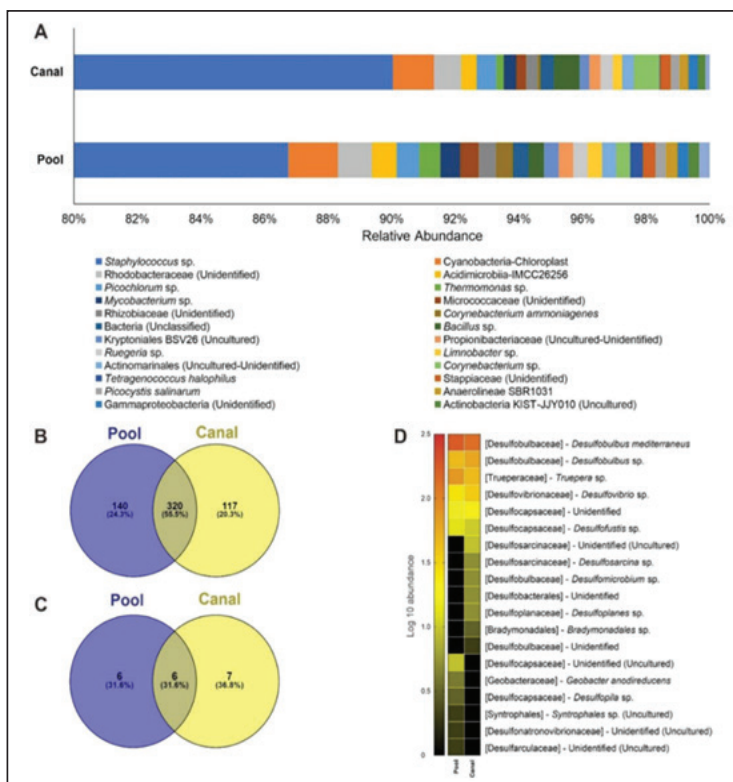


Sumber: Djajanegara & Sugoro (2010)

Gambar 5. A. Radiasi gamma untuk pengembangan vaksin inaktif: profil protein *K. pneumoniae* hasil iradiasi gamma dan pemanasan; B. Bobot mencit setelah infeksi *K. pneumoniae* hasil inaktivasi iradiasi gamma (800 dan 1000 Gy) dan pemanasan (30' dan 45'); C. Jumlah makrofag mencit setelah infeksi *K. pneumoniae*.

Desinfeksi bakteri patogen dalam pengolahan air limbah juga dapat memanfaatkan iradiasi gamma untuk standarisasi. Metode ini mampu menurunkan kelangsungan hidup bakteri seperti *E. coli* dan *Salmonella* sp. terutama pada dosis tinggi sehingga mengurangi jumlah bakteri berbahaya dalam air yang diolah. Iradiasi gamma dibandingkan metode konvensional seperti ultraviolet dan klorinasi membutuhkan energi yang jauh lebih sedikit. Teknik ini berpotensi meningkatkan keamanan dan kualitas air yang sangat penting bagi kesehatan masyarakat dan perlindungan lingkungan (Larasati et al., 2021).

Hasil analisis kelimpahan bakteri di lingkungan radiasi tinggi seperti air kolam IRKA (Sugoro et al., 2023), IPSB3 (Gambar 6) (Sugoro et al., 2023), dan kolam primer reaktor nuklir serta mikroalga di air kolam IPSB3 (Sugoro et al., 2023) menunjukkan adanya potensi sebagai agen radioprotektan. Hasil pengujian bakteri yang diisolasi dari lingkungan dengan paparan radiasi tinggi, seperti tanah radiasi alam tinggi Mamuju (Anggraeni, 2024; Shabirah, 2024), air kolam iradiator (Santiara, 2024), dan air kolam primer reaktor nuklir (Rahma, 2024) diketahui memiliki sifat radiotoleran radiasi gamma dan mampu memproduksi antioksidan sebagai bahan radioprotektan. Iradiasi gamma dapat digunakan untuk menginduksi dan mengevaluasi kemampuan bakteri tersebut dalam menghasilkan senyawa radioprotektan. Senyawa ini memiliki potensi besar dalam industri farmasi sebagai bahan obat pelindung radiasi bagi masyarakat umum, pekerja di lingkungan terpapar radiasi, dan pasien yang menjalani terapi radiasi.



Sumber: Sugoro et al. (2023)

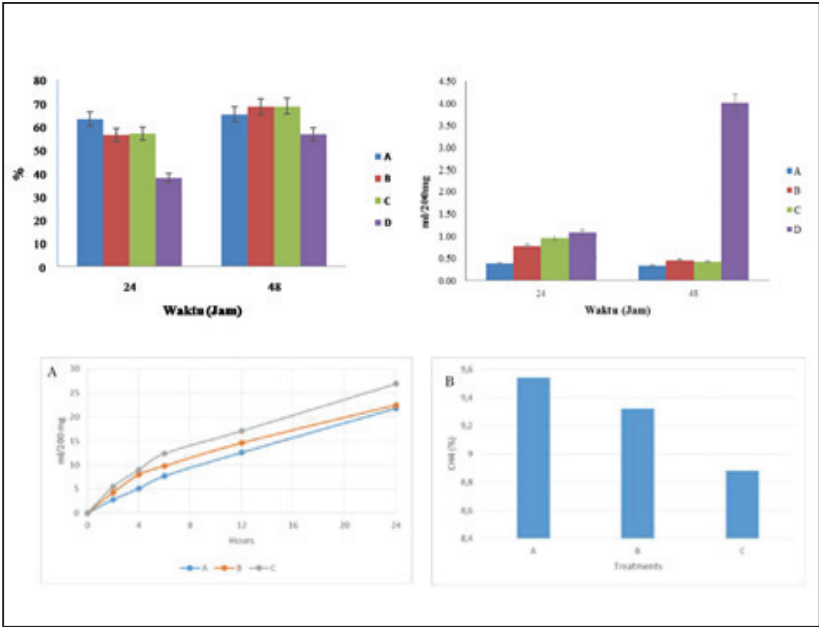
Gambar 6. Biodiversitas Bakteri Air IPSB3

C. Riset Mikrobiologi Berbasis Teknologi Nuklir di Bidang Lingkungan

Teknik radiasi dan perunut sering digunakan dalam penelitian mikrobiologi yang digunakan untuk riset yang berhubungan dengan lingkungan. Radiasi gamma dapat digunakan untuk

mengurangi gas metana pada rumen sapi dengan menginaktivasi bakteri pereduksi nitrat (NRB) (Rahmani et al., 2019). Penelitian menunjukkan bahwa NRB yang diiradiasi mampu menekan produksi metana secara signifikan, dengan penurunan hingga 41,5% dibandingkan 13,6% pada bakteri aktif (Pikoli et al., 2017) (Gambar 7). Produk berupa kitosan radiasi (fitosan) (Sugoro et al., 2019) dan residu bioetanol (vinase) sorgum juga terbukti efektif menekan produksi gas metana (Sugoro et al., 2016).

Selain pemanfaatan radiasi, perunut isotop stabil alam juga memegang peran penting dalam riset lingkungan terutama



Sumber: Pikoli et al. (2017) & Sugoro et al. (2016)

Gambar 7. Efek Radiasi Gamma terhadap Pengurangan Gas Metana oleh Bakteri Pereduksi Nitrat

terkait dengan biogeokimia atau interaksi makhluk hidup, termasuk mikroorganisme, dengan lingkungan. Informasi yang diperoleh dapat membantu manusia dalam berbagai hal, seperti mengurangi polusi, mengembangkan energi alternatif dan terbarukan, mencegah penyakit dan menciptakan obat baru, meningkatkan pertanian dan produksi pangan, serta mengelola perikanan. Isotop alam yang digunakan memiliki hubungan dengan siklus seperti C, H, O, S, P, dan K (Karl & Schlesinger, 2014).

Terkait dengan lingkungan, riset nuklir dapat diarahkan untuk mencari mikroorganisme yang mampu bertahan di lingkungan radiasi tinggi, seperti di tanah radiasi alam tinggi, air kolam iradiator, air pendingin reaktor nuklir, dan instalasi penyimpanan bahan bakar nuklir bekas. Mikroorganisme seperti bakteri dan fungi tahan radiasi dari tanah radiasi alam tinggi, air kolam primer reaktor nuklir (Sugoro et al., 2023a), dan iradiator memiliki potensi sebagai agen bioremediasi karena kemampuan mereka menyerap limbah radioaktif, seperti uranium dan thorium (Fadhlan, 2024; Mujiyanto, 2024; Robifahmi et al., 2024).

Kegiatan lainnya berhubungan dengan penanganan kontaminasi radioaktif di lingkungan dengan fitoremediasi. Metode ini menggunakan tanaman dan mikroorganisme untuk mengurangi kontaminan radioaktif dari tanah atau air. Fitoremediasi berpotensi sebagai metode berkelanjutan untuk dekontaminasi ^{137}Cs dan telah diterapkan di area terdampak nuklir seperti Chernobyl dan Fukushima. Indonesia menerapkan metode ini untuk menangani kontaminasi ^{137}Cs di tanah Kompleks Perumahan Batan Indah, Serpong. (Nurliati et al., 2024). Hasil riset awal menunjukkan bahwa tanaman bayam, pepaya, jagung, sorgum, akar wangi, dan sengon memiliki potensi sebagai agen fitoremediasi lingkungan terkontaminasi radioaktif (Yusuf et al., 2024).

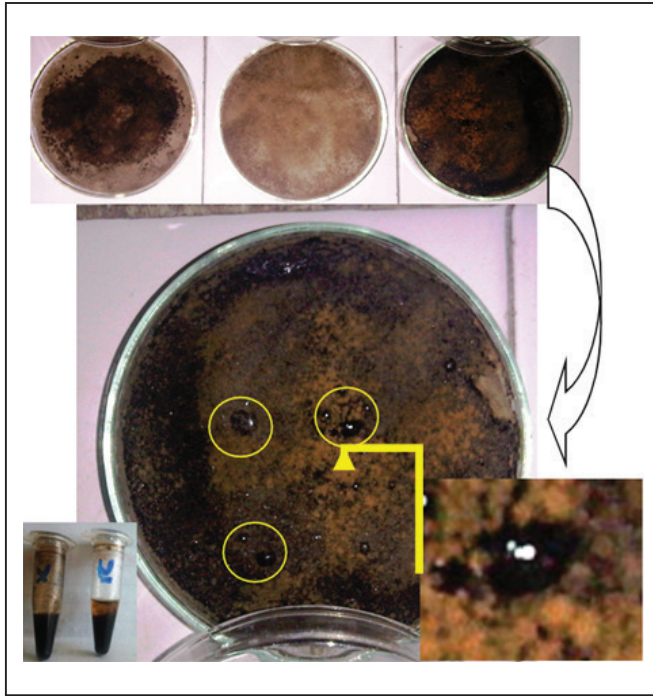
D. Riset Mikrobiologi Berbasis Teknologi Nuklir di Bidang Energi

Di bidang energi, aplikasi radiasi gamma telah menghasilkan tanaman hasil pemuliaan mutasi, seperti sorgum, tebu, dan ubi jalar yang menjadi bahan baku untuk menghasilkan bioetanol. Sintesis bioetanol dari fermentasi sorgum mutan, seperti varietas Samurai 1 menunjukkan bahwa bioetanol dapat diproduksi sebesar 2,99% oleh *Saccharomyces cerevisiae* setelah 9 hari inkubasi (Widyawati et al., 2022). Galur mutan ubi jalar hasil radiasi gamma (Shin et al., 2011) dan ion berat (Park et al., 2022) memiliki kandungan pati dan gula terlarut yang lebih tinggi dibandingkan tetuanya sehingga berpotensi sebagai bahan baku produksi bioetanol. Selain itu, radiasi gamma juga meningkatkan 48% gula terlarut dalam ampas tebu pada dosis 2000 kGy yang merupakan senyawa utama dalam fermentasi bioetanol (Varella et al., 2024).

Iradiasi gamma juga berpotensi meningkatkan efisiensi bio-solubilisasi batubara lignit dalam menghasilkan produk setara dengan minyak bumi (Gambar 8). Dosis iradiasi 20 kGy mampu mengubah struktur batubara menjadi lebih mudah untuk disolubilisasi oleh *Trichoderma harzianum* dengan produksi batubara cair yang lebih tinggi dibandingkan kontrol tanpa radiasi. Hasil analisis GC-MS menunjukkan bahwa batubara cair didominasi produk yang setara dengan solar (Sugoro et al., 2012).

Terkait dengan PLTN, riset mikrobiologi diarahkan untuk memantau kualitas air kolam, baik primer atau sekunder terbebas dari mikroba penyebab korosi atau *Microbiologically Influenced Corrosion* (MIC). Hasil keluaran dari penelitian ini adalah data

riset hasil deteksi keberadaan MIC di fasilitas nuklir (Sugoro, 2022). Saat ini, fasilitas nuklir yang dimiliki BRIN adalah reaktor nuklir dan Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (IPSB3). Hasilnya menunjukkan terdeteksinya bakteri pada air ketiga kolam reaktor dan IPSB3, tetapi masih memenuhi standar yang ditetapkan oleh IAEA. *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) terdeteksi pada air kolam reaktor, IPSB3, dan IRKA (Ambudi et al., 2024) tapi dengan jumlah yang sangat rendah. Hasil analisis kelimpahan bakteri dan jalur metabolisme mengindikasikan adanya bakteri penyebab korosi pada air kolam primer dan sekunder reaktor G. A. Siwabessy, Triga 2000, dan Kartini serta air kolam IPSB3 (Rahayu et al., 2023; Sugoro et al., 2023). Hasil riset di kolam IPSB3 menunjukkan adanya variasi jumlah bakteri di air, dinding, lantai, dan rak di IPSB3, serta terdeteksinya mikroalga (Rahayu et al., 2023; Sugoro et al., 2023). Terbaru, mikroorganisme biofilm ditemukan di kolam IPSB3 dan analisis metaboliknya menunjukkan aktivitas MIC (Rahayu et al., 2025).



Sumber: Sugoro et al. (2012)

Gambar 8. Pemanfaatan Radiasi Gamma untuk Produksi Batubara Cair oleh *Trichoderma asperellum*

Buku ini tidak diperjualbelikan.

IV. TANTANGAN DAN PELUANG PEMANFAATAN TEKNOLOGI NUKLIR DALAM MENDUKUNG RISET MIKROBIOLOGI

Pengembangan teknologi nuklir untuk riset mikrobiologi di Indonesia menghadapi tantangan besar, tetapi memiliki potensi besar untuk menghasilkan produk bermanfaat dengan dampak ekonomi positif bagi masyarakat. Tantangan utama yang jelas ada di depan, sekaligus menjadi peluang adalah membangun riset yang mampu mendukung program pemerintah baru seperti yang tertuang dalam RPJMN 2025–2029. Untuk dapat mengimplementasikan hal tersebut, dibutuhkan infrastruktur riset ketenaganukliran yang mumpuni sehingga dapat menjawab kebutuhan dari hulu hingga ke hilir.

