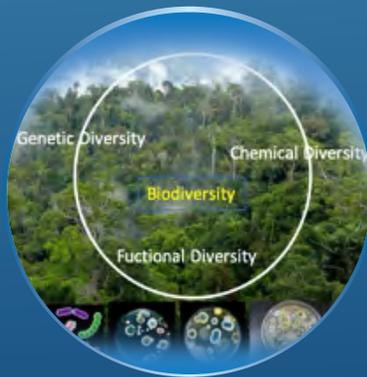




**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
BIDANG MIKROBIOLOGI**

**BIOTRANSFORMASI SENYAWA NITRIL
DAN POTENSI PEMANFAATANNYA
DALAM INDUSTRI KIMIA,
FARMASETIKA DAN LINGKUNGAN**



**OLEH:
BAMBANG SUNARKO**

**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL
JAKARTA, 25 NOVEMBER 2022**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

**BIOTRANSFORMASI SENYAWA NITRIL
DAN POTENSI PEMANFAATANNYA
DALAM INDUSTRI KIMIA,
FARMASETIKA, DAN LINGKUNGAN**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Diterbitkan pertama pada 2022 oleh Penerbit BRIN

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



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution Non-commercial Share Alike 4.0 International license (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

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



**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
BIDANG MIKROBIOLOGI**

**BIOTRANSFORMASI SENYAWA NITRIL
DAN POTENSI PEMANFAATANNYA
DALAM INDUSTRI KIMIA,
FARMASETIKA, DAN LINGKUNGAN**

**OLEH:
BAMBANG SUNARKO**

**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL
JAKARTA, 25 NOVEMBER 2022**

© 2022 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Pusat Riset Mikrobiologi Terapan

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Biotransformasi Senyawa Nitril dan Potensi Pemanfaatannya dalam Industri Kimia, Farmasetika, dan Lingkungan/Bambang Sunarko–Jakarta: Penerbit BRIN, 2022.

ix + 71 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-623-8052-23-3 (cetak)
978-623-8052-22-6 (e-book)

1. Senyawa Nitril
2. Biotransformasi/Biokatalisis
3. Enzim/Biokatalis

547

Copy editor : Sarah Fairuz
Proofreader : Prapti Sasiwi & Dhevi E.I.R. Mahelingga
Penata Isi : Dhevi E.I.R. Mahelingga
Desainer Sampul : S. Imam Setyawan

Cetakan Pertama : November 2022



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie, Jl. M.H. Thamrin No. 8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340

Whatsapp: 0811-8612-369

E-mail: penerbit@brin.go.id

Website: penerbit.brin.go.id

 PenerbitBRIN
 Penerbit_BRIN
 penerbit_brin

BIODATA RINGKAS



Bambang Sunarko, lahir di Trenggalek, Jawa Timur, pada tanggal 13 Juni 1958 adalah anak pertama dari enam bersaudara dari pasangan Bapak Sumiran dan Ibu Sartiyah (Almh.). Menikah dengan Noor Noorlaela, S.Pd dan dikarunia tiga orang anak, yaitu Rizki Ekananda M.Si, Widi Dwinanda S.Kom, dan Firmansyah Trinanda.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 3/M Tahun 2022 tanggal 19 Januari 2022 diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama terhitung mulai tanggal 1 Oktober 2021.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional 317/I/HK/2022 tanggal 3 November 2022 tentang Pembentukan Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan pidato pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri Surodakan II tahun 1971, Sekolah Menengah Pertama Negeri Trenggalek tahun 1974, Sekolah Menengah Atas Negeri Trenggalek tahun 1977. Memperoleh gelar Sarjana Pertanian (Ir.) dari Institut Pertanian Bogor (IPB) tahun 1982, dan gelar Doktor rerum naturalium (*Dr. rer. nat.*) dari Universitas Bayreuth, Jerman tahun 1995.

Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Bidang Bioproses, Puslit Bioteknologi (2001–2006), Kepala Pusat Penelitian Biologi-LIPI (2013–2014), dan Kepala Pusat Penelitian Bioteknologi-LIPI (2014–2018).

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Ajun Peneliti Muda tahun 1996, Ajun Peneliti Madya tahun 2000, Peneliti Madya golongan IV/b tahun 2004, Peneliti Madya golongan IV/c tahun 2009, dan jabatan Ahli Peneliti Utama golongan IV/d bidang Mikrobiologi tahun 2016.

Selama meniti karier di bidang mikrobiologi, telah menghasilkan 52 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 16 KTI ditulis dalam bahasa Inggris dan 1 dalam bahasa Jerman.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing dan penguji skripsi (S1), thesis (S2), dan disertasi (S3) mahasiswa dari berbagai universitas, seperti UI, IPB, Undip, dan Universitas Trisakti; sebagai pengajar dan pembimbing dalam Diklat Fungsional Peneliti, Pusbindiklat-LIPI; dan pernah menjabat sebagai tenaga pengajar luar biasa di Universitas Trisakti untuk Strata 1 (1999–2014) dan di Universitas Indonesia untuk Strata 2 (2003–sekarang).

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, antara lain sebagai Sekretaris Jenderal Perhimpunan Biologi Indonesia (PBI) (2013–2017) sebagai *National Focal Point of Sub-Committee on Bio-technology*, ASEAN (2014–2018) dan *Chair of Sub-Committee on Biotechnology*, ASEAN (2018); anggota Hipenindo/PPI (2019–sekarang), Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia (PERMI) (1995–sekarang), Konsorsium Bioteknologi Indonesia (KBI) (2003–2005 dan 2014–2018), serta anggota *American Society of Microbiology* (ASM) tahun 1995.

Menerima tanda penghargaan Satyalancana Karya Satya X (tahun 2003), XX (tahun 2007), XXX (tahun 2015), dan Satyalancana Pembangunan (tahun 2019) dari Presiden RI.

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS	v
PRAKATA PENGUKUHAN	ix
I. PENDAHULUAN	1
II. Biotransformasi Senyawa Nitril dalam Perspektif	4
2.1 Arti Penting Senyawa Nitril dan Proses Biotransformasinya....	4
2.2 Perkembangan Riset Biotransformasi Senyawa Nitril	6
2.3 Penerapan Mikroba/Enzim Nitril Hidratase dalam Biosintesis Senyawa Amida dan Asam Karboksilat.	11
III. PENERAPAN BIOTRANSFORMASI SENYAWA NITRIL DALAM INDUSTRI KIMIA, FARMASETIKA, DAN LINGKUNGAN.....	13
3.1 Aplikasi dalam Industri Kimia	13
3.2 Aplikasi dalam Industri Farmasetika	15
3.3 Aplikasi dalam Bioremediasi dan Lingkungan	17
3.4 Peluang dan Tantangan	19
IV. PROSPEK PEMANFAATAN SUMBER DAYA MIKROBA INDONESIA UNTUK PENGEMBANGAN BIOKATALIS	21
4.1 Potensi dan Tantangan Pemanfaatan Sumber Daya Indonesia...	21
4.2 Arah dan Strategi Penelitian dan Pengembangan	22
V. KESIMPULAN.....	24
VI. PENUTUP.....	26
UCAPAN TERIMA KASIH	28
LAMPIRAN.....	36
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	45
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA.....	51
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	56

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PRAKATA PENGUKUHAN

Assalaamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

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

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat 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.

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

**“BIOTRANSFORMASI SENYAWA NITRIL DAN
POTENSI PEMANFAATANNYA DALAM INDUSTRI
KIMIA, FARMASETIKA, DAN LINGKUNGAN”**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

I. PENDAHULUAN

Sebagai dampak dari semakin meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap kualitas hidup dan semakin ketatnya regulasi untuk menekan pencemaran lingkungan, industri dituntut untuk memanfaatkan proses bersih (*green chemistry*) dalam memproduksi barang dan jasa. Proses bersih merupakan proses yang mampu menekan jumlah limbah, mengurangi konsumsi energi, dan yang memihak pada penggunaan sumber daya terbarukan. Penerapan proses ini tidak hanya untuk menekan pencemaran atau memenuhi regulasi semata, namun diharapkan juga untuk meningkatkan daya saing industri yang bersangkutan.

Salah satu strategi industri untuk menerapkan proses bersih adalah dengan melibatkan biokatalisis dalam proses produksinya. Biokatalisis adalah suatu proses kimiawi yang menggunakan katalis biologis (biokatalis). Proses ini dianggap sebagai proses yang bersih, ekonomis dan dalam beberapa hal, mampu menjembatani berbagai reaksi yang tidak mudah dilakukan dengan metode kimia biasa. Selain itu, tidak hanya efektif untuk transformasi senyawa-senyawa organik 'alami', biokatalis juga mampu menjembatani reaksi serupa untuk 'non-alami'. Atas dasar itu, pemanfaatan biokatalis dalam industri kimia terus meluas, makin beragam, dan bahkan diproyeksikan makin penting di masa depan. Sejauh ini, tidak kurang dari 150 proses biokatalisis telah diterapkan dalam industri¹.

Dalam tiga dasawarsa terakhir ini, peran mikroba/enzim sebagai biokatalis dalam sintesis senyawa kimia meningkat dengan tajam^{2,3}. Sebagai biokatalis, mikroba/enzim mempunyai karakteristik yang menarik, yaitu sangat spesifik, aktif dalam kondisi 'normal', mudah didapat, dan ramah lingkungan. Selain itu, berbagai reaksi yang dijembatannya seringkali mempunyai

kemo-, regio-, dan stereospesifitas tinggi. Karenanya, metode ini dipercaya akan menjadi proses inti dalam industri kimia, terutama untuk memproduksi senyawa yang sulit atau tidak dapat dilakukan dengan proses kimia konvensional.

Akhir-akhir ini, mikroba/enzim pendegradasi nitril (nitrilase, nitril hidratase, dan amidase) menjadi perhatian para akademisi dan praktisi industri, karena mempunyai potensi yang besar sebagai biokatalis dalam proses industri kimia, farmasetika, dan pengendalian pencemaran lingkungan. Proses biotransformasi yang melibatkan mikroba/enzim pendegradasi nitril, menawarkan proses yang lebih kompetitif dibandingkan proses kimiawi. Selain mampu menghidrolisis berbagai macam senyawa nitril, proses tersebut menunjukkan selektivitas, spesifitas, dan produktivitas yang tinggi, serta berlangsung dalam kondisi ringan (*mild conditions*), dan tidak menghasilkan produk samping⁴.

Sebagai salah satu pusat keanekaragaman hayati dunia (*mega biodiversity*)⁵, Indonesia mempunyai kekayaan sumber daya mikroba sangat tinggi yang memberikan keunggulan komparatif sebagai pemasok bahan pangan, keperluan industri, dan penyangga lingkungan hidup di planet ini. Sumber daya mikroba ini merupakan modal yang sangat penting bagi Indonesia untuk pembangunan daya saing, terutama dalam ekonomi hijau (*green economy*). Kesempatan untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya mikroba Indonesia makin terbuka dengan berkembangnya bioteknologi. Potensi yang sebelumnya tidak pernah terbayangkan, dapat diungkap, dan dimanfaatkan sehingga nilai tambah sumber daya tersebut dan produk turunannya dapat ditingkatkan.

Selama kurang lebih 30 tahun dalam karir peneliti, penulis telah melakukan kegiatan bioprospeksi, yaitu penggalian dan

pengkajian potensi sumber daya mikroba Indonesia, terutama dalam kaitannya dengan kemampuan sumber daya tersebut dalam mendegradasi senyawa nitril/sianida, serta menjajaki kemungkinan aplikasi sumber daya tersebut sebagai biokatalis untuk pemecahan masalah lingkungan, industri kimia, dan farmasetika (Lampiran Gambar 1). Hasil penelitian tersebut, selain untuk pengayaan khazanah ilmu pengetahuan, diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai sarana untuk pengembangan proses bersih di Indonesia. Tidak hanya untuk industri yang terkait dengan nitril/sianida saja, hasil yang diperoleh diharapkan juga dapat digunakan sebagai model penelitian, pengembangan, dan pemanfaatan mikroba Indonesia sebagai biokatalis untuk berbagai proses industri penting lainnya.

Dalam naskah orasi ini, dipaparkan *state of the art*, penelitian, pengembangan, dan pemanfaatan mikroba/enzim pendegradasi nitril saat ini, termasuk dari sumber daya mikroba Indonesia, serta perspektif tentang riset dan potensi penerapannya dalam industri kimia, farmasetika, dan lingkungan di masa depan.

II. BIOTRANSFORMASI SENYAWA NITRIL DALAM PERSPEKTIF

Senyawa nitril/sianida, proses biotransformasi senyawa tersebut, dan mikroba/enzim yang terlibat di dalamnya mempunyai arti penting secara komersial maupun secara akademik. Sejauh ini, berbagai upaya/riset untuk mempelajari dan mengaplikasikan proses biotransformasi nitril untuk mensintesis berbagai intermediat penting industri kimia, farmasetika, dan komoditas lainnya telah banyak dilakukan. Selain nilai sintetikanya, proses biotransformasi tersebut juga berperan penting dalam melindungi lingkungan karena kemampuannya dalam mendetoksifikasi senyawa nitril yang toksik.

2.1 Arti Penting Senyawa Nitril dan Proses Biotransformasinya

Senyawa nitril merupakan kelompok senyawa organik yang memiliki ikatan karbon-nitrogen (-CN) sebagai gugus fungsionalnya. Sebagian besar senyawa ini mempunyai toksisitas tinggi, bahkan banyak di antaranya bersifat mutagenik dan karsinogenik. Senyawa nitril tersebar luas di lingkungan, karena selain dihasilkan secara alami oleh berbagai jenis tumbuhan, hewan, maupun mikroorganisme, senyawa ini juga diproduksi dan dimanfaatkan oleh industri secara luas.

Secara alami, senyawa nitril merupakan metabolit yang mempunyai beragam fungsi. Dalam kondisi stres, misalnya, beberapa jenis tumbuhan, mikroba, serangga, dan arthropoda memproduksi senyawa nitril sebagai bagian dari sistem pertahanan dan berperan penting dalam interaksi antara mikroorganisme dengan tumbuhan⁶. Sejauh ini, tidak kurang dari 3000 jenis tumbuhan dilaporkan memproduksi senyawa nitril, termasuk di dalamnya berbagai sumber bahan pangan, seperti

ketela pohon, talas, gadung, dan lain-lain⁷, yang berdampak pada keamanan pangan bila dikonsumsi tanpa pengolahan yang tepat.

Selain itu, senyawa nitril juga mempunyai nilai ekonomi yang tinggi. Meskipun sebagian besar sangat toksik, senyawa ini banyak diproduksi dalam skala besar dan digunakan industri sebagai komponen penting untuk sintesis berbagai senyawa obat, pestisida, pigmen, dan berbagai senyawa kimia lainnya⁸. Asetonitril (CH_3CN), misalnya, banyak digunakan dalam industri kimia dan farmasetika sebagai pelarut dan pengekstrak, sebagai bahan baku industri plastik, fotografi, dan absorben. Akrilonitril ($\text{CH}_2=\text{CH-CN}$) merupakan intermediat penting untuk produksi serat akrilik, karet sintetis, dan juga insektisida. Sedangkan, KCN atau NaCN digunakan secara ekstensif dalam industri pertambangan sebagai pengekstrak logam mulia dari bahan tambang⁹. Selain itu, bukan saja senyawa nitril, senyawa turunannya, yaitu senyawa amida dan asam karboksilat, juga mempunyai peran penting dalam industri kimia dan farmasetika, seperti asam akrilat, butiramida, dan asam mandelat².

Mengingat besarnya nilai ekonomi, luasnya penyebaran dan dampak yang diakibatkan terhadap lingkungan/kesehatan, hidrolisis senyawa nitril merupakan proses yang penting bagi industri kimia. Walaupun hidrolisis secara kimiawi dapat dilakukan, namun reaksinya berlangsung dalam kondisi 'keras' (*harsh conditions*), yang memerlukan asam/basa kuat dan suhu/tekanan tinggi. Selain itu, metode ini menghasilkan produk samping dan/atau sejumlah besar garam anorganik sebagai limbah¹⁰. Dalam perspektif industri saat ini, metode kimiawi dianggap kurang memenuhi syarat sebagai proses bersih.