Riset mikrobiologi memerlukan fasilitas seperti iradiator, akselerator, laboratorium isotop, dan laboratorium deteksi nuklir, termasuk laboratorium pendukung pra dan pasca radiasi. Fasilitas iradiator gamma skala riset di BRIN sebagian besar sudah tua dan perlu direvitalisasi atau diganti. Semua iradiator berbahan bakar radioaktif ^{60}Co yang memancarkan radiasi gamma, sedangkan akselerator riset belum ada yang beroperasi. Hasil riset dengan menggunakan fasilitas tersebut akan membantu kebutuhan industri iradiator dan akselerator terkait dengan dosis iradiasi yang tepat dan efek pada sampel.

Tren saat ini menunjukkan bahwa teknologi iradiator lebih berkembang menuju teknologi akselerator atau berbasis listrik yang menghasilkan E-beam atau sinar-X. BRIN belum memiliki fasilitas tersebut untuk riset (Han et al., 2022). Keduanya memiliki keunggulan masing-masing dan dapat dipertimbangkan

sebagai opsi teknologi. Secara ilmiah, efek radiasi terhadap mikroorganisme yang diiradiasi menggunakan sinar gamma serupa dengan yang diiradiasi menggunakan elektron atau sinar-X, tergantung teknik dan dosis tertentu. E-beam memiliki keterbatasan karena termasuk radiasi partikel dengan daya tembus terbatas. Teknologi akselerator ini digunakan untuk sterilisasi atau membunuh bakteri, virus, dan jamur, dengan keunggulan sistem *on-off* yang bersumber dari listrik. Ke depannya, riset mengenai efek radiasi akselerator, seperti elektron dan sinar-X terhadap viabilitas mikroorganisme pada suatu produk menjadi peluang besar, terutama jika fasilitas akselerator skala riset tersedia. Riset lain seperti mutasi, inaktivasi, sterilisasi, dan pasteurisasi juga dapat dikembangkan dengan memanfaatkan fasilitas tersebut.

Saat ini, BRIN tidak memiliki fasilitas laboratorium isotop atau radioisotop untuk riset mikrobiologi sehingga menghambat pengembangan penelitian, khususnya dalam mempelajari metabolisme sel dan fungsi mikroorganisme di lingkungan. Laboratorium canggih yang dilengkapi dengan fasilitas preparasi dan analisis sangat dibutuhkan untuk menghasilkan produk riset yang berkualitas dan diakui kontribusinya. BRIN memiliki dua alat IRMS untuk analisis isotop stabil yang preparasi sampelnya hanya membutuhkan laboratorium biasa, tidak seperti laboratorium radioisotop yang membutuhkan spesifikasi khusus. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan zat yang diperkaya dengan isotop non-radioaktif telah menjadi metode yang lebih banyak dipakai, untuk menghindari paparan radioaktivitas. Isotop stabil memiliki sensitivitas lebih tinggi dibandingkan pelabelan dengan fluoresen. Selain fasilitas laboratorium, tantangan lainnya adalah kemandirian produksi isotop dalam negeri, khususnya isotop stabil. Harga isotop stabil yang mahal karena ketergantungan produk impor menjadi

peluang untuk dilakukan riset tersebut. Hingga saat ini, BRIN telah berhasil memproduksi radioisotop dengan memanfaatkan fasilitas reaktor nuklir seperti ^{32}P dan ^{131}I . Rencana BRIN akan membangun fasilitas siklotron dan revitalisasi reaktor nuklir menjadi peluang untuk dapat memproduksi isotop stabil dan radioisotop (BRIN, 2024).

Salah satu ilmu yang berkembang pesat dengan memanfaatkan isotop stabil alam adalah biogeokimia, yaitu ilmu yang mempelajari proses kimia yang terjadi antara organisme hidup, termasuk mikroorganisme, dengan lingkungannya (biotik atau abiotik). Analisis isotop stabil ini akan menginformasikan proses yang terjadi di lingkungan, peran mikroorganisme di lingkungan, hubungan sintetik dalam konsorsium, dan jalur metabolisme. Pemanfaatan isotop stabil alam ini tidak dapat berdiri sendiri dan memerlukan kontribusi dari ilmu lain seperti bioinformatika, berkaitan dengan genomik, metabolomik, dan proteomik. Kombinasi keilmuan itu dapat menganalisis jalur biokimia dan fungsi enzimatik mikroorganisme yang belum diisolasi bahkan dalam kultur campuran.

Berkenaan penggunaan teknologi nuklir untuk deteksi, yaitu NAA untuk analisis mineral dalam riset mikrobiologi, seperti metabolisme, absorpsi, dan *leaching*, terdapat beberapa tantangan. Salah satunya adalah meningkatnya biaya akibat menurunnya jumlah reaktor dan fasilitas iradiasi serta perlakuan sampel pasca radiasi yang bersifat radioaktif. Di BRIN, fasilitas tersebut terkendala oleh program revitalisasi. Popularitas NAA menurun dalam beberapa dekade terakhir karena biaya yang semakin tinggi dan munculnya metode multi-elemen lain, seperti spektroskopi emisi atom plasma yang digabungkan secara induktif (ICP-AES), yang mampu menganalisis hingga tingkat ppt (10^{-12}). Metode teknologi nuklir lain seperti XRF memiliki

akurasi yang lebih rendah dibandingkan ICP-AES, meskipun dapat menyelesaikan analisis dengan cepat, tidak seakurat ICP. Oleh karena itu, untuk riset mikrobiologi yang terkait analisis mineral, teknik non-nuklir, seperti ICP-AES lebih disarankan.

Peluang riset mikrobiologi, selain memanfaatkan radiasi, perunut, dan deteksi nuklir, adalah eksplorasi bioprospeksi mikroorganisme dari lingkungan radiasi. Bioprospeksi mikroorganisme merupakan proses pencarian mikroorganisme yang memiliki informasi genetik untuk menghasilkan bioproses atau bioproduk yang bernilai komersial. Mikroorganisme ini dapat diperoleh dari lingkungan radiasi alam atau buatan. Contoh radiasi alam meliputi tanah dan air dengan tingkat radiasi alam yang lebih tinggi dari kondisi normal, sementara radiasi buatan dapat diperoleh dari fasilitas nuklir, seperti reaktor nuklir, iradiator, akselerator, dan pengelolaan limbah radioaktif. Di Indonesia, terdapat banyak daerah dengan paparan radiasi tinggi, seperti Mamuju, Biak, Tual, dan Bangka, serta tiga reaktor nuklir riset ditambah dengan 5 iradiator dan fasilitas pengelolaan limbah radioaktif di Serpong. Mikroorganisme dapat diperoleh dari air dan dinding kolam reaktor primer, iradiator, dan penyimpanan sementara bahan bakar nuklir bekas. Penelitian awal menunjukkan keanekaragaman mikroorganisme, termasuk bakteri dan jamur di tanah radiasi tinggi Mamuju serta bakteri dan alga di kolam fasilitas nuklir. Data ini membuka peluang untuk penelusuran, klasifikasi, dan investigasi sistematis guna menemukan senyawa kimia baru, gen, protein, dan mikroorganisme dengan nilai ekonomi.

Riset mikrobiologi akan menjadi salah satu solusi utama dalam program BRIN terkait dekontaminasi radioaktif dan revitalisasi reaktor nuklir. Dekontaminasi radioaktif dapat dilakukan dengan metode bioremediasi yang memanfaatkan

mikroorganisme atau tanaman. Mikroorganisme ini harus toleran atau resisten terhadap radioaktivitas dan dapat menghilangkan efek limbah radioaktif dengan menyerap unsur-unsur radioaktif melalui proses biosorpsi, bioakumulasi, bioreduksi, dan biomineralisasi, serta melalui transformasi redoks secara langsung dan tidak langsung (Mujiyanto et al., 2024). Tantangan ke depan harus dapat menjawab permasalahan berkenaan dengan tanah dan kayu yang terkontaminasi ^{137}Cs dari Komplek Batan Indah, Serpong (Nurliati et al., 2024; Yusuf et al., 2024). Dalam mendukung program revitalisasi reaktor, riset juga dapat difokuskan ke *microbial influenced corrosion* (MIC) pada fasilitas reaktor, baik yang disebabkan oleh bakteri atau alga (Sugoro et al., 2023).

Kebutuhan industri perlu mendapatkan perhatian lebih dan menjadi tantangan tersendiri karena dapat membantu pengembangan riset untuk mengakselerasi proses bisnis ke depannya. Salah satu contohnya ekspor daun kratom dan talas, dimana pelaku industrinya membutuhkan riset terkait dosis radiasi gamma yang tepat untuk mereduksi jumlah mikroorganisme dan efek terhadap senyawa aktif. Akan tetapi, ternyata kendala ada di fasilitas iradiator gamma terkait waktu dan biaya radiasi karena aktivitas radioaktif ^{60}Co sudah rendah. Alternatif ke depannya adalah pemanfaatan fasilitas akselerator elektron (AEET) atau sinar-X, dan tetap memerlukan kajian terlebih dahulu. Bukan hanya kebutuhan industri, pemanfaatan teknologi nuklir dalam riset mikrobiologi dapat mendukung RPJMN 2025–2029 terutama untuk mendukung program swasembada pangan (pemupukan optimal), swasembada air (biogeokimia), dan energi (bioetanol dan PLTN), kesehatan (TBC dan lepra), dan pelestarian lingkungan.

Semua tantangan dan peluang teknologi nuklir untuk riset mikrobiologi ini harus didukung dengan kolaborasi yang lintas disiplin. Tidak hanya mikrobiologi dengan teknik nuklir saja, tetapi harus melibatkan periset dari berbagai kepakaran. Dengan mengembangkan kolaborasi ini dan memanfaatkan teknologi nuklir untuk aplikasi yang lebih luas, Indonesia tidak hanya memperkuat posisinya dalam komunitas ilmiah global, tetapi juga membuka jalan bagi kemajuan teknologi yang berkelanjutan dan bermanfaat bagi masyarakat dan industri.

V. KESIMPULAN

Teknologi nuklir menawarkan keunggulan dalam akselerasi riset mikrobiologi sehingga menghasilkan produk yang bermanfaat bagi masyarakat dan industri melalui pendekatan ilmu dasar dan terapan. Pendekatan ilmu dasar yang memanfaatkan teknologi radiasi, perunut dan deteksi serta bio-prospeksi menghasilkan informasi terkait dengan metabolisme, fungsi sel mikroorganisme, peran mikroorganisme pada biogeokimia, dosis iradiasi yang tepat (inaktivasi, sterilisasi atau pasteurisasi), konsentrasi unsur, dan kelimpahan mikroorganisme di lingkungan radiasi. Informasi ini menjadi dasar untuk pendekatan ilmu terapan yang langsung bersentuhan manfaatnya bagi masyarakat atau industri di bidang pertanian, kesehatan, lingkungan, dan energi.

Keberadaan fasilitas iradiasi, laboratorium pra dan pasca iradiasi, laboratorium isotop dan radioisotop, serta pencitraan sangat dibutuhkan untuk memperkuat pemahaman tentang riset mikrobiologi dan diharapkan menjadi bagian program infrastruktur BRIN. Akselerasi riset dapat terwujud dengan didukung adanya kolaborasi antar peneliti dan industri memaksimalkan potensi teknologi nuklir di bidang mikrobiologi dalam berbagai aplikasi. Industri yang berposisi di hilir menjadi sumber informasi akan kebutuhan riset untuk menciptakan inovasi-inovasi yang memperkuat proses bisnisnya. Meskipun ada tantangan, investasi dalam infrastruktur dan SDM, teknologi nuklir akan memperkuat posisi Indonesia dalam riset dan pengembangan mikrobiologi. Integrasi antara teknologi nuklir dan mikrobiologi diharapkan dapat mendorong inovasi di masa depan.

VI. PENUTUP

Pengembangan riset mikrobiologi di Indonesia yang didukung teknologi nuklir merupakan contoh yang inovatif di mana telah menghasilkan produk yang bermanfaat bagi masyarakat atau industri. Teknologi nuklir seperti radiasi, perunut, deteksi, dan bioprospeksi memberikan kontribusi berupa pemahaman dan informasi lebih mendalam melalui pendekatan ilmu dasar atau terapan. Pada masa yang akan datang, riset mikrobiologi yang didukung teknologi nuklir akan menjadi bagian penting untuk menyelesaikan berbagai permasalahan yang dihadapi Indonesia. Riset ini dapat mengambil peran dan turut mengakselerasi terwujudnya program pemerintah yang tertuang di dalam RPJMN 2025–2029 terkait swasembada pangan, air dan energi, eradikasi penyakit menular, dan pelestarian lingkungan hidup.

Dalam mewujudkan hal tersebut diperlukan riset dan inovasi yang konsisten dan kerjasama semua pihak. Hal penting lainnya yang tidak boleh diabaikan adalah membangun riset berbasis kebutuhan industri pengguna fasilitas nuklir. Tren saat ini yang mulai beralih ke fasilitas nuklir non-radioaktif seperti akselerator elektron dan sinar-X harus menjadi perhatian lebih oleh periset mikrobiologi, terutama berkaitan dengan industri pengawetan pangan dan sterilisasi produk alat kesehatan serta modifikasi material. Hal yang tidak kalah menarik ke depan adalah riset berkaitan dengan bioprospeksi mikroorganisme di lingkungan radiasi tinggi, baik di lingkungan alami atau buatan untuk menghasilkan produk radioprotektan, biomaterial tahan radiasi, bioleaching bahan radioaktif, dan agen bioremediasi radioaktif.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ungkapan rasa syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena dengan rahmat dan izin-Nya, saya dapat mencapai jenjang Peneliti Ahli Utama dan menyelesaikan orasi untuk Pengukuhan Profesor Riset hari ini.

Penghargaan dan ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya saya haturkan kepada Presiden Republik Indonesia, Jenderal TNI (Purn) H. Prabowo Subianto; Presiden RI ke-7 Ir. H. Joko Widodo atas amanat pengangkatan Peneliti Ahli Utama saya, Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc., juga kepada Wakil Kepala BRIN Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian, S.T., M.Sc., DESD., IPU., ASEAN.Eng. Ucapan terima kasih dan penghargaan juga saya sampaikan kepada Majelis Pengukuhan Profesor Riset: Prof. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, MSCE., Ph.D., beserta Sekretaris, Prof. Dr. Ir. Zainal Arifin, M.Sc.. Tim penelaah naskah orasi Prof. Dr. Paston Sidauruk, Prof. Dr. Megga Ratnasari Pikoli, dan Prof. Dr. Mukh Syaifudin.

Kepada Sekretaris Utama BRIN, Nur Tri Anis Suestiningtyas, S.IP., M.A.; Kepala Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Dr. Syaiful Bahri; Kepala BOSDM BRIN, Ratih Retno Wulandari, S.Sos., M.Si., serta seluruh panitia atas kesempatan, bantuan, serta kerja sama yang diberikan untuk pelaksanaan acara Pengukuhan Profesor Riset hari ini. yang telah memberikan saran dan masukan sehingga naskah orasi ini layak disampaikan pada sidang terbuka pengukuhan ini

Hormat dan terima kasih saya haturkan juga kepada Tim Penelaah naskah Orasi Ilmiah pada Organisasi Riset Tenaga

Nuklir, guru-guru yang telah mengajarkan dan memberikan pendidikan secara tulus dari pendidikan dasar hingga pendidikan tinggi serta di lingkungan kerja. Kepada Kepala P3TIR Dr. Simon Manurung, Kepala PATIR Dr. Zaenal Abidin, Kepala PAIR Totti Tjiptosumirat, Kabid Pertanian – PAIR Suharyono tahun 2002–2007) yang telah banyak mengajarkan saya untuk terus berkomitmen di bidang ilmu mikrobiologi dan pemanfaatan teknologi nuklir, khususnya di bidang mikrobiologi radiasi.

Capaian dan keberhasilan yang saya peroleh hari ini tentunya tidak terlepas dari doa-doa tulus yang dipanjatkan dari kedua Ibu dan Bapak saya tercinta. Kepada istri dan putri tercinta, terima kasih karena selalu memberikan semangat, keceriaan, tempat berdiskusi, dan sumber inspirasi saya untuk bisa menyelesaikan orasi ini, juga kepada kakak dan adik saya atas dukungan dan doanya.

Terima kasih dan penghargaan yang tinggi saya sampaikan kepada rekan-rekan di Kelompok Riset Mikrobiologi Radiasi - yang telah banyak membantu kelancaran tugas-tugas saya sebagai periset ilmu mikrobiologi dengan pemanfaatan teknologi nuklir. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada keluarga besar Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi – ORTN, mahasiswa dan dosen serta mitra.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrian, L., & Marco-Urrea, E. (2016). Isotopes in geobiochemistry: tracing metabolic pathways in microorganisms of environmental relevance with stable isotopes. *Current Opinion in Biotechnology*, 41, 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.03.018>
- Akbar, B. F., Rahmawati, Mujiyanto, A., Fadhlany, M. M., Rahma, F. J., Santiara, R., Nugroho, K. C. P., Shabirah, C. A., Anggraeni, A. P., Azizah, Y. N., Pratama, I. M., & **Sugoro, I.** (2024). Microorganisms analysis of gamma-irradiated white pomfret (*Pampus agenteus*, EUPHRASE, 1788). *International Conference on Nuclear Science, Technology, and Application (ICONSTA)*.
- Almugren, K. S., Sani, S. A., Jaafar, M. S., Mohamad, A., Shafiqah, A. S., & Bradley, D. A. (2023). The effect of acute gamma radiation onto growth media for mother culture of a *Volvariella* mushroom. *Radiation Physics and Chemistry*, 202, 110549. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110549>
- Ambudi, D. R. S., Rahayu, K. M., Pikoli, M. R., Cici, A., Shalsabilla, S. E., Rijal, M. S., Mulyanto, R. N. B., Fadila, D. S. R., Sanjaya, M. F., Menry, Y., Sambari, R. R., Mujiono, Ramadhan, F., Tetriana, D., Yunus, M. Y., Annisa, E., Hermanto., F. E., & **Sugoro, I.** (2024). Sulphate reducing bacteria (SRB) detection from pool water of Irradiator Gamma Karet alam (IRKA). *AIP Conference Proceedings*, 2967(1). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0192785>
- Andriukonis, E., & Gorokhova, E. (2017). Kinetic ¹⁵N-isotope effects on algal growth. *Scientific Reports*, 7, 1–9. <https://doi.org/10.1038/srep44181>

- Anggraeni, A. P. (2024). *Seleksi bakteri penghasil antioksidan dari tanah radiasi alam tinggi Keang dan Tande-Tande, Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat [Skripsi tidak diterbitkan]*. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Baatout, S. (2023). *Radiobiology Textbook* (S. Baatout, Ed.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-18810-7>
- Braccini, S., & Alves, F. (2019). Special issue "instruments and methods for cyclotron produced radioisotopes". In *Instruments*, 3(4). <https://doi.org/10.3390/instruments3040060>
- BRIN. (2024, 14 Juli). Investasi lebih rendah, BRIN sebut ada tren pergeseran radiofarmaka berbasis reaktor ke siklotron. BRIN. <https://brin.go.id/news/119661/investasi-lebih-rendah-brin-sebut-ada-tren-pergeseran-radiofarmaka-berbasis-reaktor-ke-siklotron>
- Chmielewski, A. G. (2023). Radiation technologies: the future is today. *Radiation Physics and Chemistry*, 213, 111233. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.111233>
- Dar, Z. S., Butt, S. A., Mir, K. H., & Hussain, F. (2021). Diagnostic accuracy of C-14 urea breath test for detection of *Helicobacter pylori* in patients with gastritis. *Pakistan Armed Forces Medical Journal (PAFMJ)*, 71(4), 1231–1234. <https://doi.org/10.51253/pafmj.v71i4.4305>
- Djajanegara, I., Risman, M., & **Sugoro, I.** (2010). Pengaruh induksi iradiasi gamma terhadap pertumbuhan dan kandungan gizi mikroalga *Spirulina platensis*. *Prosiding Simposium dan Pameran Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 287–298.
- Djajanegara, I., & **Sugoro, I.** (2010). Vaksin inaktif *Klebsiella pneumoniae* dengan perlakuan sinar damma dan pemanasan suhu 65. *Berkala Penelitian Hayati*, 15(2), 151–157.

- Elfidasari, D., Ismi, L. N., & **Sugoro, I.** (2019). Heavy metal contamination of Ciliwung River, Indonesia. *Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety*, 13, 106–111. <https://www.scientific-publications.net/en/article/1001864/>
- Elfidasari, D., Rijal, M. S., Shalsabilla, S. E., Fadila, D. S. R., Cici, A., Pikoli, M. R., Tetriana, D., & **Sugoro, I.** (2023). Intestinal bacteria diversity of suckermouth catfish (*Pterygoplichthys pardalis*) in the Cd, Hg, and Pb contaminated Ciliwung River, Indonesia. *Heliyon*, 9(4).
- Eustice, R. F. (2017). Successful marketing of irradiated foods. *Food Irradiation Technologies: Concept, Applications and Outcomes*. Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781788010252-00352>
- Fadhlany, M. M. (2024). *Bioprospeksi isolat bakteri dari air kolam iradiator gamma karet alam sebagai agen bioremediasi uranium [Skripsi tidak diterbitkan]*. UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Fadilah, A., Andini, P. P. U., Utami, F. T., & **Sugoro, I.** (2023). Pengaruh iradiasi gamma terhadap daya simpan daun pisang tanpa vakum. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 19(1), 64–71.
- Firsoni, **Sugoro, I.**, Kurniawati, A., Wahidin, T. S., & Suharyono. (2003). Studi “In-vitro gas production” daun galur mutan sorgum sebagai pakan ternak ruminansia. *Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi* (pp. 131–136). <https://karya.brin.go.id/id/eprint/5811>
- Fitriana, R., Saputro, B., Yasmine, H., Yunus, A. L., Tetriana, D., Syahputra, A. R., Darwis, D., & **Sugoro, I.** (2021). Penentuan dosis iradiasi gamma untuk sterilisasi baju hazmat bekas pakai. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 17(1), 35–40.
- Gandanegara, S., **Sugoro, I.**, & Slamet, S. (2002). Efektivitas asosiasi inokulan campuran bakteri rhizosfer dengan tanaman jagung varietas Srikandi pada tanah latosol Lampung. *J. Biol. Indon*, 3(4), 281–287.

- Ghaisani, N. S., Yunita, E., Elfidasari, D., Saputro, B., & **Sugoro, I.** (2023). Karakteristik abon ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys pardalis*) hasil iradiasi sinar gamma. *Al-Kauniah: Jurnal Biologi*, 16(1), 11–20. <https://doi.org/10.15408/kauniah.v16i1.17006>
- Han, B., Kim, Y., Zommer, N., & Jung, Y. K. (2022). Food treatment and EB/X-ray irradiation in Korea.
- Harrell, C. R., Djonov, V., Fellabaum, C., & Volarevic, V. (2018). Risks of using sterilization by gamma radiation: the other side of the coin. *International Journal of Medical Sciences*, 15(3), 274–279. <https://doi.org/10.7150/ijms.22644>
- Harrington, R. E., Guda, T., Lambert, B., & Martin, J. (2020). Sterilization and Disinfection of Biomaterials for Medical Devices. *Biomaterials Science*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816137-1.00091-X>
- Hermanto, S., **Sugoro, I.**, & Ikmalia. (2008). Profil protein *Escherichia coli* hasil inaktivasi iradiasi gamma sebagai bahan vaksin mastitis. *Jurnal Kimia Valensi*, 1(2), 53–57. 10.15408/jkv.v1i2.214
- Hermanto, S., & **Sugoro, I.** (2009). Pengaruh kosubstrat tapioka terhadap serapan mineral jamur tiram putih. *Jurnal Kimia Valensi*, 1(5), 235–239. 10.15408/jkv.v1i5.305
- Hermawati, H., Maryono, M. Y., Dasumiati, D., Junaidi, J., & **Sugoro, I.** (2022). Nilai duga keragaman genetik, heritabilitas, dan korelasi antar karakter mutan rumput gajah generasi MV3. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 18(1), 1–9. <https://doi.org/10.17146/jair.2022.18.1.647218>
- Husain, Taryana, Y., Adi, W. A., Nurhayati, Saleh, M., & Dewi, N. (2024). Analisis X-ray fluorescence dan X-ray diffraction mineral pasir dan batu besi Indonesia sebagai material genetik. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika (JSPF)*, 20(1), 105–110. <https://doi.org/10.35580/jspf.v20i1.53907>

- Imanda, S., Effendi, Y., Sihono, & **Sugoro, I.** (2016). Evaluasi in vitro silase sinambung sorgum varietas Samurai 2 yang mengandung probiotik BIOS K2 dalam cairan rumen kerbau. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 12(1), 1–12. <http://dx.doi.org/10.17146/jair.2016.12.1.3193>
- Indiarto, R., Pratama, A. W., Sari, T. I., & Theodora, H. C. (2020). Food irradiation technology: a review of the uses and their capabilities. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 68(12), 91–98. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V68I12P216>
- James, E. R., Matheny, S., Overby, J., Sim, B. K. L., Eappen, A. G., Li, T., Li, M. L., Richie, T. L., Chakravarty, S., Gunasekera, A., Murshedkar, T., Billingsley, P. F., & Hoffman, S. L. (2022). A First for Human Vaccinology: GMP Compliant Radiation Attenuation of Plasmodium falciparum Sporozoites for Production of a Vaccine Against Malaria. *Frontiers in Immunology*, 13, 1–10. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.851028>
- Karl, D. M., & Schlesinger, W. H. (2014). Volume editors' introduction. *Treatise on Geochemistry* (pp. xxiii–xxvi). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.09983-6>
- Khoshru, B., Nosratabad, A. F., Mitra, D., Chaithra, M., Danesh, Y. R., Boyno, G., Chattaraj, S., Priyadarshini, A., Anđelković, S., Pellegrini, M., Guerra-Sierra, B. E., & Sinha, S. (2023). Rock phosphate solubilizing potential of soil microorganisms: advances in sustainable crop production. *Bacteria*, 2(2), 98–115. <https://doi.org/10.3390/bacteria2020008>
- Kropacheva, M., Melgunov, M., & Makarova, I. (2017). The artificial and natural isotopes distribution in sedge (Carex L.) biomass from the Yenisei River flood-plain: adaptation of the sequential elution technique. *Journal of Environmental Radioactivity*, 167, 180–187. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.12.001>

- Lanpher, K. B., & Popendorf, K. J. (2022). HPLC and ^{32}P -radiolabeling method for quantification of microbial adenylate concentrations and turnover rates in seawater. *Limnology and Oceanography: Methods*, 20(8), 482–499. <https://doi.org/10.1002/lom3.10499>
- Larasati, D. A., Suharto, B., Wirosedarmo, R., & **Sugoro, I.** (2021). Effect of gamma irradiation on growth of *Escherichia Coli* and *Salmonella* sp. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 22(2), 52–58. <http://dx.doi.org/10.17146/jstni.2021.22.2.6018>
- Manikandan, A., Johnson, I., Jaivel, N., Krishnamoorthy, R., Senthilkumar, M., Raghu, R., Gopal, N. O., Mukherjee, P. K., & Anandham, R. (2022). Gamma-induced mutants of *Bacillus* and *Streptomyces* display enhanced antagonistic activities and suppression of the root rot and wilt diseases in pulses. *Biomolecular Concepts*, 13(1), 103–118. <https://doi.org/10.1515/bmc-2022-0004>
- Mašić, S., & Vujčić, I. (2021). Effect of gamma irradiation on microbiological and nutritional properties of the freeze-dried berries. *Nukleonika*, 66(4), 221–225. <https://doi.org/10.2478/nuka-2021-0032>
- McEvoy, B., Maksimovic, A., Howell, D., Reppert, P., Ryan, D., Rowan, N., & Michel, H. (2023). Studies on the comparative effectiveness of X-rays, gamma rays and electron beams to inactivate microorganisms at different dose rates in industrial sterilization of medical devices. *Radiation Physics and Chemistry*, 208. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.110915>
- Mota, F., Ordonez, A. A., Firth, G., Ruiz-Bedoya, C. A., Ma, M. T., & Jain, S. K. (2020). Radiotracer development for bacterial imaging. *Journal of Medicinal Chemistry*, 63(5), 1964–1977. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.9b01623>
- Mujiyanto, A. (2024). *Seleksi bakteri toleran radiasi gamma dari tanah radiasi alam tinggi Botteng, Mamuju sebagai agen bioremediasi uranium [Skripsi tidak diterbitkan]*. UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.