Berbagai laporan penelitian, termasuk hasil penelitian kami, menunjukkan bahwa proses biotransformasi, yang melibatkan mikroba/enzim pendegradasi nitril, mempunyai

beberapa keunggulan dibandingkan proses kimiawi. Proses biotransformasi dapat berlangsung dalam kondisi ‘ringan’ (*mild condistions*) dan tidak memerlukan asam/basa kuat dan suhu/tekanan tinggi sehingga energi dan biaya yang dibutuhkan, serta dampak lingkungan yang dihasilkan jauh lebih kecil. Selain itu, beragam senyawa nitril dapat dihidrolisis dengan spesifisitas dan selektivitas tinggi^{10,11}. Atas pertimbangan itu, biotransformasi nitril merupakan metode alternatif yang tepat sebagai sarana untuk detoksifikasi limbah buangan (bioremediasi), dan untuk memproduksi (biosintesis) berbagai senyawa amida dan asam karboksilat yang penting bagi industri^{11,12}.

2.2 Perkembangan Riset Biotransformasi Senyawa Nitril

Penelitian tentang biotransformasi senyawa nitril diawali oleh Thimann dan Mahadevan pada tahun 1964. Mereka melaporkan keberadaan enzim dalam daun tanaman gandum (*barley*) yang mengonversikan indol-asetonitril menjadi hormon pertumbuhan, asam indol-asetat (IAA)¹³. Sedangkan, aktivitas enzim pendegradasi nitril dalam mikroorganisme pertama kali ditemukan pada tahun 1982 oleh Asano dan tim dalam bakteri *Arthrobacter* sp. J1. Pada tahun 1985, spesies bakteri tersebut, yang diidentifikasi ulang sebagai *Rhodococcus rhodochrous* J1, digunakan oleh Nitto Chemical Industry (Jepang) untuk memproduksi akrilamida secara komersial dengan kapasitas produksi 30.000 ton akrilamida per tahun¹⁴. Ini merupakan contoh keberhasilan pertama penerapan proses biotransformasi nitril untuk memproduksi bahan kimia komoditas dalam skala industri. Sejak saat itu, biotransformasi senyawa nitril beserta mikroba dan enzim yang terlibat didalamnya menarik banyak perhatian para akademisi/peneliti maupun praktisi industri.

Dalam beberapa dasawarsa terakhir ini, sejumlah mikroorganisme yang terlibat dalam degradasi senyawa nitril telah diisolasi dan dikarakterisasi^{3,8}, termasuk beragam bakteri indigenus hasil penelitian kami^{15,16}. Dari berbagai penelitian dapat ditunjukkan bahwa mikroorganisme pendegradasi nitril cukup melimpah di alam dan dapat ditemukan dari berbagai tempat dan ekosistem (*ubiquitous*). Misalnya, tidak kurang dari 500 isolat bakteri indigenus pendegradasi nitril dapat kami isolasi dari berbagai ekosistem di Indonesia menggunakan metode yang kami kembangkan¹⁷ (Lampiran Gambar 2 dan Gambar 3). Beberapa mikroorganisme tersebut di antaranya; lebih dari 100 isolat bakteri endofit pendegradasi nitril, yang kami isolasi dari berbagai jenis tumbuhan dari empat Kebun Raya-LIPI¹⁷, tidak kurang dari 50 isolat bakteri dari berbagai limbah industri^{15,16}, dan sekitar 75 isolat bakteri pendegradasi nitril kami isolasi dari sampel tanah, spons, dan air laut di sekitar pulau Enggano¹⁸ (Lampiran Gambar 4 dan 5)

Dari beragam jenis bakteri indigenus pendegradasi nitril tersebut, *Rhodococcus* dan *Corynebacterium* merupakan genus bakteri pendegradasi nitril yang dominan dan hampir ditemukan di berbagai macam ekosistem di Indonesia^{19,20}. Genus bakteri tersebut ternyata juga banyak ditemukan dan dipelajari lebih lanjut di berbagai negara^{2,21}. Di antara isolat bakteri *Rhodococcus* yang kami temukan, *R. pyridinoporans* strain TPIK (dari air buangan tambang emas, Pongkor), *R. pyridinoporans* GLB5 (dari limbah batik, Cirebon), *R. pyridinoporans* TP3 (dari air buangan tambang emas, Cikotok), dan *R. qingshengii* (dari air sungai dengan polusi berat, Cibinong) merupakan bakteri pendegradasi nitril yang belum pernah dipublikasikan oleh peneliti lain^{19,22}.

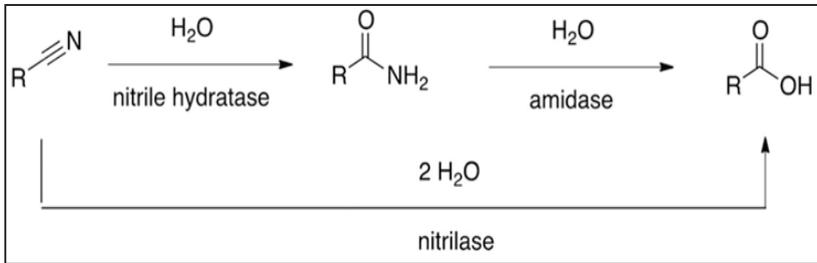
Sejauh ini, mikroorganisme pendegradasi nitril dilaporkan tidak hanya mampu mendetoksifikasi nitril. Mikroorganisme tersebut bahkan mampu memanfaatkannya sebagai sumber karbon, energi dan/atau nitrogen untuk pertumbuhannya, walaupun masing-masing mempunyai preferensi terhadap jenis dan konsentrasi senyawa nitril yang diberikan. Misalnya, *Flavobacterium* sp. NUB 1, isolat bakteri yang kami temukan dari limbah industri petrokimia, mampu tumbuh dan memanfaatkan (1) senyawa nitril alifatik, seperti asetonitril dan propionitril, (2) senyawa nitril aromatik, seperti benzonitril, maupun (3) berbagai senyawa amida turunannya sebagai satu-satunya sumber energi, karbon, dan nitrogen untuk pertumbuhannya^{23,24}. *Corynebacterium* D5, isolat bakteri dari limbah industri kimia, juga mampu tumbuh pada berbagai senyawa nitril, namun dengan preferensi pada senyawa nitril alifatik jenuh dengan bobot molekul rendah (C2-C4) dan senyawa amida turunannya^{20,25}. Isolat bakteri lainnya, *R. pyridinivorans* strain LP3 juga dapat tumbuh pada beberapa senyawa nitril alifatik, aromatik, dan heterosiklik, namun isolat bakteri ini mampu beradaptasi dan tumbuh pada asetonitril (CH₃CN) dalam konsentrasi tinggi (1 Molar) dan juga pada senyawa nitril anorganik (KCN). Karenanya, *R. pyridinivorans* strain LP3 berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai biokatalis untuk bioremediasi senyawa nitril²⁶.

Beberapa isolat bakteri indigenus lain yang kami temukan, seperti *Pseudomonas* sp. BP3, *Bacillus licheniformis* BA2, bahkan mampu tumbuh dan memanfaatkan senyawa dinitril (adiponitril) sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai biokatalis yang bersifat regioselektif yang sulit dilakukan secara kimiawi^{27,28}. Isolat bakteri lainnya, seperti *Pseudomonas* L3¹⁵ mampu mengonversikan α -aminopropionitril, prekursor

sintesis asam amino; *R. pyridinoporans* TPIK²⁹ mendegradasi 1,5-dimetil-2-pirolkarbonitril, prekursor berbagai bahan obat. Selain isolat bakteri, dua isolat kapang *Fusarium solani* AIII2 dan *Fusarium oxysporum* AV1, hasil isolasi dari limbah industri kimia, mampu tumbuh pada laktonitril, akrilonitril, β -aminopropionitril, dan adiponitril sebagai satu-satunya sumber energi, karbon, dan nitrogen³⁰.

Dari beberapa contoh di atas terlihat, bahwa preferensi setiap isolat mikroorganisme indigenus terhadap senyawa nitril, serta kemampuan memanfaatkan substrat tersebut sebagai sumber energi, karbon, dan nitrogen untuk tumbuhnya sangat beragam. Selain menentukan cakupan dan keberagaman proses transformasi yang dijumpai, preferensi substrat juga menentukan kecepatan tumbuh dan biomassa sel yang dihasilkan, sintesis dan spesifisitas enzim sasaran, maupun jenis produk transformasi yang diharapkan.