- Mujiyanto, A., Fadhlany, M. M., Herryandi, D. C., Shabirah, C. A., Rahma, F. J., Santiara, R., Akbar, B. F., Yusup, M., & **Sugoro, I.** (2024). Potensi bakteri toleran radiasi dalam pengolahan limbah radioaktif tingkat rendah dan sedang. *Buku Bunga Rampai: Pengelolaan Limbah Radioaktif Aktivitas Rendah dan Sedang*. BRIN.
- Nambisan, P. (2017). Biodiversity and Sharing of Biological Resources. *An Introduction to Ethical, Safety and Intellectual Property Rights Issues in Biotechnology*, 189–209. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809231-6.00008-9>
- Nurliati, G., Romli, M., Hikmat, M. C. C., Sriwahyuni, H., Nuril Hidayati, T. H., Suryantoro, Wisnubroto, D. S., Putero, S. H., Iskandar, D., Syarbaini, Nirwani, L., Sumarbagiono, R., Setiawan, B., Pratama, H. A., Ekaningrum, N. E., Mirawaty, Winarni, I. D., Muziawati, A., Setiawan, A., Purnomo, S., Suhartono, Mustafa, L., Rahayu, D. S., **Sugoro, I.**, & Yusuf, M. (2024). Literature survey and analysis of phytoremediation strategies for Cs-137 decontamination. *Nuclear Engineering and Design*, 427, 113414. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2024.113414>
- Nurrobifahmi, **Sugoro, I.**, & Puspitasari, T. (2018). Pengaruh penambahan alginat hasil radiasi gamma pada bahan pembawa tepung beras dan tapioka terhadap viabilitas *Trichoderma harzianum*. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 42(1), 37–42.
- Oladosu, Y., Rafii, M. Y., Abdullah, N., Hussin, G., Ramli, A., Rahim, H. A., Miah, G., & Usman, M. (2016). Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 30(1), 1–16. Diagnosis Press Limited. <https://doi.org/10.1080/13102818.2015.1087333>
- Park, H., Narasako, Y., Abe, T., Kunitake, H., & Hirano, T. (2022). Comprehensive effects of heavy-ion beam irradiation on sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam.). *Plant Biotechnology*, 39(3), 311–316. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.22.0725a>

- Perini, M., & Bontempo, L. (2022). Liquid chromatography coupled to isotope ratio mass spectrometry (LC-IRMS): a review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 147, 116515. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116515>
- Pikoli, M. R., Zadfa, F. M., & **Sugoro, I.** (2017). Bakteri denitrifikasi inaktif sebagai suplemen untuk mengurangi gas metana dari cairan rumen sapi. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 13(2), 69–78. <http://dx.doi.org/10.17146/jair.2017.13.2.3317>
- Pitaktamrong, P., Kingkaew, J., Yooyongwech, S., Cha-Um, S., & Phisalaphong, M. (2018). Development of arbuscular mycorrhizal fungi-organic fertilizer pellets encapsulated with alginate film. *Engineering Journal*, 22(6), 65–79. 10.4186/ej.2018.22.6.65
- Purnomo, O., Saputro, B., Cici, A., Shalsabilla, S. E., Fadila, D. S. R., Puspitasari, R. L., Tetriana, D., Syaputra, A. R., & **Sugoro, I.** (2021). Dosis sterilisasi kemasan lip gloss hasil iradiasi gamma. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 17(2), 89–96.
- Rahayu, D. S., Ambarsari, L., Nurcholis, W., Shalsabilla, S. E., Fadilah, A., Sanjaya, M. F., Sambari, R. R., Ramadhan, F., Rijal, M. S., Nadyaputri, I. G., & **Sugoro, I.** (2025). Microbial diversity of biofilm in spent fuel nuclear fuel storage pond. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 13(1), 143–149.
- Rahayu, D. S., Ambarsari, L., Shalsabilla, S. E., Fadilah, A., Sanjaya, M. F., Sambari, R. R., Ramadhan, F., Rijal, M. S., Nadyaputri, I. G., & **Sugoro, I.** (2023). Sulphate-reducing bacteria (SRB) in interim storage of spent nuclear fuel. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1271(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1271/1/012057>
- Rahma, F. J. (2024). *Seleksi bakteri penghasil antioksidan dari air kolam primer reaktor serba guna G. A. Siwabessy (RSG-GAS), Triga 2000, dan Kartini terhadap iradiasi gamma [Skripsi tidak diterbitkan]*. UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.

- Rahmani, R., Pikoli, M. R., & **Sugoro, I.** (2019). The effect of gamma-irradiated nitrate-reducing bacteria in decreasing the in vitro production of methane by buffalo rumen liquid. *Atom Indonesia*, 45(3), 153–157. <https://doi.org/10.17146/aij.2019.1006>
- Risovanyi, V. (2020). Radioactive isotope production in the fast neutron nuclear reactors. *Journal of Physics: Conference Series*, 1475(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1475/1/012015>
- Robifahmi, N., Laksmana, R. I., Pratama, A. A., Kusuma, A. T., Tjiptosumirat, T., Tuasikal, B. J., Febrian, V. A., Yusup, M., Futy, W., Mujiyanto, A., & **Sugoro, I.** (2024). Isolasi dan seleksi fungi tahan radiasi dari tanah radiasi alam tinggi Mamuju untuk bioremediasi limbah radioaktif, *Laporan Kegiatan Riset*.
- Sajimin, Purwantari, N. D., & **Sugoro, I.** (2017). Contribution of legumes on phosphoric absorption by *Panicum maximum* cv riversdale in intercropping system. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*, 21(3), 151–158. 10.14334/jitv.v21i3.1520
- Santiara, R. (2024). *Pengaruh Iradiasi gamma terhadap aktivitas antioksidan bakteri terseleksi dari air kolam iradiator gamma karet alam (IRKA)* [Skripsi tidak diterbitkan]. UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Sasongko, W. T., & **Sugoro, I.** (2004). Fermentasi jerami padi varietas Atomita 4 secara basah dengan menggunakan inokulum campuran isolat bakteri anaerob fakultatif rumen kerbau. *Risalah Seminar Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 171–174.
- Shabirah, C. A. (2024). *Seleksi bakteri penghasil antioksidan dari tanah radiasi alam tinggi Botteng Tebong dan Botteng Batuan, Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat* [Skripsi tidak diterbitkan]. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Shin, J. M., Kim, B. K., Seo, S. G., Jeon, S. B., Kim, J. S., Jun, B. ki, Kang, S. Y., Lee, J. S., Chung, M. N., & Kim, S. H. (2011). Mutation breeding of sweet potato by gamma-ray radiation. *African Journal of Agricultural Research*, 6(6), 1447–1454.

- Shaffi, M. I., Dasumiati, D., Lasmawati, D., Maryono, M. Y., Junaidi, J., & **Sugoro, I.** (2022). Quality of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) gamma irradiation result in the second generation (MV2). *Al-Kauniyah: Jurnal Biologi*, 15(1), 88–95. <https://doi.org/10.15408/kauniyah.v15i1.17008>
- Siegenthaler, M. B., Tamburini, F., Frossard, E., Chadwick, O., Vitousek, P., Pistocchi, C., Mészáros, É., & Helfenstein, J. (2020). A dual isotopic (^{32}P and ^{18}O) incubation study to disentangle mechanisms controlling phosphorus cycling in soils from a climatic gradient (Kohala, Hawaii). *Soil Biology and Biochemistry*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107920>
- Sisworo, E. L., Idris, K., Citraresmini, A., & **Sugoro, I.** (2006). *Teknik nuklir untuk penelitian hubungan tanah – tanaman: perhitungan dan interpretasi data*. BATAN. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/9305/12/buku.pdf>
- Smith, D. R., Maroney, M. J., Nordberg, , Monica, & Tyson, J. F. (2022). General chemistry of metals, sampling, analytical methods, and speciation. *Handbook on the Toxicology of Metals (fifth edition)* (pp. 15–54). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823292-7.00001-2>
- STERIS. (2018). *Products commonly treated with irradiation*. STERIS.
- Sugoro, I.** (2004). Pengaruh tanin dan penambahan PEG terhadap produksi gas secara in vitro. *Risalah Seminar Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi*.
- Sugoro, I.** (2006a). Optimasi sumber nitrogen probiotik khamir R1 dan R110 dalam medium ekstrak singkong. *Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner*.
- Sugoro, I.** (2006b). Seleksi dan karakterisasi isolat khamir sebagai bahan probiotik ternak ruminansia dalam cairan rumen kerbau. *Jurnal Pertanian Gakuryoku*, 12(1), 35–40.

- Sugoro, I.** (2010). Pemanfaatan probiotik khamir untuk peningkatan produksi ternak ruminansia, *IptekNuklir Bunga Rampai Presentasi Ilmiah Peneliti Madya/Utama*.
- Sugoro, I.** (2021). Aplikasi radiasi gamma untuk restertilisasi alat pelindung diri dalam mendukung penanganan covid-19, *Executive Summary*.
- Sugoro, I.** (2022). Analisis microbiologically influenced corrosion (MIC) kolam reaktor nuklir dan instalasi penyimpanan sementara bahan bakar bekas (IPSB3), *Laporan Kemajuan Teknis Triwulan IV: Data Riset*.
- Sugoro, I., Astuti, D. I., Sasongko, D., & Aditiawati, P.** (2012). Biosolubilisasi lignit mentah hasil iradiasi gamma dan oleh *Trichoderma asperellum*. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 8(1), 21–30.
- Sugoro, I., Astuti, D. I., Sasongko, D., & Aditiawati, P.** (2013). Comparison of gamma irradiated and raw lignite in bioliquefaction process by fungus T5. *Atom Indonesia*, 38(2), 51. <https://doi.org/10.17146/aij.2012.160>
- Sugoro, I., Darwis, D., Lidya, Syamsunarno, R. A. A., Tetriana, D., Syahputra, A. R., Djauhari, H., Mujiono, Saputro, B., Fitriana, R., & Yasmine, H.** (2020). Aplikasi radiasi gamma untuk restertilisasi alat pelindung diri dalam mendukung penanganan covid-19, *Laporan Akhir Konsorsium Riset dan Inovasi Covid-19*.
- Sugoro, I., & Djajanegara, I.** (2011). Profil protein *Klebsiella pneumoniae* K3 pasca inaktivasi sinar gamma dan pemanasan suhu 65. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 9(1), 14–19.
- Sugoro, I., Fadila, D. S. R., Pikoli, M. R., Hermanto, F. E., Ramadhan, F., Shalsabilla, S. E., Cici, A., Rijal, M. S., Rahayu, D. S., Puspito, M. J., Haribowo, D. R., & Tetriana, D.** (2023a). Amplicon-based sequencing revealed potential microbiologically influenced corrosion in the interim storage for spent fuel of RSG-GAS, Serpong, Indonesia. *Biodiversitas*, 24(10), 5391–5398. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d241021>

- Sugoro, I., Fairuz, D., Citraresmini, A., & Murni, A. P. (2015).** Determination of lactic acid bacteria viability in the small intestine of catfish (*Pangasius djambal*) by using the ^{32}P radioisotope. *Atom Indonesia*, 41(1), 27–30. <https://doi.org/10.17146/aij.2015.352>
- Sugoro, I., Gobel, I., & Lelananingtyas, N. (2005).** Pengaruh probiotik khamir terhadap fermentasi dalam cairan rumen secara in vitro. *Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner*, 455–459.
- Sugoro, I., Gobel, N., Lelaningtyas, & Pikoli, M. R. (2005).** Produksi gas in vitro probiotik khamir ternak ruminansia. *Risalah Seminar Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 171–175.
- Sugoro, I., & Hermanto, S. (2009).** Dosis inaktif dan kadar protein *Yersinia enterocolitica* hasil iradiasi gamma. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir*, 305–310.
- Sugoro, I., Hermanto, S., Sasongko, D., Astuti, D. I., & Aditiawati, P. (2011).** Bioliquefaksi lignit hasil interaksi mikroba indigenos dengan *Trichoderma asperellum*. *Prosiding Seminar Nasional Biologi: Inovasi Biologi dan Pembelajaran Biologi untuk Membangun Karakter Bangsa, Jurusan Pendidikan Biologi FMIPA UPI*, 334–343. <https://www.researchgate.net/publication/236119015>
- Sugoro, I., Kamila, N., & Elfidasari, D. D. (2014).** Degradasi sorghum pada rumen kerbau dengan suplementasi probiotik BIOS-K2 secara in sacco. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 10(2), 103–112.
- Sugoro, I., Kurniawati, A., Firsoni, F., & Human, S. (2003).** Pembuatan silase daun galur mutan sorghum dengan menggunakan inokulum campuran isolat bakteri rumen kerbau. *Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 143–150.

- Sugoro, I.,** Maharani, Y., Hanani, M., Ansori, D., Wahyudiyanto, H., Rizqikah, A., Dasumiati, Wahyono, T., Firsoni, Sasongko, W. T., Fahmi, N., & Flatian, A. N. (2021). Labelling of corn as forage for ruminants using isotope ^{15}N . *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 902(1), 1–4. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/902/1/012010>
- Sugoro, I., & Mellawati, J.** (2004a). Pengaruh penambahan molases pada media ubi jalar terhadap pertumbuhan isolat khamir R1 dan R110 untuk bahan probiotik ternak ruminansia. *Jurnal Saintika*, 35–60.
- Sugoro, I., & Mellawati, J.** (2004b). Penyerapan mineral oleh isolat khamir R1, R2, R110 dan R210 dalam media ekstrak ubi jalar.
- Sugoro, I.,** Nuryanthi, N., Ermadevi, D. N. I., Khoiriyah, M., Santoso, N. A., Mangunwardoyo, W., & Darwis, D. (2019). The effect of fitosan supplementation on methane production in cow's rumen liquid by in vitro method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 546(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/546/2/022028>
- Sugoro, I., & Pikoli, M. R.** (2004). Uji viabilitas isolat khamir bahan probiotik dalam cairan rumen kerbau steril. *Jurnal Saintika FMIPA, UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta*, 35–60.
- Sugoro, I., & Pikoli, M. R.** (2006). Effect of the growth of yeast in irradiated tapioca. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 2(1), 1–7.
- Sugoro, I.,** Setiawan, K., Tetriana, D., Pramisandi, A., Nurlaila, & Shalsabilla, S. E. (2023b). Bioprospeksi bakteri dari air kolam primer reaktor nuklir untuk bahan radioprotektan dan bioremediasi limbah nuklir, *Laporan Kegiatan Riset Hasil Pengungkapan dan Pemanfaatan Biodiversitas Nusantara*.
- Sugoro, I., & Wahyono, T.** (2016). Uji lapang probiotik BIOS K2 untuk suplementasi pakan sapi peranakan ongole (PO). *Prosding Seminar Nasional "Bioresource Untuk Pembangunan Ekonomi Hijau"*, 7, 80–86.

- Sugoro, I.**, Wahyono, T., Ratnasari Pikoli, M., & Sevtiyani, W. (2016). Effect of vinasse from juice of sorghum var. Samurai 1 on the methane production by buffalo rumen microbial. *Proceeding of The 6th Annual Basic Science International Conference*. <https://www.researchgate.net/publication/296198471>
- Sugoro, I.**, Windusari, Y., & Tetriana, dan D. (2008). Dosis inaktif dan kadar protein *Klebsiella pneumonia* K5 hasil iradiasi gamma. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 4(1), 60–68.
- Sugoro, I.**, & Yunianto, D. I. (2006). Pertumbuhan protozoa dalam cairan rumen kerbau yang disuplementasi tanin secara in vitro. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 2(2), 48–57.
- Sukmadewi, D. K. T., Anas, I., & Citraresmin, A. (2021). The effect of gamma irradiation on the growth rate of phosphorus and potassium solubilizer multifunctional microbes. *SEAS (Sustainable Environment Agricultural Science)*, 5(1), 72–78. <https://doi.org/10.22225/seas.5.1.3306.72-78>
- Sundari, N. N., & **Sugoro, I.** (2006). Daya adaptabilitas isolat khamir dalam cairan rumen kerbau steril sebagai bahan probiotik. *Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner*, 917–923.
- Syahputra, A. R., Yunus, A. L., Fitriana, R., Deswita, D., Yunus, M. Y., Saputro, B., Tetriana, D., Yasmine, H., Darwis, D., & **Sugoro, I.** (2024). Reused N95 face masks performance: effect of gamma irradiation method on residual bioburden and functional material resistance. *International Journal of Technology*, 15(6).
- Syaifuddin, M., & Alatas, Z. (2016). Pelabelan isotop ^{32}P dan ^3H untuk menunjang diagnosis penyakit akibat infeksi mikroorganisme. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan 2016*, 137–145.
- Syaifudin, M., Umar, E., Tjiptosumirat, T., Ikram, A., Darwis, D., **Sugoro, I.**, Tuasikal, B. K., Mujiono, & Tetriana, D. (2021). Iradiasi gamma untuk sterilisasi antiserum hasil inokulasi COVID-19 pada ayam untuk pengembangan antiserum IgY, *Laporan Akhir Konsorsium Riset dan Inovasi Covid-19*.