Dalam metabolisme nitril, mikroorganisme menggunakan dua alur reaksi (*pathways*)^{11,31}. Alur reaksi pertama adalah hidrolisis senyawa nitril yang melibatkan enzim nitril-hidratase (E.C.4.3.2.84) dan enzim amidase (E.C.3.5.1.4). Nitril-hidratase mengatalisasi hidrolisis senyawa nitril menjadi amida, dan selanjutnya amidase mengatalisasi hidrolisis amida yang terbentuk menjadi asam karboksilat dan amonia^{11,31}. Sedangkan, alur reaksi kedua adalah hidrolisis senyawa nitril yang melibatkan enzim nitrilase (E.C.3.5.5.1). Enzim ini mengatalisasi hidrolisis senyawa nitril menjadi asam karboksilat dan amonia secara langsung, tanpa menghasilkan amida sebagai produk intermediatnya^{11,31}. Secara skematis, alur reaksi biotransformasi senyawa nitril ditampilkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Alur reaksi hidrolisis senyawa nitril secara mikrobiologis^{11,31}.

Masing-masing isolat bakteri indigenus yang kami temukan menggunakan alur reaksi yang beragam dalam menghidrolisis senyawa nitril. Beberapa mikroorganisme hanya menggunakan alur reaksi pertama (yang melibatkan nitril hidratase dan amidase), seperti *Corynebacterium* D5²⁰, *Pseudomonas* sp. BP3²⁸, dan *Rhodococcus pyridinovorans* GLB5³². Mikroorganisme lainnya, seperti *F. solani* AIII2 dan *F. oxysporum* A VI hanya menggunakan alur reaksi kedua (yang melibatkan nitrilase)³⁰. Sedangkan, beberapa mikroorganisme lainnya, seperti *Flavobacterium* sp. NUB 1²⁴ dapat menggunakan alur reaksi pertama atau alur reaksi kedua, tergantung pada jenis senyawa nitril yang diberikan sebagai substratnya. Karakteristik masing-masing enzim tersebut dan potensi penerapannya juga telah banyak dipelajari², beberapa di antaranya adalah mikroba indigenus yang kami temukan^{25,28,32}.

Alur reaksi hidrolisis senyawa nitril setiap isolat mikroba juga merupakan parameter penting untuk pengembangan biokatalis. Tidak saja menentukan sintesis jenis enzim (nitril hidratase, amidase atau nitrilase), alur reaksi juga menentukan produk yang dihasilkan (senyawa amida, asam karboksilat, atau keduanya), serta laju (kinetika) dan rendeman (stoikiometri) dari proses biotransformasi. Dengan demikian, identifikasi alur reaksi isolat bakteri yang digunakan sebagai biokatalis sangat menentukan hasil akhir proses biotransformasi, yang mencakup produk yang dihasilkan, serta efisiensi dan efektivitas proses yang bersangkutan.

2.3 Penerapan Mikroba/Enzim Nitril Hidratase dalam Biosintesis Senyawa Amida dan Asam Karboksilat

Biosintesis berbagai senyawa amida dan asam karboksilat, yang berharga bagi industri telah dieksplorasi secara luas dan dikembangkan dengan menggunakan mikroba/enzim pendegradasi nitril sebagai biokatalis.

Di awal perkembangannya, mikroorganisme pendegradasi nitril banyak dipelajari dan diaplikasikan dalam proses biotransformasi senyawa nitril alifatik sederhana yang berbobot molekul rendah (C2-C4) untuk sintesis (1) senyawa amida, maupun (2) asam karboksilat turunannya³². Dalam kaitannya dengan itu, kami juga telah menjajaki kemampuan beberapa isolat bakteri indigenus dalam proses biotransformasi nitril alifatik dan mengidentifikasi produk degradasinya. *Corynebacterium* D5, misalnya, dapat mendegradasi akrilonitril dengan menghasilkan akrilamida dan asam akrilat sebagai produk degradasinya²⁰. Dengan menggunakan isolat yang sama, nikotinamida (merupakan komponen penting Vitamin B3) dapat dihasilkan dari proses biotransformasi 3-sianopiridin²⁵. Selain itu, *Lysobacter* sp. ID04TR, yang kami isolasi dari spons dari perairan Ternate, terbukti dapat dimanfaatkan sebagai biokatalis untuk transformasi butironitril menjadi butiramida³³, yang merupakan prekursor penting untuk sintesis asam hidroksamat, yang bersama dengan derivatnya digunakan sebagai analgesik, antikonvulsan, kardiovaskular, dan antiinflamasi.

Bukan saja untuk mengonversi senyawa nitril alifatik, bakteri pendegradasi nitril juga telah dieksplorasi untuk mengonversi nitril aromatik dan heterosiklik menjadi senyawa amida maupun asam karboksilat turunannya². *R. pyridinivorans* strain SB1D1, yang kami isolasi dari Gunung Gandang Dewata, Sulbar, dapat mentransformasikan benzonitril dengan menghasilkan bensamida³⁴. Bensamida mempunyai aktivitas farmakologi, seperti antimikroba, anti-inflamasi, anti-cancer, cardiovascular,

dan aktivitas biologis lainnya³⁵. Selain itu, isolat kapang *F. oxysporum* A VI, yang kami isolasi dari limbah industri kimia, juga dapat mentransformasikan benzonitril menjadi asam bensoat sebagai produk degradasinya³⁰, yang banyak digunakan sebagai pengawet makanan, anti jamur dan anti bakteri, serta kosmetika/penyembuh luka.

Dalam beberapa tahun terakhir, kecenderungan penelitian tentang enzim nitril hidratase telah bergeser ke arah pengembangan biokatalisis nitril yang bersifat enansioselektif. Biokatalis jenis ini penting untuk menghasilkan senyawa amida dan asam karboksilat yang aktif secara optis, yang sulit diperoleh melalui metode kimiawi. Isolat bakteri indigenus *R. pyridinivorans* strain GLB-5 telah diuji dan terbukti mampu mentransformasikan mandelonitril menjadi asam mandelat, yang merupakan salah satu intermediat kiral penting untuk sintesis berbagai farmasetika^{19,36}. Selain itu, *Pseudomonas* L3 dan *Corynebacterium* D5 mampu mendegradasi α -aminopropionitril dengan menghasilkan α -aminopropionamida dan L-alanin sebagai produk degradasinya. L-alanin merupakan asam amino yang bersifat stereoselektif, yang penting bagi kesehatan, namun sulit diproduksi secara kimiawi³⁷. Sedangkan, beberapa isolat mikroba indigenus lainnya, seperti *R. pyridinivorans* strain GLB-5, *R. pyridinivorans* strain TPIK mampu mentransformasikan 2-(3-benzoilfenil) propionitril, *R. pyridinivorans* strain LP3²⁶ 2-phenil propionitril untuk menghasilkan 2-arylpropionat, yang merupakan intermediat penting untuk obat anti-inflamasi dan analgesik.

Mikroba/enzim pendegradasi nitril yang bersifat regio-selektif juga merupakan biokatalis potensial untuk diaplikasikan dalam industri, karena sulit diwujudkan dengan metode kimia konvensional²⁶. *Pseudomonas* sp. BP3 dan *Bacillus licheniformis* BA2, juga dapat kami tunjukkan mampu mengonversikan adiponitril secara regioselektif dengan menghasilkan adipamida dan asam adipat, yang memiliki aplikasi yang luas dalam industri kimia²⁷.

III. PENERAPAN BIOTRANSFORMASI SENYAWA NITRIL DALAM INDUSTRI KIMIA, FARMASETIKA, DAN LINGKUNGAN

Dengan berbagai kelebihan yang dimiliki, biotransformasi senyawa nitril sudah menjadi metode alternatif yang menarik bagi industri untuk memproduksi beragam senyawa kimia adi (*fine chemicals*) maupun curah (*bulk chemicals*). Meskipun belum dapat menggantikan sintesis kimiawi sepenuhnya, namun mikroorganisme/enzim pendegradasi nitril telah dibuktikan mampu menghasilkan sejumlah produk bernilai komersial tinggi dan beberapa di antaranya telah diaplikasikan dalam industri.