- Taub, I. A. (2001). Radiation pasteurization and sterilization of food. *Studies in Physical and Theoretical Chemistry*. Elsavier.
- Tetrianan, D., & **Sugoro, I.** (2007). Aplikasi teknik nuklir dalam bidang vaksin. *Jurnal Alara, 1*.
- Tuasikal, B. J., **Sugoro, I.**, Tjiptosumirat, T., & Lina, M. (2003). Effect of gamma ray irradiation on *Streptococcus agalactiae* growth for vaccine agent of mastitis disease in dairy cattle. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia, 4*.
- Varella, L. Y. Z., Mesquita, A. Z., de Rezende, D. B., Mourão, I. G., Cren, É. C., Lopes, N. P., Silva, W. G., & Alonso, T. C. (2024). Experimental evaluation of the use of gamma radiation in sugarcane bagasse (*Saccharum* spp.) as a pretreatment for bioethanol production. *Radiation Physics and Chemistry, 218*, 111611. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2024.111611>
- Verma, K. D., & Srivastav, P. P. (2017). *Microorganisms in sustainable agriculture, food, and the environment*. CRC Press.
- Verma, P., & Shah, M. P. (2022). *Bioprospecting of microbial diversity: challenges and applications in bio-chemical industry, agriculture and environment protection*. Elsavier.
- Victor, T. W., Easthon, L. M., Ge, M., O'Toole, K. H., Smith, R. J., Huang, X., Yan, H., Allen, K. N., Chu, Y. S., & Miller, L. M. (2018). X-ray fluorescence nanotomography of single bacteria with a sub-15 nm beam. *Scientific Reports, 8*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31461-y>
- Wahyono, T., Astuti, D. A., Jayanegara, A., Gede Wiryawan, K., **Sugoro, I.**, Kurniawan, W., & Indriatama, W. M. (2022). Performance of local lambs fed total mixed rations based on forages with different sorghum cultivars. *Advances in Biological Sciences Research*. Atlantis Press.

- Wahyono, T., **Sugoro, I.**, Jayanegara, A., Wiryawan, K. G., & Astuti, D. A. (2019). Nutrient profile and in vitro degradability of new promising mutant lines sorghum as forage in Indonesia. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 7(9), 810–818. <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2019/7.9.810.818>
- Widyawati, Y., Mardhotillah, A., & **Sugoro, I.** (2022). Sintesis bioetanol dari bagas sorgum Samurai 1 hasil hidrolisis enzimatis dan fermentasi oleh *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Konversi*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.24853/konversi.11.1.12>
- Yusuf, M., Setiawan, A., Suryantoro, Winarni, I. D., Muhiawati, A., Setiawan, A., Syarbaini, Purnomo, S., Hidayati, N., Nirwani, L., Romli, M., Suhartono, Putero, S. H., Mirawaty, Hikmat, M. C. C., & Sriwahyuni, H. (2024). Pengelolaan repositori limbah Cs secara non konvensional dengan cost-effective technology fitoremediasi, *Presentasi Kegiatan Riset*.
- Zain, N. M., Bachtiar, T., & **Sugoro, I.** (2018). Kontribusi nitrogen dari bakteri endofit pada tanaman padi. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 14(1), 1–10. 10.17146/jair.2018.14.1.4152

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Buku

1. Mujiyanto, A., Fadhlany, M. M., Herryandi, D. C., Shabirah, C. A., Rahma, F. J., Santiara, R., Akbar, B. F., Yusup, M., & **Sugoro, I.** (2025). Potensi bakteri toleran radiasi dalam pengolahan limbah radioaktif tingkat rendah dan sedang. *Buku Bunga Rampai: Pengelolaan Limbah Radioaktif Aktivitas Rendah dan Sedang*. BRIN.
2. Sisworo, E. L., Idris, K., Citraresmini, A., & **Sugoro, I.** (2006). *Teknik nuklir untuk penelitian hubungan tanah-tanaman: perhitungan dan interpretasi data*. Batan. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/9305/12/buku.pdf>

Jurnal Internasional

3. Agus, B. W., Kosasih, **Sugoro, I.**, Effendi, D., & Pratama, B.M. (2014). Effect of temperature on rumen microbes activity to produce methane from coal. *Scientific Contributions Oil & Gas*, 37(3), 155–160.
4. Elfidasari, D., Haninah, Putri, H.D., & **Sugoro, I.** (2022). The cconcentration of heavy metals Cd, Hg, Pb in processed food products based Pterygoplichthys pardalis (Castelnau, 1855) from Ciliwung River Jakarta Region. *Bioeduscience*, 6(1), 73–83. <https://doi.org/10.22236/j.bes/618708>
5. Elfidasari, D., Ismi, L. N., Shabira, A. P., & **Sugoro, I.** (2018). The correlation between heavy metal and nutrient content in Plecostomus (Pterygoplichthys pardalis) from Ciliwung River in Jakarta. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 10(3), 597–604. <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v10i3.16248>

6. Elfidasari, D., Ismi, L. N., & **Sugoro, I.** (2020). Heavy metal concentration in water, sediment, and *Pterygoplichthys pardalis* in the Ciliwung River, Indonesia. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 13(3), 1764–1778.
7. Elfidasari, D., Ismi, L. N., & **Sugoro, I.** (2019). Heavy metal contamination of Ciliwung River, Indonesia. *Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety*, 13, 106–111. <https://www.scientific-publications.net/en/article/1001864/>
8. Elfidasari, D., Rijal, M. S., Shalsabilla, S. E., Fadila, D. S. R, Cici, A., Pikoli, M. R., Tetriana, D., & **Sugoro, I.**, (2023). Intestinal bacteria diversity of suckermouth catfish (*Pterygoplichthys pardalis*) in the Cd, Hg, and Pb contaminated Ciliwung River, Indonesia. *Heliyon*, 9(4).
9. Elfidasari, D., Sabil, M.Q.T., Sasaerilla, Y., & **Sugoro, I.** (2022). Distribution and nesting habitat of green sea turtles (*Chelonia mydas*) in Pangumbahan Turtle Conservation Area, Sukabumi, Indonesia. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 15(5), 2329–2338.
10. Elfidasari, D., Shabira, A.P., **Sugoro, I.**, & Ismi, L.N. (2019). The nutrient content of *Plecotomus* (*Pterygoplichthys pardalis*) flesh from Ciliwung River Jakarta, Indonesia. *Nusantara Bioscience*, 11(1), 30–34. <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n110106>
11. Elfidasari, D., **Sugoro I.**, Nabilah, D., Rafialdi, Amalia, S.N. (2022). Survivability of *Pterygoplichthys pardalis* from Ciliwung River, Jakarta, Indonesia based on metal toxicity test and bioaccumulation of cadmium, mercury, and lead. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 15(6), 3292–3302.
12. Ernawan, B., Sasmita, H.I., Sadar, M., & **Sugoro, I.** (2019). Current status and recent achievements of the sterile insect technique program against dengue vector, *Aedes aegypti*, in Indonesia. *Atom Indonesia*, 45(2), 115–121. <https://doi.org/10.17146/aij.2019.908>

13. Ernawan, B., Surniyantoro, H.N.E., **Sugoro, I.**, & Tambunan, U.S.F. (2019). A mutant variant of Nix gene on -irradiated *Aedes aegypti* as a male-determination factor. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 20(3), 893–899. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200338>
14. Gifari, T., Elfidasari, D., & **Sugoro, I.** (2018). The effects of contaminant microorganism towards *Chelonia mydas* eggs hatchery results in Pangumbahan Green Sea Turtles Conservation, Sukabumi, Indonesia. *Biodiversitas*, 19(4), 1207–1212. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190404>
15. Manurung, R., Melinda, R., Abduh, M.Y., Widiyana, A., **Sugoro, I.**, & Suheryadi, D. (2015). Potential use of lemongrass (*Cymbopogon winterianus*) residue as dairy cow feed. *Pakistan Journal of Nutrition*, 14(12), 919–923.
16. Nurliati, G., Romli, M., Hikmat, M. C. C., Sriwahyuni, H., Nuril Hidayati, T. H., Suryantoro, Wisnubroto, D. S., Putero, S. H., Iskandar, D., Syarbaini, Nirwani, L., Sumarbagiono, R., Setiawan, B., Pratama, H. A., Ekaningrum, N. E., Mirawaty, Winarni, I. D., Muziawati, A., Setiawan, A., Purnomo, S., Suhartono, Mustafa, L., Rahayu, D. S., **Sugoro, I.**, & Yusuf, M. (2024). Literature survey and analysis of phytoremediation strategies for Cs-137 decontamination. *Nuclear Engineering and Design*, 427, 113414. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2024.113414>
17. Perkasa, D. P., Arozal, W., Kusmardi, Syaifudin, M., Purwanti, T., Laksmana, R. I., Pratama, A.A., **Sugoro, I.**, & Rahayu, D.P. (2024). Toxicity and biodistribution of alginate-stabilized AgNPs upon 14-days repeated dose oral administration in mice. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 14(6), 135–146. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2024.170167>
18. Pikoli, M.R., **Sugoro, I.**, & Suharti. (2020). Diversity analysis of an extremely acidic soil in a layer of coal mine detected the occurrence of rare actinobacteria. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, 17(6), 529–542. <https://doi.org/10.48048/wjst.2020.4380>

19. Purnami, S., Ramadhani, D., Oktariyani, T. A., Suvifan, V. A., Tetriana, D., **Sugoro, I.**, Rahajeng, N., Wanandi, S. I., Wibowo, H., Yamaguchi, M., Kashiwakura, I., Syaifudin M., & Widowati, R. (2023). Immune status of people living in the Tande-Tande sub-village (Indonesia), an area with high indoor radon concentration. *Radiation and Environmental Biophysics*, 62(4), 449–463. <https://doi.org/10.1007/s00411-023-01047-y>
20. Putri, H. D., Elfidasari, D., Haninah, H., & **Sugoro, I.** (2020). Nutritional content of bone flour made from plecocs fish *Pterygoplichthys pardalis* from the Ciliwung River, Indonesia. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 12(3), 329–334.
21. Rahayu, D. S., Ambarsari, L., Nurcholis, W., Shalsabilla, S. E., Fadilah, A., Sanjaya, M. F., Sambari, R. R., Ramadhan, F., Rijal, M. S., Nadyaputri, I. G., & **Sugoro, I.** (2025). Microbial diversity of biofilm in spent fuel nuclear fuel storage pond. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 13(1), 143–149.
22. Rahmani, R., Pikoli, M.R., & **Sugoro, I.** (2019). The effect of gamma-irradiated nitrate-reducing bacteria in decreasing the in vitro production of methane by buffalo rumen liquid. *Atom Indonesia*, 45(3), 153–157.
23. Ramadhani, D., Purnami, S., Tetriana, D., **Sugoro, I.**, Suvifan, V. A., Rahadjeng, N., Wanandi, S. I., Wibowo, H., Kashiwakura, I., Miura, T., & Syaifudin, M. (2023). Chromosome aberrations, micronucleus frequency, and catalase concentration in a population chronically exposed to high level of radon. *International Journal of Radiation Biology*, 99(8), 1188–1203. <https://doi.org/10.1080/09553002.2022.2110314>
24. Sajimin, Purwantari, N. D., & **Sugoro, I.** (2017). Contribution of legumes on phosphoric absorption by *Panicum maximum* cv Riversdale in intercropping system. *JITV*, 21(3), 151–158.

25. Sari, A. F., Hariwibowo, D. R., Setiawan, F.H., **Sugoro, I.** (2025). Methane Gas Production In Buffalo Rumen Fluid Containing Citronella Residue (*Cymbopogon nardus* L.) by *In Vitro* Method. *Jurnal AI – Kauniah*, 18 (2), <https://doi.org/10.15408/kauniah.v18i2.40935>
26. **Sugoro, I.**, Astuti, D.I., Sasongko, D., & Aditiawati, P. (2012). Comparison of gamma irradiated and raw lignite in bioliquefaction process by fungus T5. *Atom Indonesia*, 38(2), 51–56.
27. **Sugoro, I.**, Fairuz, D., Citraresmini, A., & Murni, A. P. (2015). Determination of lactic acid bacteria viability in the small intestine of catfish (*Pangasius djambal*) by using the ³²P radioisotope. *Atom Indonesia*, 41(1), 27–30.
28. **Sugoro, I.**, Fadila, D. S. R., Pikoli, M. R., Hermanto, F. E., Ramadhan, F., Shalsabilla, S. E., Cici, A., Rijal, M. S., Rahayu, D. S., Puspito, M. J., Hariwibowo, D. R., & Tetriana, D. (2023). Amplicon-based sequencing revealed potential microbiologically influenced corrosion in the interim storage for spent fuel of RSG-GAS, Serpong, Indonesia. *Biodivesitas Journal of Biological Diversity* 24(10),5391–5398. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d24i021>
29. **Sugoro, I.**, Pikoli, M. R., Rahayu, D. S., Puspito, M. J., Shalsabilla, S. E., Ramadhan, F., Fadila, D. S. R., Cici, A., Tetriana, D., Hariwibowo, D. R., & Rijal, M. S. (2022). Microalgae diversity in interim wet storage of spent nuclear fuel in Serpong, Indonesia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22), 15377. <https://doi.org/10.3390/ijerph192215377>
30. **Sugoro, I.**, Wiryawan, K. G., Astuti, D. A., & Wahyono, T. (2015). Gas production and rumen fermentation characteristics of buffalo diets containing by-product from some sorghum varieties. *Indonesian Journal of Animal and Veterinary Science*, 20(4), 242–249.

31. Ulumuddin, Y. I., Beavis, S., Roderick, M., Eggins, S., **Sugoro, I.**, & Sukardjo, S. (2021). Potential carbon loss in sediment through methane production during early development stage of mangrove regeneration in restored mangroves. *Dynamic Sedimentary Environment of Mangrove Coast* (pp. 415-445). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816437-2.00020-3>
32. Ulumuddin, Y. I., **Sugoro, I.**, Beavis, S., Roderick, M., Eggins, S., & Muarif, M. R. (2023). Characterisation of methane production pathways in sediment of overwashed mangrove forests. *Forest*, 14(3), 564. <https://doi.org/10.3390/f14030564>
33. Wahyono, T., **Sugoro, I.**, Jayanegara, A., Wiryawan, K.G., & Astuti, A.D. (2019). Nutrient profile and in vitro degradability of new promising mutant lines sorghum as forage in Indonesia. *Adv. Anim. Vet. Sci*, 7(9), 810-818. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2019/7.9.810.818>
34. Yunus, A. L., Syahputra, A. R., Fitriana, R., Deswita, D., Yunus, M. Y., Saputro, B., Tetriana, D., Yasmine, H., Darwis, D., & **Sugoro, I.** (2024). Reused N95 face masks performance: effect of gamma irradiation method on residual bioburden and functional material resistance. *International Journal of Technology*, 15(6).

Jurnal Nasional

35. Aditiawati, P., **Sugoro, I.**, Astuti, D. I., & Sasongko, D. (2011). Biosolubilisasi Batubara hasil iradiasi gamma oleh kapang *Trichoderma* sp. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 7(1), 11–20.
36. Albani, F., Pikoli, M.R., & **Sugoro, I.** (2018). Jenis pakan mempengaruhi produksi biogas dari feses gajah, studi kasus gajah Sumatera (*Elephas maximus sumatranus* Temminck, 1847) di Taman Margasatwa Ragunan, Jakarta Selatan. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 8 (2), 264–270.