3.1 Aplikasi dalam Industri Kimia

Nitto Chemical Industry (Jepang) merupakan industri kimia pertama yang memanfaatkan proses biotransformasi senyawa nitril untuk memproduksi akrilamida dalam skala besar pada tahun 1985³⁸. Menggunakan *Rhodococcus* sp. N-774, Nitto mampu memproduksi akrilamida dengan kapasitas produksi sebesar 4.000 ton per tahun. Pada tahun 1991, kapasitas produksi tahunannya ditingkatkan menjadi 20.000 ton dengan menggantikan *Rhodococcus* sp. N-774 dengan *Rhodococcus rhodochrous* J1. Mengadopsi proses tersebut, Mitsubishi Rayon Co., Ltd. (Jepang) dan Senmin (Afrika Selatan) juga memproduksi akrilamida dalam skala multi-kiloton⁸.

Dalam kaitannya dengan itu, kami telah menguji dan menunjukkan bahwa isolat bakteri indigenus *Corynebacterium* sp. D5 mampu mentransformasikan akrilonitril menjadi akrilamida dan asam akrilat sebagai produknya. Walaupun masih bersifat rintisan dalam skala laboratorium, hasil ini membuktikan bahwa *Corynebacterium* sp. D5 mempunyai potensi untuk dimanfaatkan sebagai biokatalis dalam produksi

akrilamida. Selain dapat berlangsung dalam kondisi normal (25°C dan pH 7.0), proses ini juga tidak menghasilkan produk samping sehingga akrilamida dapat diproduksi lebih ekonomis, lebih bersih, dan tidak memerlukan proses purifikasi produk lebih lanjut dibandingkan metode kimia konvensional²⁰.

Proses biotransformasi senyawa nitril juga diterapkan dalam skala besar oleh Lonza Guangzhou Fine Chemicals (Tiongkok) untuk memproduksi nikotinamida³⁹. Nikotinamida merupakan komponen penting Vitamin B3 (Niacin), bahan obat pellagra, dan juga sebagai suplemen pakan ternak. Nikotinamida juga dapat kami hasilkan dari proses biotransformasi 3-sianopiridin oleh sel *Corynebacterium* sp D5²⁵. Selain nikotinamida (55%), asam nikotinat (45%) juga dihasilkan dari proses tersebut⁴⁰. Rendemen yang diperoleh dari penelitian ini memang masih jauh dari yang diharapkan, namun demikian data yang diperoleh dapat menjadi landasan untuk mengoptimalkan proses transformasi dan sekaligus men-*scale up* produksi nikotinamida dan asam nikotinat dengan cara yang bersih dan hemat energi.

Asam adipat juga merupakan senyawa penting secara komersial. Asam adipat digunakan industri terutama sebagai bahan baku untuk produksi nilon 6,6 dan juga sebagai *plasticizers*, serat, dan aditif makanan. Selama ini, senyawa tersebut diproduksi secara kimiawi, yaitu melalui proses oksidasi sikloheksana. Proses ini, selain memerlukan konsentrasi asam dan energi yang tinggi, juga menghasilkan produk samping N₂O, yang dicurigai bertanggung jawab atas kerusakan lapisan ozon dan pemanasan global⁴¹. Atas dasar itu, banyak industri, seperti BASF & DUPONT, berupaya mencari alternatif yang lebih ramah lingkungan melalui pengembangan dan pemanfaatan proses biotransformasi adiponitril dengan melibatkan mikroorganisme/enzim pendegrasi nitril sebagai biokatalis⁴¹.

Kami telah menjajaki kemampuan beberapa isolat bakteri indigenus dan mendapatkan tiga isolat bakteri yang dapat mendegradasi adiponitril, dan berpotensi untuk menghasilkan asam adipat, yaitu *Bacillus licheniformis* BA2, isolat bakteri NB1, dan *Pseudomonas* sp. BP3. Menggunakan sel *Bacillus licheniformis* BA2, misalnya, konversi adiponitril dapat dilakukan dengan menghasilkan asam adipat (20%) dan adipamida (80%) sebagai produk degradasinya, di mana kedua produk tersebut mempunyai arti penting bagi industri kimia²⁷.

3.2 Aplikasi dalam Industri Farmasetika

Saat ini ketertarikan industri farmasetika terhadap penggunaan sel mikroba/enzim pendegradasi nitril meningkat secara tajam, terutama untuk mensintesis bahan obat kiral dalam bentuk enantiomer tunggal, karena senyawa ini paling sulit diwujudkan melalui metode sintesis asimetris konvensional⁸.

(R)-(-)-asam mandelat merupakan salah satu intermediat kiral penting bagi industri farmasetika. Senyawa tersebut merupakan sinton kiral (*chiral synthon*) untuk produksi beragam bahan obat, seperti anti-tumor, anti-obesitas, dan antibiotika semi sintesis (penisilin dan sefalosporin). Secara prinsip, (R)-(-)-asam mandelat dapat dihasilkan melalui proses biotransformasi (R,S)-mandelonitril dengan menggunakan mikroorganisme pendegradasi nitril dan/atau enzim yang dihasilkannya. Beberapa bakteri telah dilaporkan dapat digunakan untuk produksi asam mandelat, seperti *P. putida* MTCC 5110, *A. faecalis* ECU0401, dan *Alcaligenes* sp. MTCC 10675¹⁰.

Melalui pendekatan yang sama, penulis dan tim juga telah menjajaki kemampuan beberapa mikroba indigenus, tiga di antaranya adalah *Rhodococcus pyridinivorans* strain GLB5, *R. pyridinivorans* strain TP3, dan *R. pyridinivorans* strain TPIK

untuk mensintesis (R)-(-)-asam mandelat¹⁹. Hasil yang kami dapatkan, menunjukkan bahwa ketiga isolat tersebut dapat menghasilkan asam mandelat dari transformasi mandelonitril. Namun asam mandelat yang dihasilkan masih dalam bentuk rasemat dan belum berupa enantiomer tunggal. Walaupun demikian, hasil ini merupakan bukti pertama bahwa ketiga isolat bakteri indigenus dapat dimanfaatkan untuk memproduksi asam mandelat dan dapat digunakan sebagai landasan penting untuk pengembangan biokatalis lebih lanjut untuk memproduksi bahan obat yang bersifat enansioselektif, yang sulit diwujudkan dengan metode kimiawi konvensional (data internal, belum dipublikasikan).

Bahan obat kiral penting lainnya adalah profen (2-arilpropionat dan turunannya), yang dikelompokkan dalam obat antiinflamasi non-steroid (AINS). Senyawa ini, selain digunakan sebagai obat anti-inflamasi, digunakan juga sebagai obat analgesik terutama untuk beragam penyakit reumatik, *dysmenorrhea* (rasa sakit akibat menstruasi), maupun *acute gout* (rasa sakit akibat timbunan asam urat). Secara prinsip, senyawa AINS dapat dihasilkan melalui biotransformasi senyawa nitril secara enansioselektif. Di antara isolat bakteri yang kami uji, tampaknya *R. pyridinovorans* TPIK dan *R. pyridinovorans* GLB5 mampu mengonversikan 2-(3-benzoilfenil) propionitril menjadi 2-(3-benzoilfenil) propionat yang cukup menjanjikan untuk dikembangkan lebih lanjut²⁹.

Selain itu, L-alanin merupakan salah satu asam amino yang penting bagi kesehatan dan sejauh ini diproduksi secara komersial melalui proses kimiawi. Dalam menjajaki proses biotransformasi, dapat kami buktikan bahwa *Pseudomonas* L3 mampu mentransformasikan α -aminopropionitril menjadi L-alanin dalam kondisi optimal pada suhu 30° C dan pH 7.0³⁷.

3.3 Aplikasi dalam Bioremediasi dan Lingkungan

Dengan semakin meningkatnya produksi dan pemanfaatan senyawa nitril/sianida dalam industri kimia, farmasi, dan agroindustri, akumulasi, dan konsentrasi senyawa toksik di lingkungan juga akan terus meningkat². Berikut disampaikan beberapa contoh penerapan biotransformasi nitril untuk detoksifikasi dan deteksi senyawa nitril dalam lingkungan yang kami kembangkan dengan menggunakan mikroba indigenus Indonesia (Lampiran Gambar 7 dan 8).