37. Andini, P. P. U., Yunisa, Z., Tamala, A. R., Hasanah, N. A., Rizki, M. I. M, Pikoli, M. R., & **Sugoro I.** (2022). Pengaruh kedalaman sedimen terhadap emisi gas metana (CH₄) di Situ Kuru. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(3), 579–587. <https://doi.org/10.14710/jil.20.3.579-587>
38. Djajanegara, I., & **Sugoro, I.** (2010). Vaksin inaktif *Klebsiella pneumoniae* dengan perlakuan sinar gamma dan pemanasan suhu 65. *Berkala Penelitian Hayati*, 15(2), 151–157.
39. Efendi, D., Widjayanto, B.A., Kosasih, K., Pratama, B.M., & **Sugoro, I.** (2017). Produksi gas metana batubara dengan pemanfaatan mikroba cairan rumen pada berbagai perlakuan kondisi dan media. *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, 51(2), 75–84.
40. Elfidasari, D., Gifari, T., & **Sugoro, I.** (2018). Deteksi cemaran mikroorganisme pada kawasan konservasi penyu di Pangumbahan Sukabumi. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*, 4(1), 28–35. <http://dx.doi.org/10.36722/sst.v4i1.247>
41. Fadilah, A., Andini, P. P. U., Triutami, F., & **Sugoro, I.** (2023). Pengaruh iradiasi gamma terhadap daya simpan daun pisang tanpa vakum. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 19(1), 64–71.
42. Fitriana, R., Saputro, B., Yasmine, H., Yunus, A. L., Tetriana, D., Syahputra, A. R., Darwis, D. & **Sugoro, I.** (2021). Penentuan dosis iradiasi gamma untuk sterilisasi baju hazmat bekas pakai. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 17(1), 35–40.
43. Gandanegara, S., **Sugoro, I.**, & Slamet, S. (2002). Efektivitas asosiasi inokulan campuran bakteri rhizosfer dengan tanaman jagung varietas Srikandi pada tanah latosol Lampung. *J. Biol. Indon*, 3(4), 281–287.
44. Ghaisani, N. S., Yunita, E., Elfidasari, D., Saputro, B., & **Sugoro, I.** (2023). Karakteristik abon ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys pardalis*) hasil iradiasi sinar gamma. *Al-Kauniyah: Jurnal Biologi*, 16(1), 11–20. <https://doi.org/10.15408/kauniyah.v16i1.17006>

45. Hariwibowo, D. R., Assuyuti, Y. M., Rijaluddin, A. F., Attamimi, F. I., Nurkholidah, Shalsabilla, S. E., **Sugoro, I.**, Ryandra, R., & Ramadhan, F. (2023). Komunitas fitoplankton sebagai bioindikator kualitas perairan situ di Ciputat Timur, Tangerang Selatan. *BIOSEL (Biology Science and Education): Jurnal Penelitian Science dan Pendidikan*, 12(2), 177–197.
46. Hermanto, S., & **Sugoro, I.** (2009). Pengaruh kosubstrat tapioka terhadap serapan mineral jamur tiram putih. *Jurnal Kimia Valensi*, 1(5), 235–239. 10.15408/jkv.v1i5.305
47. Hermanto, S., **Sugoro, I.**, & Ikmalia. (2008). Profil protein Escherichia coli hasil inaktivasi iradiasi gamma sebagai bahan vaksin mastitis. *Jurnal Kimia Valensi*, 1(2), 53–57. 10.15408/jkv.v1i2.214
48. Hermawati, H., Maryono, M. Y., Dasumiati, D., Junaidi, J., & **Sugoro, I.** (2022). Nilai duga keragaman genetik, heritabilitas, dan korelasi antar karakter mutan rumput gajah generasi MV3. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 18(1), 1–9. <http://dx.doi.org/10.17146/jair.2022.18.1.6472>
49. Imanda, S., Effendi, Y., Sihono, & **Sugoro, I.** (2016). Evaluasi in vitro silase sinambung sorgum varietas Samurai 2 yang mengandung probiotik BIOS K2 dalam cairan rumen kerbau. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 12(1), 1–7. <http://dx.doi.org/10.17146/jair.2016.12.1.3193>
50. Ismi, L. N., Elfidasari, D., Riris., L. P., & **Sugoro, I.** (2019). Kandungan 10 jenis logam berat pada daging ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys pardalis*) asal Sungai Ciliwung wilayah Jakarta. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*, 5(2), 56–59.
51. Kusumaningrum, C.E., **Sugoro, I.**, & Aditiawati, P. (2018). Pengaruh silase sinambung jerami jagung terhadap fermentasi dalam cairan rumen secara in vitro. *Jurnal Ilmu Ternak*, 18(1), 26–33. <https://doi.org/10.24198/jit.v18i1.14460>

52. Larasati, D. A., Suharto, B., Wirosodarmo, R., & **Sugoro, I.** (2021). Effect of gamma irradiation on growth of *Escherichia coli* and *Salmonella* sp. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia (Indonesian Journal of Nuclear Science and Technology)*, 22(2), 52–58. <http://dx.doi.org/10.17146/jstni.2021.22.2.6018>
53. Nurrobifahmi, **Sugoro, I.**, & Puspitasari, T. (2018). Pengaruh penambahan alginat hasil radiasi gamma pada bahan pembawa tepung beras dan tapioka terhadap viabilitas *Tricoderma harzianum*. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 42(1), 37–42.
54. Pikoli, M. R., Zadfa, F. M., & **Sugoro, I.** (2017). Bakteri denitrifikasi inaktif sebagai suplemen untuk mengurangi gas metana dari cairan rumen sapi. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 13(2), 69–78. <http://dx.doi.org/10.17146/jair.2017.13.2.3317>
55. Purnomo, O., Saputro, B., Cici, A., Shalsabilla, S. E., Fadila, D. S. R., Puspitasari, R. L., Tetriana, D., Syaputra, A. R., & **Sugoro, I.** (2021). Dosis sterilisasi kemasan lip gloss hasil iradiasi gamma. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 17(2), 89–96.
56. Puspitasari, R. L., **Sugoro, I.**, Elfidasari, D., & Perdana, A. T. (2018). Pengabdian kepada masyarakat pelatihan daur ulang sampah pada siswa sekolah dasar di SDN 03 Cempaka Putih, Ciputat, Tangerang Selatan. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*, 4(2), 91–94. <http://dx.doi.org/10.36722/sst.v4i2.269>
57. Putri, H. D., Elfidasari, D., Haninah, H., & **Sugoro, I.** (2022). Bahaya kandungan logam berat (Cd, Hg, Pb) pada produk olahan *Pterygoplichthys pardalis* asal Sungai Ciliwung Jakarta bagi kesehatan manusia. *Jurnal Pengolahan Pangan*, 7(1), 7–13.
58. Putri, H. D., Haninah, Elfidasari, D., & **Sugoro, I.** (2022). Kandungan nutrisi abon ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys pardalis*) asal Sungai Ciliwung, Indonesia. *Jurnal Pengolahan Pangan*, 7(1), 14–19. <https://doi.org/10.31970/pangan.v7i1.62>

59. Sari, A. F., Putri, L. S. E., Hariwibowo, D. R., Tamala, A. R., **Sugoro, I.**, Mujiyanto, A., & Ramadhan F. (2023). Isolasi dan identifikasi mikroorganisme dari produk ekoenzim WOP FST 1310. *Jurnal Penelitian Sains*, 25(3), 249–255. <https://doi.org/10.56064/jps.v25i3.876>
60. Shaffi, M.I., Dasumiati, Lasmawati, D., Maryono, M. Y., Junaidi, & **Sugoro, I.** (2022). Quality of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) gamma irradiation result in the second generation (MV2). *Al-Kauniyah: Jurnal Biologi*, 15(1), 88–95.
61. **Sugoro, I.** (2006). Seleksi dan karakterisasi isolat khamir sebagai bahan probiotik ternak ruminansia dalam cairan rumen kerbau. *Jurnal Pertanian Gakuryoku*, 12(1), 35–40.
62. **Sugoro, I.**, Astuti, D. I., Sasongko, D., & Adiawati, P. (2012). Biosolubilisasi lignit mentah hasil iradiasi gamma dan oleh *Trichoderma asperellum*. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 8(1), 21–30.
63. **Sugoro, I.**, & Djajanegara, I. (2011). Profil protein *Klebsiella pneumoniae* K3 pasca inaktivasi sinar gamma dan pemanasan suhu 65. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 9(1), 14–19.
64. **Sugoro, I.**, Hermanto, S., Indriani, D., Aditiawati, P. & Sasongko, D. (2010). Karakterisasi produk biosolubilisasi batubara oleh kapang T4 hasil isolasi dari tanah pertambangan Tanjung Enim Sumatera Selatan. *Jurnal Kimia Valensi*, 2(1), 325–332.
65. **Sugoro, I.**, Hermanto, S., Sasongko, D., Indriani, D., & Adiawati, P. (2011). Karakterisasi produk biosolubilisasi lignit oleh kapang indigenus dari tanah pertambangan batubara di Sumatera Selatan. *Jurnal Biologi Indonesia*, 7(2), 299–308.
66. **Sugoro, I.**, Kamila, N., & Elfidasari, D. (2016). Degradasi sorghum pada rumen kerbau dengan suplementasi probiotik BIOS-K2 secara in sacco. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 10(2), 103–112.

67. **Sugoro, I.**, Kuraesin, T., Pikoli, M. R., Hermanto, D., & Aditiawati, P. (2009). Isolasi dan seleksi fungi pelaku solubilisasi batubara subbituminus. *J. Biologi Lingkungan Al-Kauniyah*, 3, 75–87.
68. **Sugoro, I.**, & Pikoli, M. R. (2006). Effect of the growth of yeast in irradiated tapioca. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 2(1), 1–7.
69. **Sugoro, I.**, Pikoli, M. R., Kuraesin, T., & Aditiawati, P. (2009). Isolasi dan seleksi kapang pengsolubilisasi batubara. *Jurnal Biologi & Lingkungan Al-Kauniyah UIN Jakarta*, 2, 30–34.
70. **Sugoro, I.**, & Pikoli, M.R. (2006). Pertumbuhan khamir pada tapioka iradiasi. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 2(1), 1–7.
71. **Sugoro, I.**, & Pikoli, M. R. (2004). Uji viabilitas isolat khamir bahan probiotik dalam cairan rumen kerbau steril. *Jurnal Saintika FMIPA, UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta*, 35–60.
72. **Sugoro, I.**, & Tetriana, D. (2014). Kadar protein *Klebsiella pneumoniae* hasil pemanasan 65. *Al-Kauniyah: Jurnal Biologi*, 7(1): 40–44.
73. **Sugoro, I.**, Windusari, Y., Tetriana, D. (2008). Dosis inaktif dan kadar protein *Klebsiella pneumonia* K5 hasil iradiasi gamma. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 4(1), 60–68.
74. **Sugoro, I.**, & Yunianto, I. (2006). Pertumbuhan protozoa dalam cairan rumen kerbau yang disuplementasi tanian secara in vitro. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 2(2), 48–57.
75. Tetriana, D., & **Sugoro, I.** (2007). Aplikasi teknik nuklir dalam bidang vaksin. *Jurnal Alara*, 1.
76. Tuasikal, B. J., **Sugoro, I.**, Tjiptosumirat, T., & Lina, M. (2003). Pengaruh iradiasi sinar gamma pada pertumbuhan *Streptococcus agalactiae* sebagai bahan vaksin penyakit mastitis pada sapi perah. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 4(2), 137–149.

77. Ulfa, Z., Elfidasari, D., & **Sugoro, I.** (2016). Identifikasi khamir patogen pada kulit dan telinga anjing peliharaan. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*, 3(4), 213–220. <http://dx.doi.org/10.36722/sst.v3i4.236>
78. Undari, W., Susilowati, A., & **Sugoro, I.** (2008). Produksi biomassa sel khamir R1 dan R2 menggunakan substrat ekstrak ubi jalar dan ubi kayu dalam fermentor tipe *air-lift* skala 18 liter. *Biofarmasi*, 6(1), 8–15. <https://doi.org/10.13057/biofar/f060102>
79. Wahyono, T., Astuti, D. A., Jayanegara, A., Wiryawan, K. G., & **Sugoro, I.** (2019). Evaluasi fraksi serat untuk mengestimasi relative feed value pada tanaman sorgum galur mutan. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 15(2), 93–105.
80. Wahyono, T., Astuti, D. A., Wiryawan, K. G., & **Sugoro, I.** (2014). Pengujian ransum kerbau berbahan baku sorgum sebagai sumber serat secara in vitro dan in sacco. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 10(2), 113–126.
81. Wahyono, T., Hardani, S. N. W., & **Sugoro, I.** (2018). Low irradiation dose for sorghum seed sterilization: hydroponic fodder system and in vitro study. *Buletin Peternakan*, 42(3), 215–221.
82. Waryanti, **Sugoro, I.**, & Dasumiati. (2015). Angsana (*Pterocarpus indicus*) sebagai bioindikator untuk polusi di sekitar Terminal Lebak Bulus. *Al-Kauniyah Jurnal Biologi*, 8(1), 46–50.
83. Wicaksono, M.A., Nurhasanah, F., Elfidasari, D., & **Sugoro, I.** (2018). Cemaran mikroba pada telur penyu sisik (*Eretmochelys imbricata*) di Pulau Kelapa Dua, Taman Nasional Laut Kepulauan Seribu, DKI Jakarta. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*, 4(2), 83–90. <http://dx.doi.org/10.36722/sst.v4i2.266>
84. Widyawati, Y., Mardhotillah, A., & **Sugoro, I.** (2022). Sintesis bioetanol dari bagas sorgum Samurai 1 hasil hidrolisis enzimatis dan fermentasi oleh *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Konversi*, 11(1), 1–12.

85. Zain, N. M., Bachtiar, T., & **Sugoro, I.** (2018). Kontribusi nitrogen dari bakteri endofit pada tanaman padi. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 14(1), 1–10. <http://dx.doi.org/10.17146/jair.2018.14.1.4152>

Prosiding Internasional

86. Akbar, B. F., Rahmawati, Mujiyanto, A., Fadhlany, M. M., Rahma, F. J., Santiara, R., Nugroho, K. C. P., Shabirah, C. A., Anggraeni, A. P., Azizah, Y. N., Pratama, I. M., & **Sugoro, I.** (2024). Microorganisms analysis of gamma-irradiated white pomfret (*Pampus agenteus*, EUPHRASE, 1788). *International Conference on Nuclear Science, Technology, and Application (ICONSTA)*.
87. Ambudi, D. R. S., Rahayu, K. M., Pikoli, M. R., Cici, A., Shalsabilla, S. E., Rijal, M. S., Mulyanto, R. N. B., Fadila, D. S. R., Sanjaya, M. F., Menry, Y., Sambari, R. R., Mujiono, Ramadhan, F., Tetriana, D., Yunus, M. Y., Annisa, E., Hermanto., F. E., & **Sugoro, I.** (2024). Sulphate reducing bacteria (SRB) detection from pool water of Irradiator Gamma Karet alam (IRKA). *AIP Conference Proceedings*, 2967(1). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0192785>
88. Astuti, W. D., Widyastuti, Y., Fidriyanto, R., Ridwan, R., Rohmatussolihat, Sari N. F., Firsoni, & **Sugoro, I.** (2020). In vitro gas production and digestibility of oil palm frond silage mixed with different levels of elephant grass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 439, No. 1, p. 012022). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/439/1/012022>
89. Ernawan, B., Tambunan, U. S. F., **Sugoro, I.**, & Hadian, I. S. (2017). Effects of gamma irradiation dose-rate on sterile male *Aedes aegypti*. *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1854, No. 1). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.4985401>

90. Handayani, T., Rachim, A., Priyoatmojo, D., Tetriana, D., & **Sugoro, I.** (2019). Protein profiles of *Escherichia coli* inactivation results with gamma irradiation on doses 600–800 Gy. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 546, No. 6, p. 062009). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/546/6/062009>
91. Nafutomo, T. K., **Sugoro, I.**, Noriko, N., & Elfidasari, D. (2012). The analysis of pathogenic microorganism contamination on litterfall compost using three activators at Universitas Al Azhar Indonesia. *Proceeding of international seminar on science and technology innovation 2012* (pp. 35-43). UAI Press.
92. Rahayu, D. S., Ambarsari, L., Shalsabilla, S. E., Fadilah, A., Sanjaya, M. F., Sambari, R. R., Ramadhan, F., Rijal, M. S., Nadyaputri, I. G., & **Sugoro, I.** (2023). Sulphate-reducing bacteria (SRB) in interim storage of spent nuclear fuel. *IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1271, No. 1, p. 012057). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1271/1/012057>
93. **Sugoro, I.**, Maharani, Y., Hanani, M., Ansori, D., Wahyudiyanto, H., Rizqikah, A., Dasumiati, Wahyono, T., Firsoni, Sasongko, W. T., Fahmi, N., & Flatian, A. N. (2021). Labelling of corn as forage for ruminants using isotope ^{15}N . *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 902, No. 1, p. 012010). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/902/1/012010>
94. **Sugoro, I.**, Mujiyanto, A., Tetriana, D., Tjptosumirat, T., Tuasikal, B. J., Robifahmi, N., Rahma, F. J., Santiara, R., Fadhlany, M. M., & Yunus, M. Y. (2023). Bacterial communities of Irradiator Gamma Karet alam (IRKA) pool water. *IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 12711, No. 1, p. 012042). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1271/1/012042>

95. **Sugoro, I.**, Nuryanthi, N., Ermadevi, D. N. I., Khoiriyah, M., Santoso, N. A., Mangunwardoyo, W., & Darwis, D. (2019). The effect of fitosan supplementation on methane production in cow's rumen liquid by in vitro method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 546, No. 2, p. 022028). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/546/2/022028>
96. **Sugoro, I.**, Wahyono, T., Sihono, Sevtiyani, W., & Pikoli, R. M. (2016). Effect of vinasse from juice of sorghum var. Samurai 1 on the methane production by buffalo rumen microbial. *Proceeding of The 6th Annual Basic Science International Conference*. <https://www.researchgate.net/publication/296198471>
97. Syaifudin, M., Tetriana, D., Nurhayati, S., Rahardjo, T., & **Sugoro, I.** (2011). Developing malaria vaccine candidate with gamma rays: alteration of heat shock protein profiles post irradiation. *The 1st Annual Basic Science International Conference*.
98. Wahyono, T., Astuti, D. A., Jayanegara, A., Wiryawan, K. G., **Sugoro, I.**, Kurniawan, W., & Indriatama, W. M. (2022). Performance of local lambs fed total mixed rations based on forages with different sorghum cultivars. *Proceedings of the International Conference on Improving Tropical Animal Production for Food Security (ITAPS 2021)* (PP. 220-225). Atlantis Press. <http://dx.doi.org/10.2991/absr.k.220309.045>
99. Wahyono, T., Astuti, D. A., Wiryawan, K. G., **Sugoro, I.**, & Jayanegara, A. (2019). Fourier transform mid-infrared (FTIR) spectroscopy to identify tannin compounds in the panicle of sorghum mutant lines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 546, No. 4, p. 042045). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/546/4/042045>
100. Wahyono, T., Astuti, D. A., Wiryawan, K. G., **Sugoro, I.**, & Suharyono, S. (2015). Methane production and rumen fermentation characteristics of buffalo ration containing sorghum silage with rumen simulation technique (RUSITEC) methods. *The 6th International Seminar on Tropical Animal Production (ISTAP)* (PP. 138–142).

101. Wahyono, T., Human, S., Indriatama, W. M., Astuti, D. A., Jayanegara, A., **Sugoro, I.**, & Wiryawan, K. G. (2021). Growth performance and improvement of digestibility of new promising mutant lines sorghum in Indonesia by in vitro continuous rumen culture. *International Symposium on Sustainable Animal Production and Health*, 383.

Prosiding Nasional

102. Amalia, S. N., Elfidasari, D., & **Sugoro, I.** (2020). Pengaruh pemberian pakan kentang terhadap laju pertumbuhan benih ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys pardalis*) dan kualitas air akuarium pemeliharaan. *Prosiding SNPBS (Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek)* (pp. 646–653).
103. Bachtiar, T., Refina, E., Anggraeni, P., Zain, N. M., & **Sugoro, I.** (2013). Pengaruh pupuk organik cair terhadap kontribusi nitrogen yang ditentukan dengan teknik isotop ^{15}N dan pertumbuhan tanaman sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Prosiding Seminar Nasional Matematika, Sains, dan Teknologi*, 4(2013), 111–120.
104. Djajanegara, I., Risman, M., & **Sugoro, I.** (2010). Pengaruh induksi iradiasi gamma terhadap pertumbuhan dan kandungan gizi mikroalga *Spirulina platensis*. *Prosiding Simposium dan Pameran Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 287–298.
105. Elfidasari, D., **Sugoro, I.**, Ghifari, T., Wicaksono, M. A., Estika, A., & Primasatya, E. (2017). Cemaran mikroorganisme pada telur penyu di beberapa Kawasan konservasi dan penangkaran penyu Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Biologi Wallacea 2017: dari Sains Untuk konservasi*.
106. Firsoni, **Sugoro, I.**, Kurniawati, A., Wahidin, T. S., & Suharyono. (2003). Studi “In-vitro gas production” daun galur mutan sorgum sebagai pakan ternak ruminansia. *Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 131–136. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/5811>

107. Handayani, T., Tuasikal, B. J., & **Sugoro, I.** (2006). LD50 sinar gamma pada *Streptococcus agalactiae* untuk bahan vaksin iradiasi mastitis pada sapi perah. *Risalah Seminar Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi* (pp. 189–192).
108. Nabilah, D., Elfidasari, D., & **Sugoro, I.** (2020). Pengaruh pemberian pakan mentimun terhadap laju pertumbuhan ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys pardalis*) dan kualitas air di akuarium pemeliharaan. *Prosiding SNPBS (Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek) Ke-5* (pp. 699–705).
109. Primasatya, E., Elfidasari, D., & **Sugoro, I.** (2013). Identifikasi kandungan logam berat pada pasir sarang penyu hijau (*Chelonia mydas*). *Prosiding Seminar Nasional Matematika, Sains, dan Teknologi* (Vol 4, pp. B143–B150).
110. Putra, G. H. D., Sasaerila, H. Y., & **Sugoro, I.** (2020). Analisis faktor abiotik daerah aliran Sungai Ciliwung, Depok. *Prosiding SNPBS (Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek) Ke-5* (pp. 87–92).
111. Sari, A. F., Manguwardoyo, W., & **Sugoro, I.** (2017). Degradasi ampas dan serai wangi segar (*Cymbopogon nardus* L) dengan metode in sacco pada kerbau fistula. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner* (pp. 118–124).
112. Sasongko, W. T., & **Sugoro, I.** (2004). Fermentasi jerami padi varietas Atomita 4 secara basah dengan menggunakan inokulum campuran isolat bakteri anaerob fakultatif rumen kerbau. *Risalah Seminar Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi* (pp. 171–174).
113. **Sugoro, I.**, Gobel, I., & Lelananingtyas, N. (2005). Pengaruh probiotik khamir terhadap fermentasi dalam cairan rumen secara in vitro. *Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner* (pp. 455–459).

114. **Sugoro, I.**, Gobel, N., Lelaningtyas, & Pikoli, M. R. (2005). Produksi gas in vitro probiotik khamir ternak ruminansia. *Risalah Seminar Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi* (pp. 171–175).
115. **Sugoro, I.**, & Hermanto, S. (2009). Dosis inaktif dan kadar protein *Yersinia enterocolitica* hasil iradiasi gamma. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir* (pp. 305–310).
116. **Sugoro, I.**, Kurniawati, A., Firsoni, F., & Human, S. (2003). Pembuatan silase daun galur mutan sorgum dengan menggunakan inokulum campuran isolat bakteri rumen kerbau. *Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi* (pp. 143–150).
117. **Sugoro, I.** (2006). Optimasi sumber nitrogen probiotik khamir R1 dan R110 dalam medium ekstrak singkong. *Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner* (pp. 906–911).
118. **Sugoro, I.** (2004). Pengaruh tanin dan penambahan PEG terhadap produksi gas secara in vitro. *Risalah Seminar Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi*.
119. **Sugoro, I.**, Hermanto, S., Sasongko, D., Astuti, D. A., & Aditiawati, P. (2011). Bioliquefaksi lignit hasil interaksi mikroba indigenos dengan *Trichoderma asperellum*. *Prosiding Seminar Nasional Biologi: Inovasi Biologi dan Pembelajaran Biologi* (pp. 334–343).
120. **Sugoro, I.**, & Wahyono, T. (2016). Uji lapang probiotik BIOS K2 untuk suplementasi pakan sapi peranakan ongloe (PO). *Prosiding Seminar Nasional “Bioresource Untuk Pembangunan Ekonomi Hijau”*, 7, 80–86.
121. Sundari, N. N., & **Sugoro, I.** (2006). Daya adaptabilitas isolat khamir dalam cairan rumen kerbau steril sebagai bahan probiotik. *Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner*, 917–923.

122. Wahyono, T., Hardani, S. N. W., Ansori, D., Handayani, T., Priyoatmojo, D., Sihono, Firsoni, Sasongko, W. T., & **Sugoro, I.** (2018). Profil pencernaan in vitro tanaman sorgum hasil pemuliaan dengan mutasi radiasi. *Prosiding Seminar Nasional APISORA* (pp. 9–18).
123. Wahyono, T., & **Sugoro, I.** (2013). Pemanfaatan medium tapioka iradiasi untuk optimalisasi kondisi fermentasi isolat khamir R210. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir* (pp. 360–365).

Paten

124. Kosasih, K., **Sugoro, I.**, Pratama, B. M., & Effendi, D. (2018). Formula Pengembangbiakan Bibit Mikroba Rumen dengan Metode Upscale. Paten Terdaftar IDP000070433.
125. Kosasih, K., **Sugoro, I.**, Pratama, B. M., & Effendi, D. (2018). Formula untuk peningkatan produksi gas metana batubara pada kondisi reservoir dan metode pembuatannya. Paten Terdaftar IDP000051277.
126. Suharyono, **Sugoro, I.**, Widiawati, Y., Wahyono, T., Kusumaningrum, C. E., Kosasih, E. I., Adul, Ansori, D., Sobari. (2018). Pakan komplit ternak ruminansia model pellet dan proses pembuatannya. Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia. Paten Terdaftar IDP000053250.
127. Tjiptosumirat, T., Tuasikal, B.J., Darmawan, Cholil, M.Y.Y.B.I, Kusuma, A.T., **Sugoro, I.**, Robifahmi, N. (2024). Metode Radiasi gamma pada Mikroorganisme dalam Kondisi Suhu Rendah. Paten terdaftar P00202414588
128. Pribadi, D.P., Darmawan, Sanjaya, M.F., Purwanti, T., **Sugoro, I.** Proses Pembuatan Nanoperak Konsentrasi Tinggi Terstabilisasi Kitosan melalui Reduksi Radiolisis Radiasi Pengion Tanpa Penambahan Penangkal Radikal Bebas. Paten terdaftar P00202414674.

Lisensi

129. **Sugoro, I.**, Suharyono, Wahyono, T., Kusumaningrum, C. E., Ansori, D., & Adul. (2022). Perjanjian lisensi BRIN dan PT Juli Sapi Domba Oke – Paten Biasa: Pakan Komplit Ternak Ruminansia Model Pelet dan Proses Pembuatan.

Hak Cipta

130. Elfidasari, D., Gifari, T., & **Sugoro, I.** (2020). Poster : *Cemaran mikroorganisme dan korelasinya terhadap keberhasilan penetasan telur penyu hijau (Chelonia mydas) di UPTD Konservasi Penyu Pangumbahan Sukabumi*. Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia.
131. Elfidasari, D., Puspitasari, R. L., **Sugoro, I.**, Haninah, & Putri, H. D. (2019). Poster : *Identifikasi kandungan logam pada abon dan siomay berbahan dasar daging ikan sapu-sapu asal Sungai Ciliwung*. Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia.
132. Elfidasari, D., Wijayanti, F., Puspitasari, R. L., Prihatini, W., Fahmi, M. R., & **Sugoro, I.** (2020). Poster : *Bioekologi ikan sapu-sapu di sepanjang aliran Sungai Ciliwung*. Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama Lengkap : Irawan Sugoro
Tempat, Tanggal Lahir : Tasikmalaya, 18 Oktober 1976
Anak ke : 3 dari 4
Nama Ayah Kandung : Sudibyo
Nama Ibu Kandung : Kurniasih
Nama Instansi : Pusat Riset Teknologi Proses
Radiasi, Organisasi Riset Tenaga
Nuklir BRIN
Judul Orasi : Teknologi Nuklir dalam
Mikrobiologi Bidang Pertanian,
Kesehatan, Lingkungan dan Energi
Ilmu : Biologi
Bidang : Biologi Radiasi
Kepakaran : Mikrobiologi Radiasi
No. SK Pangkat Terakhir : Keppres Nomor 10/K Tahun 2024
Tanggal 17 Mei 2024
TMT 1 April 2024
No. SK Peneliti Ahli : Keppres Nomor 36/M
Utama Tahun 2023
Tanggal 18 Agustus 2023
TMT 10 Oktober 2023

B Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/PT	Kota/Negara	Tahun Lulus
1.	SD	SDN Inpres Angkasa	Biak/Indonesia	1989
2.	SMP	SMPN 3	Bandung/Indonesia	1992
3.	SMA	SMA Karya Pembangunan	Bandung/Indonesia	1995
4.	S-1	Institut Teknologi Bandung	Bandung/Indonesia	1999
5.	S-2	Institut Teknologi Bandung	Bandung/Indonesia	2002
6.	S-3	Institut Teknologi Bandung	Bandung/Indonesia	2012

C. Pendidikan Non-Formal

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1.	Proteksi Radiasi	Pusdiklat BATAN	2001
2.	Nuclear Application for Determination of Tannin and Related Methods	Pakistan	2006
3.	Nuclear Application for Genetic Animal Breeding	Korea	2009
4.	TOT Widyaiswara Luar Biasa	LIPI/Jakarta	2013
5.	Leadership Development Program	LIPI/Jakarta	2015