3.3.1 Sistem Detoksifikasi Senyawa Nitril

Asetonitril merupakan senyawa toksik, namun sering digunakan dalam konsentrasi tinggi [hingga 80% (v/v)] sebagai pelarut dalam laboratorium maupun industri. Dengan menggunakan *Mycobacterium* sp., *Bacillus* sp., *Corynebacterium* sp., dan *Flexibacter* sp., kami berhasil mengembangkan sistem detoksifikasi asetonitril yang efektif. Isolat-isolat bakteri tersebut mampu mendegradasi asetonitril dengan konsentrasi yang tinggi (10 % v/v) dengan menghasilkan produk degradasi non-toksik, yaitu asetamida, asam asetat, dan amonium. Sistem tersebut dapat beroperasi dengan baik pada suhu antara 5°C–40°C (optimum pada 30°C), antara pH 3–pH 11 (optimum pada pH 6,5–7,5), pada kondisi aerob maupun anaerob^{42,43}.

Selain asetonitril, kami juga telah menjajaki penggunaan isolat bakteri indigenus lainnya untuk detoksifikasi akrilonitril²⁰. Senyawa ini merupakan neurotoksin akut, namun bahan baku penting untuk produksi serat akrilik, plastik, dan karet sintetis, serta insektisida. *Corynebacterium* sp. D5 dapat kami buktikan mampu mendegradasi akrilonitril dan menghasilkan akrilamida dan asam akrilat sebagai produk degradasi²⁰. Proses ini bisa dikembangkan lebih lanjut untuk menjadi sistem detoksifikasi akrilonitril dalam skala yang lebih besar.

Senyawa nitril anorganik, seperti KCN atau NaCN, juga merupakan pencemar lingkungan yang toksik. Senyawa ini banyak digunakan dalam industri pelapisan logam (*electroplating*), karet sintetis, dan industri pertambangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat bakteri *R. pyridinovorans* LP3, yang diisolasi dari limbah cair tambang emas, mampu tumbuh dan memanfaatkan KCN hingga konsentrasi tinggi (1000 ppm). Pada proses degradasi senyawa ini, amonium yang non-toksik merupakan produk yang dihasilkan²⁶. Meskipun aktivitas enzim pendegradasinya masih relatif rendah, namun isolat tersebut berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai sarana bioremediasi.

3.3.2 Sistem Deteksi Senyawa Nitril

Selain proses bioremediasi, pendeteksian keberadaan senyawa nitril yang toksik di lingkungan juga merupakan hal yang penting. Percobaan telah dilakukan dengan mengembangkan biosensor untuk mendeteksi senyawa toksik tersebut. Biosensor ini, yang merupakan integrasi antara enzim pendegradasi nitril dengan *device* elektronik, diharapkan dapat secara cepat, akurat, dan mudah dilakukan untuk mendeteksi keberadaan senyawa nitril di lingkungan. Namun demikian, pengintegrasian kedua komponen (enzim dan *device* elektronik) menjadi kesatuan (biosensor) gagal diwujudkan, karena stabilitas enzim pendegradasi nitril dalam sistem tersebut masih rendah sehingga realibilitas pengukuran biosensor tidak bisa diandalkan (data internal, belum dipublikasikan). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada prinsipnya enzim pendegradasi nitril dapat digunakan untuk pengembangan biosensor pendeteksi nitril, namun dengan syarat stabilitas enzim tersebut perlu ditingkatkan atau enzim pendegradasi nitril yang lebih stabil dapat ditemukan.

Metode deteksi lain yang kami kembangkan adalah metode deteksi keberadaan senyawa sianogen yang terkandung dalam limbah buangan industri tepung tapioka⁴⁴. Sistem deteksi ini dikembangkan untuk mendeteksi dan mengestimasi kandungan senyawa sianida dalam ubi kayu (bahan baku), produk olahannya (tepung tapioka), maupun air buangan proses pengolahannya. Sistem deteksi tersebut dalam format *test strips* dan prinsip pendeteksiannya didasarkan atas perubahan warna. Walaupun sistem deteksi yang dikembangkan ini bersifat semi-kuantitatif, namun praktis dan simpel, serta mudah diaplikasikan di lapangan, terutama oleh masyarakat pedesaan.

3.4 Peluang dan Tantangan

Seperti telah diuraikan dalam subbab sebelumnya, mikroba indigenus pendegradasi nitril mempunyai potensi yang cukup besar untuk dimanfaatkan sebagai biokatalis dalam sintesis berbagai senyawa amida dan asam karboksilat dan sebagai sarana bioremediasi senyawa nitril yang toksik. Namun demikian, potensi tersebut secara faktual belum dapat diwujudkan dan diterapkan dalam skala industri, karena masih ada beberapa kendala dan tantangan yang perlu dicari penyelesaiannya. Secara umum, kendala dan tantangan yang kami identifikasi dapat dikelompokkan ke dalam (1) tataran mikroorganisme, (2) tataran enzim, dan (3) tataran bioproses.

Dalam upaya untuk mengoptimalkan potensi mikroba indigenus pendegradasi nitril dan enzim yang dihasilkannya, beberapa kegiatan isolasi mikroba pendegradasi nitril dari berbagai ekosistem ekstrem perlu dilakukan. Pencarian mikroba yang telah kami lakukan dalam kaitannya dengan itu antara lain isolasi mikroba pendegradasi senyawa nitril mulai dari sumber air panas, kawah gunung berapi, air laut, spons, sampai dengan dari berbagai limbah industri kimia dan pertambangan,

baik dengan menggunakan pendekatan konvensional (sistem pengayaan), sistem pengayaan yang telah kami modifikasi^{45,46}, maupun dengan pendekatan metagenomik⁴⁷. Isolat-isolat bakteri yang terkumpul, walaupun belum sepenuhnya dipetakan, namun paling tidak dapat digunakan sebagai reservoir untuk penelitian lanjutan.

Dalam tataran enzim, beberapa upaya riset perlu dilakukan untuk meningkatkan aktivitas, spesifisitas, dan stabilitas enzim pendegradasi nitril. Beberapa kegiatan riset yang telah kami lakukan, antara lain pengkajian sistem regulasi enzim (induksi, represi enzim), pencarian inhibitor dan aktivator aktivitas enzim, serta amobilisasi sel mikroorganisme dalam berbagai matriks, sampai dengan pencarian kondisi reaksi yang optimum untuk proses biotransformasi. Sedangkan dalam tataran bioproses, beberapa upaya yang kami lakukan, antara lain optimasi proses melalui pemilihan reaksi transformasi yang tepat⁴⁸, peningkatan skala operasi proses, dari skala dalam tataran mililiter menjadi liter⁴⁹, serta menguji kemampuan alami mikroba pendegradasi nitril dalam kondisi/reaksi artifisial (media sintetik), yang diikuti dengan desain dan perancangan bioproses baru⁵⁰.

IV. PROSPEK PEMANFAATAN SUMBER DAYA MIKROBA INDONESIA UNTUK PENGEMBANGAN BIOKATALIS

Sebagai salah satu pilar penting dalam proses bersih (*green chemistry*), penelitian, pengembangan, dan penerapan biokatalis sudah menjadi tren global. Kecenderungan ini akan menjadikan peran biokatalis senyawa nitril makin penting dalam industri kimia, farmasetika, dan lingkungan di masa depan^{1,2}.

4.1 Potensi dan Tantangan Pemanfaatan Sumber Daya Indonesia

Indonesia dengan keragaman mikroba yang tinggi, merupakan sumber senyawa obat dan bioaktif yang cukup melimpah. Kalangan peneliti dan bioindustri internasional telah menyadari sepenuhnya potensi yang terkandung dalam sumber daya tersebut. Ketertarikan mereka terlihat jelas dari beberapa proyek kerja sama penelitian yang diinisiasi oleh institusi riset luar negeri, seperti Jepang (NITE), Amerika Serikat (UC Davis), dan juga Jerman (IG Biotech) (Dokumen internal BRIN, tidak dipublikasikan). Demikian juga, banyak kerja sama riset antara berbagai universitas dari Indonesia dengan universitas/institusi riset dari luar negeri lainnya.