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
6.	Research Management Training – MDF Training and Consultancy	Balanda	2015
7.	Kepemimpinan Tk 3	PPMKP – Kementan/ Bogor	2017
8.	Pelatihan Evaluasi Kualitas Pakan dan Ekologi Rumen untuk Meningkatkan Produktivitas Sapi Potong dan Sapi Perah	LIPI	2017
9..	RCA Methodologies and Mechanism for Screening Against Abiotic Stresses	PAIR, BATAN Jakarta	2018
10..	Manajemen Pengetahuan Nuklir	Pusdiklat BATAN/Jakarta	2018
11.	Penyusunan Renstra BATAN	Magister Administrasi Publik Fisipol UGM/ Yogyakarta	2018
12.	Evaluasi Kualitas Pakan dan Ekologi Rumen	LIPI Cibinong/ Bogor	2018
13.	Pelatihan Manajemen Pengetahuan Nuklir	Mark Plus	2019
14.	Analisis Kebijakan Publik	Fisipol UGM/ Yogyakarta	2019

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
15.	ASEAN Workshop on 4 th Industrial Revolutions: AI Implementation in Energy Efficiency, Cyber Security, and Agriculture	Jakarta	2020
16.	<i>Joint Symposium between Indonesia-Japan on Nuclear Applications – JAEA</i>	JAEA/ Jepang	2020
17.	Training Effective Communication Collaboration	Mark Plus/ Jakarta	2020
18.	ToT Problem Solving	Mark Plus/ Jakarta	2020
19.	Training of Trainer (TOT) Managing Innovation and Change	Mark Plus/ Jakarta	2020
20.	Analisis Metagenomik Bakteri (NGS)	INBIO/Malang	2020
21.	<i>Program Research and Innovation in Science and Technology Project (RISET-Pro)</i> tentang Resterilisasi APD Bekas Pakai dengan Menggunakan Iradiasi Gamma	Riset-Pro	2020
22.	CI-EL Program	Mark Plus/ Jakarta	2021

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
23.	Application of Next Generation Sequencing for Rhizosfer Microbes Population on Batan Superior Variety to Support Food Security	INBIO/Malang	2022
24.	Leadership 5.0 Agile People Development Smart Decision with Data	Mark Plus/ Jakarta	2022
25.	National Seminar for Senior Manager on Nuclear Security Culture	IAEA/Jakarta	2022

D. Jabatan Struktural

No.	Jabatan	Instansi	Tahun Menjabat
1.	Kepala Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi	Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi, Organisasi Riset Tenaga Nuklir, BRIN	2022–sekarang
2.	Kepala Bidang Pertanian	Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN	2016–2020

E. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Peneliti Ahli Pertama	1 April 2005
2.	Peneliti Ahli Madya	1 September 2009
3.	Peneliti Ahli Utama	10 Oktober 2023

F. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1.	Delegasi FNCA the 19 th Ministerial Level Meeting-Indonesia	BATAN	2019
2.	Penanggung Jawab Pusat Unggulan Iptek Aplikasi Isotop dan Radiasi	BATAN	2018–2019
3.	Anggota Tim National Science Techno Park di Kawasan Nuklir Pasar Jumat	BATAN	2018–2019

G. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

Kegiatan Ilmiah di Luar Negeri

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1.	Joint Symposium between Indonesia – Japan on Nuclear Application	Peserta	IAEA, Jepang	2020

Kegiatan Ilmiah di Dalam Negeri

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara	Tahun
1.	Audit Internal KNAPP dan KAN di PAIR BATAN	Ketua	Jakarta	2016

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara	Tahun
2.	Proteksi Radiasi	Pengajar	Pusdiklat BATAN, Jakarta	2018–2020
3.	Pelatihan Analisis Kebijakan Publik	Peserta	Magister Administrasi Publik FISIPOL UGM	2019
4.	Laboratory Training with Genom	Narsum	Kelompok Studi Biologi Genom Jurusan Biologi, FST, UIN Jakarta	2019
5.	Seminar Kesehatan : Penyakit Tropis - Penyebab, dampak dan Peluang Strategi Intervensi	Peserta	Kemenkes, Bandung	2019
6.	Pengenalan Bahan Ajar Iptek Nuklir bagi kalangan Guru SMA dan MA Bidang IPA Tingkat Nasional	Pengajar	PDK, BATAN	2019–2020
7.	Pengenalan Bahan Ajar Iptek Nuklir bagi kalangan Guru SMA dan MA Bidang IPA Provinsi Kalbar	Pengajar	PDK, BATAN	2019–2020

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara	Tahun
8.	Pelatihan Proteksi Radiasi bagi Pegawai Baru 19 Maret - 22 April 2020	Pengajar	Pusdiklat BATAN	2019–2021
9.	Webinar Aplikasi Nuklir untuk Pangan Masa Depan	Narsum	Prodi Biologi FST UIN, Jakarta	2020
10.	Pelatihan Effective Communication and Collaboration	Pengajar	Pusdiklat BATAN, Jakarta	2021
11.	Pelatihan Pengelolaan Inovasi dan Perubahan	Pengajar	Pusdiklat BATAN, Jakarta	2021
12.	Nuclear Youth Summit 2021	Pembicara	BATAN	2021
13.	National Seminar for Senior Manager on Nuclear Security Culture	Peserta	IAEA, Jakarta	2022
14.	Seminar Nasional STTN	Pembicara	STTN, Yogyakarta	2019

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara	Tahun
15.	Joint Symposium between Indonesia – Japan on Nuclear Application	Peserta	IAEA, Jepang	2020
16.	1 st International Conference on Livestock in Tropical Environment (ICLiTE-1)	Peserta	Surakarta, Indonesia	2021
17.	10 th The Basic Science International Conference: Science and Technology for Nourishing Community Life Post Pandemic Era	Peserta	Malang, Indonesia	2022
18.	ASEAN Workshop on 4 th Industrial Revolutions: AI Implementation in Energy Efficiency	Peserta	Jakarta, Indonesia	2022

H. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1.	Jurnal Biologi Al - Kauniyah	FST – UIN Syarif Hidayatullah	Reviewer	2007– sekarang
2.	Jurnal Aplikasi Isotop dan Radiasi	BATAN	Reviewer	2008 - 2024
3.	I-CONCERN	AIP	Reviewer	2019
4.	Iconsta	IOP	Reviewer	2020– 2021
5.	Jurnal Aplikasi Isotop dan Radiasi	BATAN	Editor	2020
6.	Journal of Applied Microbiology	Oxford Academic	Reviewer	2023
7.	Trends in Sciences	Walailak University	Reviewer	2023– sekarang
8.	Journal of Agriculture Sciences (JIPI)	IPB	Reviewer	2024

I. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Sebagai penulis tunggal	3
2.	Bersama penulis lainnya	129
Total		132

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	84
2.	Bahasa Inggris	48
Total		132

J. Pembinaan Kader Ilmiah Pejabat Fungsional Peneliti

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Teguh Wahyono	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2013–2021
2.	C. E. Kusumaningrum	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2013–2021
3.	Devita Tetriana	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2008–2024
4.	Nur Robifahmi	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2018
5.	Taufik Bahtiar	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2013
6.	Tri Handayani	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2006
7.	Akhmad Rasyd Saputra	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2021
8.	Bimo Saputro	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2021
9.	Rizka Fitriana	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2021

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
10.	Marrisa Arlinka	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2021
11.	Yaya Ulumudin	LIPI/ BRIN	Pembimbing	2022
12.	Marina Y. Maryono	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2022
13.	Ania Citraresmini	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2015
14.	M. Fajar Sanjaya	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2022
15.	Rahmat Ramdani Sambari	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2022
16.	Dyah Sulistyani Rahayu	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2022–2024
17.	Boky J. Tuasikal	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2009
18.	Adelia Yunus	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2021
19.	Sihono	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2016
20.	Hanna Yasmine	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2021
21.	Firsoni	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2004–2021
22.	Wahidin T. Sasongko	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2004–2021

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
23.	Adria P. Murni	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2015
24.	Anggi N. Flatian	BATAN/ BRIN	Pembimbing	2022

Mahasiswa

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Dede Mahdiah	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2004
2.	Lies Saodah	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2004
3.	Akhmad Danial	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2005
4.	Syaiful Bahri	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2005
5.	Aji Gustam Nusmansyah	Farmasi, ISTN	Pembimbing	2005
6.	Masitha Wahida Sholiha	Farmasi, ISTN	Pembimbing	2005
7.	Nadya Citra Amalia	Farmasi, ISTN	Pembimbing	2005
8.	Nurdiana Rahmatika	Farmasi, ISTN	Pembimbing	2005
9.	Tichan Mutzz	Farmasi, ISTN	Pembimbing	2005
10.	Tiwi Wijaya	Farmasi, ISTN	Pembimbing	2005

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
11.	Tri Yuslita Sandra	Farmasi, ISTN	Pembimbing	2005
12.	Widari Santi	Farmasi, ISTN	Pembimbing	2005
13.	Zainal Abidin	Farmasi, ISTN	Pembimbing	2005
14.	Waryanti	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2006
15.	Heni Fajriah	Prodi Kimia, UIN Jakarta	Pembimbing	2006
16.	Rudi Nurcahyo	Prodi Kimia, UIN Jakarta	Pembimbing	2006
17.	Ayu Wahyunita	Farmasi, UIN Jakarta	Pembimbing	2006
18.	Chadijah Hakim	Farmasi, UIN Jakarta	Pembimbing	2006
19.	Diana Rahmawati	Farmasi, UIN Jakarta	Pembimbing	2006
20.	Mardani Bonyx	Farmasi, UIN Jakarta	Pembimbing	2006
21.	Mia Yuarita	Farmasi, UIN Jakarta	Pembimbing	2006
22.	Rahmat	Farmasi, UIN Jakarta	Pembimbing	2006
23.	Siti Rocma	Farmasi, UIN Jakarta	Pembimbing	2006
24.	Fatimah Wibowo	Farmasi, ISTN	Pembimbing	2006

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
25.	Mely Yuska Fitasari	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2007
26.	Yusuf	TPP, SITH ITB	Pembimbing	2020
27.	Hasna Dila Sari	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2020
28.	Istiani Azzar Rifqi	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2020
29.	Sukma Chintia	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2020
30.	M. Dimas Septeyadi	Prodi Kimia, FST UIN Jakarta	Pembimbing	2020
31.	Teguh Wahyono	S-3 Peternakan UB	Pembimbing	2021
32.	Lusi Anggraini	Prodi Kimia, FST UIN Jakarta	Pembimbing	2021
33.	Tom Ibnu	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2021
34.	Ade Cici	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2022
35.	Dany Ari Febriyan	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2022
36.	Diannisa Syahwa R.	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2022
37.	Moh. Syamsul Rijal	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2022

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
38.	Syalwa W. Shalsabila	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2022
39.	Kiki Nurmaya	TPP, SITH ITB	Pembimbing	2022
40.	Nisrina Qoulam Tsaqila	TPP, SITH ITB	Pembimbing	2022
41.	Yanuar Tampubolon	TPP, SITH ITB	Pembimbing	2022
42.	Afni N.F. Sadikin	Prodi Kimia, FST UIN Jakarta	Pembimbing	2022
43.	Dian Pribadi Perkasa	SPS S-3 Biomedis, UI	Penguji	2023
44.	Nana Mulyana	S2 Biologi, UNAS	Pembimbing	2023
45.	Alma Fadilah	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2023
46.	Afifah Sholihah	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2023
47.	Azila Rizqikah	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2023
48.	Feby Triutama	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2023
49.	Nurul Akhirati Hasanah	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2023
50.	Putri Permata U. Andini	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2023

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
51.	Olivera Purnomo	Biotech, UAI	Pembimbing	2023
52.	Nabillah Febby Khorunnisa	THP, FPIK IPB	Pembimbing	2023
53.	Dyah S. Rahayu	S-2 Biokimia IPB	Pembimbing	2024
54.	Arisna Restiana	Biotech, UAI	Pembimbing	2024
55.	Diana Regi Sekar Ambudi	Biotech, UAI	Pembimbing	2024
56.	Akhmad Rizky Saputra	Biotech, UAI	Pembimbing	2024
57.	Bagus Adji	Biotech, UAI	Pembimbing	2024
58.	Dimas Chandra	Biotech, UAI	Pembimbing	2024
59.	Aldi Mujiyanto	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2024
60.	Firly Junia Rahma	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2024
61.	M. Miqdad Fadhlany	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2024
62.	Rifa Santiara	Prodi Biologi, UIN Jakarta	Pembimbing	2024
63.	Suci Febri Chania	Prodi Biologi, FMIPA UNP	Pembimbing	2024
64.	Agustin Puspita Anggraeni	Prodi Biologi, FMIPA UNS	Pembimbing	2024

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
65.	Carissa Azmi Shabirah	Prodi Biologi, FMIPA UNS	Pembimbing	2024
66.	Deden Dharmawan	Dep. Kimia, FMIPA UI	Pembimbing	2024
67.	Bani F. Akbar	Prodi Biologi, FMIPA UTP	Pembimbing	2024
68.	Kevin C.P. Nugroho	Prodi Biologi, FMIPA UNS	Pembimbing	2024

K. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Pengurus Bidang Diseminasi, Publikasi dan IT	HILPI	2019–2023
2.	Anggota	HIMPENINDO	2019–2023
3.	Anggota	PPI	2021
4.	Anggota	PBI	2022
5.	Anggota	HILPI	2023
6.	Anggota	Applied Microbiology International (AMI)	2024
7.	Anggota	Mikoina	2012– ...

L. Tanda Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Peneliti Teladan	PAIR – BATAN	2007
2.	Best Paper Award – Journal of Atom Indonesia	PAIR – BATAN	2011
3.	Satyalancana Karya Satya X	Presiden RI	2012
4.	108 Inovator untuk Karya Inovasi Formulasi Mikroba Cairan Rumen untuk Peningkatan Volume Gas Metana Batubara (GMB)	BIC	2018
5.	Satyalancana Karya Satya XX	Presiden RI	2022

Dalam membangun riset mikrobiologi yang kuat, diperlukan teknologi pendukung. Salah satu teknologi yang turut berperan penting adalah teknologi nuklir. Teknologi nuklir dalam ilmu mikrobiologi dapat berperan di level riset dasar maupun terapan. Orasi ini menyampaikan tentang peran teknologi nuklir di bidang mikrobiologi. Hal ini mencakup penjelasan tentang bagaimana teknologi nuklir berupa radiasi, perunut, dan deteksi serta bioprospeksi dapat berkontribusi menghasilkan produk yang bermanfaat untuk masyarakat dan industri. Orasi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang bagaimana integrasi teknologi nuklir dalam penelitian dan pengembangan riset mikrobiologi di bidang pertanian, kesehatan, lingkungan, dan energi.

Pada masa yang akan datang, riset mikrobiologi yang didukung teknologi nuklir akan menjadi bagian penting untuk menyelesaikan berbagai permasalahan yang dihadapi Indonesia. Riset ini dapat mengambil peran dan turut mengakselerasi terwujudnya program pemerintah yang tertuang di dalam RPJMN 2025–2029 terkait swasembada pangan, air dan energi, eradikasi penyakit menular, dan pelestarian lingkungan hidup.

BRIN Publishing
The Legacy of Knowledge

Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Gedung B.J. Habibie Lt. 8,
Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kota Jakarta Pusat 10340
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.1962



ISSN 3090-8485



Buku ini tidak diperjualbelikan.