Selain itu, dari kegiatan bioprospeksi yang penulis dan tim lakukan sejauh ini, seperti yang dipaparkan dalam Bab II dan III, beragam isolat mikroba indigenus pendegradasi nitril telah kami isolasi dari berbagai ekosistem di Indonesia^{51,52,53}. Isolat-isolat bakteri tersebut dapat dibuktikan mampu memanfaatkan beragam senyawa nitril dan senyawa turunannya sebagai sumber karbon, energi maupun nitrogen untuk pertumbuhannya. Di antara isolat bakteri tersebut, juga telah kami jajaki dan terbukti mampu mendegradasi beragam senyawa nitril menjadi senyawa

non-toksik dan/atau mentransformasikannya menjadi senyawa amida dan/atau asam karboksilat yang bernilai komersial penting. Walaupun masih merupakan kegiatan rintisan dan berskala laboratorium, namun kegiatan riset tersebut mampu membuktikan bahwa potensi sumber daya mikroba Indonesia sangat besar dan baru sebagian kecil saja yang terungkap.

Paling tidak ada tiga tantangan utama yang dapat diidentifikasi dalam bioprospeksi mikroba Indonesia, yaitu: (1) cakupan area yang sangat luas dengan kondisi geografi yang sangat beragam, (2) ancaman kepunahan sebagai dampak dari perubahan ekosistem/ekologi akibat perubahan iklim dan ulah manusia cukup besar sehingga memungkinkan sumber daya ini bisa hilang dengan sangat cepat, dan (3) laju perkembangan biosains dan bioteknologi di dunia yang sangat cepat sehingga negara atau institusi yang menguasai bidang ini akan dapat memanfaatkan sumber daya mikroba jauh lebih efisien dan efektif dibandingkan pemilik sumber daya yang tidak/kurang menguasainya.

4.2 Arah dan Strategi Penelitian dan Pengembangan

Mempertimbangkan besarnya potensi dan tantangan yang dihadapi, beberapa strategi yang diperlukan untuk mengungkap potensi sumber daya mikroba Indonesia secara penuh dan pemanfaatannya untuk pengembangan biokatalis (Lampiran Gambar 9), antara lain sebagai berikut:

Pertama, secara teknis kegiatan bioprospeksi (eksplorasi, penelitian, pengembangan/pencarian, dan penggalian potensi mikroba) perlu dilakukan secara masif, efisiensi, dan efektif. Selain menggunakan pendekatan konvensional, kegiatan bioprospeksi perlu ditunjang oleh perkembangan biosains dan bioteknologi mutakhir. Misalnya, pendekatan metagenomiks perlu dimanfaatkan untuk mengungkap potensi mikroba yang

tidak bisa dibiakkan dalam laboratorium, yang diperkirakan mencapai 99% dari potensi sumber daya yang ada di alam. Pendekatan ini pernah kami uji cobakan untuk mendapatkan gen enzim pendegradasi nitril dari tanah bekas tambang, yang tidak mungkin kami lakukan dengan metode konvensional⁴⁷.

Selain itu, secara kelembagaan kegiatan bioprospeksi perlu ditunjang oleh infrastruktur yang memadai untuk mewujudkan ‘*Biodiversity-Bioindustry Pipeline*’; di mana paling tidak mencakup ‘*culture collection*’, ‘*screening center*’, dan infrastruktur “Bioproses dan Pembakuan”. Kapasitas InaCC perlu ditingkatkan dan fungsinya perlu diperluas, tidak saja untuk menyimpan mikroba terstandar, tetapi diharapkan juga untuk menyimpan komponen-komponen fungsional lainnya, seperti ekstrak, DNA, RNA, dll. Pusat Penapisan (*screening center*) beserta sarana pendukungnya, terutama untuk miniaturisasi dan otomatisasi proses, perlu diwujudkan sehingga proses penapisan dapat berlangsung secara masif, cepat, dan efektif (*high throughput screening*). Infrastruktur ‘Bioproses & Pembakuan’ sangat diperlukan sehingga optimasi proses, pembakuan sistem, dan peningkatan skala (*scaling up*) dapat dilakukan. Melalui cara tersebut, proses adaptasi dan adopsi hasil riset ke dalam aplikasi industri dapat dipercepat.

Kedua, kegiatan bioprospeksi perlu dibarengi oleh analisis kebutuhan industri secara riil dengan melibatkan stakeholder terkait secara lebih intens sehingga pengarusutamaan hasil riset menjadi inovasi industri dapat dipercepat. Ketiga, kegiatan bioprospeksi sumber daya mikroba perlu menjadi salah satu prioritas riset nasional⁵⁴ yang didasarkan atas visi nasional yang jelas dan perlu diletakkan dalam bingkai upaya besar pengembangan *Bioeconomy*. Melalui pendekatan ini, kepastian anggaran dapat diandalkan, keberlangsungan kegiatan bioprospeksi terjamin, dan lingkup kegiatannya dapat diperluas.

V. KESIMPULAN

Senyawa nitril/sianida merupakan senyawa toksik, namun secara komersial mempunyai arti penting. Cakupan dan penerapan senyawa nitril dan proses biotransformasinya dalam industri sangat beragam dan terus berkembang, demikian juga dampaknya terhadap lingkungan dan kesehatan terus meningkat. Dalam perspektif industri saat ini, proses biotransformasi senyawa nitril dapat digunakan sebagai salah satu strategi untuk menerapkan proses bersih (*green chemistry*) untuk produksi bahan kimia maupun farmasetika yang hemat energi, bersih, dan ekonomis.

Upaya pengungkapan potensi mikroba Indonesia sebagai biokatalis, yang sekaligus memperkaya khazanah ilmu pengetahuan tentang 'biotransformasi nitril/sianida', menunjukkan bahwa mikroba pendegradasi nitril/sianida tersebar luas dan dapat ditemukan di berbagai ekosistem di Indonesia. Selain itu, beberapa mikroba indigenus, seperti *R. pyridinovorans* strain TPIK, *R. pyridinovorans* strain GLB5, *R. pyridinovorans* strain LP3, mempunyai potensi yang besar untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai biokatalis untuk mensintesis berbagai senyawa kimia dan farmasetika, serta untuk mendetoksifikasi senyawa nitril yang toksik.

Sejauh ini, penelitian kami tentang mikrobiologi senyawa nitril/sianida merupakan kegiatan pionir dan belum ada institusi/peneliti lain di Indonesia yang menekuni bidang ini. Walaupun pengungkapan potensi mikroba masih bersifat rintisan dan masih dalam skala kecil, namun hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa potensi sumber daya mikroba Indonesia sangat besar dan masih banyak peluang yang tersedia untuk memanfaatkannya sebagai sarana pengembangan biosains dan bioteknologi, khususnya pengembangan biokatalis.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai landasan untuk pengembangan biokatalis lebih lanjut sehingga dapat diadopsi oleh industri untuk menerapkan proses bersih (*green chemistry*) dan meningkatkan daya saing. Selain itu, pendekatan dan metode yang telah kami kembangkan, tidak hanya untuk eksplorasi biokatalis senyawa nitril/sianida saja, namun dapat digunakan sebagai acuan untuk eksplorasi sumber daya mikroba Indonesia dan sebagai model untuk pengembangan biokatalis penting lainnya.

VI. PENUTUP

Sebagai salah satu negara yang mempunyai biodiversitas tertinggi di dunia, Indonesia mempunyai keunggulan komparatif sebagai penyedia sumber daya biokatalis dalam tataran global. Beberapa strategi yang kami usulkan untuk mengungkap potensi sumber daya tersebut dan memanfaatkannya secara maksimal untuk kepentingan nasional, sebagai penjabaran Perpres Nomor 1 Tahun 2021 tentang pengelolaan dan pendayagunaan sumber daya mikroba⁵⁵, adalah sebagai berikut:

Pertama, kegiatan bioprospeksi sumber daya mikroba Indonesia, yang mencakup upaya eksplorasi, penelitian, dan pengembangan masih perlu dilakukan secara masif dalam tataran nasional. Kedua, efisiensi dan efektivitas kegiatan bioprospeksi perlu ditingkatkan, antara lain; (1) melalui pemanfaatan pendekatan dan perangkat (*tool*) bioteknologi mutakhir dan (2) melalui investasi dalam infrastruktur pendukung '*Biodiversity-Bioindustry Pipeline*', yaitu: (a) peningkatan kapasitas InaCC-BRIN (*culture collection*), (b) pembangunan infrastruktur penapisan (*screening center*), serta c) infrastruktur bioproses, pembakuan, dan peningkatan skala. Melalui strategi ini, miniaturisasi, otomatisasi, dan sistematisasi kegiatan bioprospeksi dapat dilakukan sehingga aliran proses dari bioprospeksi menjadi inovasi dapat berlangsung lebih cepat, efisien, dan hemat biaya. Ketiga, untuk menghindari *mismatch* antara riset dengan industri dan menjamin adanya adopsi oleh industri/pemangku kepentingan secara cepat, koordinasi, dan kerja sama dengan stakeholder/industri perlu ditingkatkan secara lebih intens. Keempat, untuk menjamin keberlangsungan kegiatan bioprospeksi dan kepastian anggaran, kegiatan bioprospeksi perlu diangkat menjadi salah satu prioritas nasional dengan program dan kegiatan yang lebih spesifik dan eksplisit.

Melalui strategi ini, sumber daya mikroba Indonesia diharapkan dapat dimanfaatkan secara maksimal sebagai sarana penelitian dan pengembangan biosains, sebagai landasan pengembangan bioteknologi putih (*white biotechnology*), dan sekaligus sebagai penyokong perkembangan ekonomi hijau (*green economy*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Sebelum saya mengakhiri orasi pengukuhan Profesor Riset ini, perkenankan saya menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada semua pihak yang telah membantu karir fungsional saya hingga terselenggaranya acara pada hari ini.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Presiden Republik Indonesia, Ir. H. Joko Widodo atas penetapan saya menjadi Peneliti Ahli Utama. Ucapan terima kasih dan penghargaan juga saya sampaikan kepada Kepala BRIN, Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc.; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Ir. Bambang Subiyanto, M.Agr.; Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset LIPI, Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani; serta Tim Penelaah Naskah Orasi, Prof. Dr. I Made Sudiana, Prof. Dr. Gono Semiadi, Prof. Dr. Maman Turjaman, DEA, dan Prof. Dr. Ir. Budi Marwoto (alm.) yang telah memberikan saran dan masukan yang berharga dalam penulisan naskah orasi ini.

Ucapan terima kasih dan penghargaan juga saya sampaikan kepada Kepala Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan BRIN, Dr. Iman Hidayat; Kepala Pusat Riset Mikrobiologi Terapan BRIN, Dr. Ahmad Fathoni, M.Eng dan Kepala Penelitian Biologi LIPI periode tahun 2019–2021 Dr. Atit Kanti, M.Sc. atas fasilitas yang diberikan selama saya melaksanakan penelitian dan atas kepercayaannya kepada saya untuk ditetapkan sebagai Profesor Riset. Kepada Plt. Sekretaris Utama BRIN, Nur Tri Aries Suestiningtyas, S.IP., M.A.; Plt. Kepala BOSDM-BRIN, Ratih Retno Wulandari, S.Sos., M.Si, serta Panitia Pelaksana Orasi Pengukuhan Profesor Riset. Pada kesempatan ini saya menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih atas bantuan yang diberikan sampai dengan pengukuhan saya sebagai Profesor Riset pada hari ini.

Kepada anggota kelompok penelitian kecil kami (*“Nitrile Group”*), terutama kepada Dra. Nunik Sulistinah, serta para peneliti, teknisi dan rekan sejawat dari Puslit Biologi LIPI, Puslit Bioteknologi LIPI, serta dari Pusris Mikrobiologi Terapan-BRIN, yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu, saya mengucapkan banyak terima kasih atas kerja sama dan bantuan selama melakukan penelitian sehingga membuahkan hasil sesuai yang kita harapkan.

Pada akhir orasi ini, ucapan terima kasih khusus saya tujukan kepada kedua orang tua saya, bapak Sumiran dan almarhumah ibu Sartiyah yang telah mengajarkan arti hidup dan perjuangan, serta atas segala jerih payah dalam membesarkan, mendidik serta mendoakan putra-putrinya dengan penuh ketabahan dan kesabaran. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada bapak mertua saya, almarhum bapak Surgana Prabida dan ibu Yuyun Hasanah yang selalu memberikan dorongan dan do’a restu. Demikian pula, kepada adik-adik saya, kakak dan adik ipar saya, saya ucapkan terima kasih. Akhirnya untuk istri saya, Noor Noorlaela, yang setia mendampingi saya dalam suka dan duka, dan ketiga anak-anak saya, Rizki, Widi, dan Firman, serta kedua menantu saya atas do’a dan kasih sayang kalian semua, saya ucapkan terima kasih.

Akhir kata, saya mengucapkan terima kasih kepada bapak dan ibu sekalian, yang telah mengikuti dan mendengarkan orasi ini dengan sabar dan mohon maaf apabila dalam penyajian orasi ini terdapat kekurangan dan kekeliruan. Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah, saya akhiri orasi ini. Semoga kita semua senantiasa mendapatkan rahmat dan hidayah Allah Swt. Amiin.

Terima kasih,

Wassalamu’alaikum wa Rohmatullahi wa Barakatuh

DAFTAR PUSTAKA

1. Jemli S, Ayadi-Zouari D, Hlima HB, Bejar S. Biocatalysts: application and engineering for industrial purposes. *Critical Reviews in Biotechnol.* 2016; 36(2):246–258.
2. Bhalla TC, Kumar V, Kumar V, Thakur N, Savitri. Nitrile metabolizing enzymes in biocatalysis and biotransformation. *Applied Biochemistry and Biotechnology.* 2018 Jan 30; 185(4): 925–946.
3. Gong JS, Lu ZM, Li H, Shi JS, Zhou ZM, Xu ZH. Nitrilases in nitrile biocatalysis: recent progress and forthcoming research. *Microbial Cell Factories.* 2012 Oct 30; 11(1): 142–159.
4. Nigam VK, Arfi T, Kumar V, Shukla P. Bioengineering of nitrilases towards its use as green catalyst: applications and perspectives. *Indian Journal of Microbiology.* 2017 Mar 25; 57(2): 131–138.
5. Widjaja EA, Rahayuningsih Y, Rahajoe JS, Ubaidillah R, Maryanto I, Baroto E, dkk. Kekinian Keanekaragaman Hayati Indonesia 2014. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Kementerian PPN/ Bappenas, Kementerian Lingkungan Hidup; 2014. Diunduh dari: <http://penerbit.lipi.go.id/data/naskah1432194926.pdf>
6. Howden AJM, Preston GM. Nitrilase enzymes and their role in plant–microbe interactions. *Microbial Biotechnology.* 2009 Jun 15; 2(4): 441–451.
7. Zagrobelny M, Bak S, Moller BL. Cyanogenesis in plants and arthropods. *Phytochemistry.* 2008 May; 69(7): 1457–1468.
8. Martinkova L, Kren V. Biotransformation with nitrilases. *Current Opinion in Chemical Biology.* 2010; 14(2): 130–137.
9. Ebel M, Evangelou MWH, Schaeffer A. Cyanide phytoremediation by water hyacinths (*Eichhornia crassipes*). *Chemosphere.* 2007 Jan; 66(5): 816–823.

10. Wang MX. Enantioselective biotransformations of nitriles in organic synthesis. *Accounts of Chemical Research* 2015; 48(3): 602–611.
11. **Sunarko B.** Mikrobieller abbau von acetonitril und vinylacetat und charakterisierung von vinylacetatesterase. Doctoral thesis. Universitaet Bayreuth, Jerman. 1995.
12. Chen J, Zheng RC, Zheng YG, Shen YC. Microbial transformation of nitriles to high-value acids or amides. *Advance in Biochemical Engineering/Biotechnology* 2009 Jan 1; 113: 33–77.
13. Thimann KV, Mahadevan S. Nitrilase I: occurrence, preparation and general properties of the enzyme. *Archives in Biochemistry and Biophysics*. 1964 Apr; 105(1): 133–141.
14. Yamada H, Kobayashi M. Nitrile hydratase and its application to industrial production of acrylamide. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. 1996; 60(9): 1391–1400.
15. **Sunarko B,** Adityarini, Tambunan USF, Sulistinah N. Isolasi, seleksi, dan karakterisasi mikroba pendegradasi asetoneitril dari limbah industri. *Berita Biologi* 2000; 5(2): 177–185.
16. Thontowi A, **Sunarko B.** Isolasi dan karakterisasi mikroba pendegradasi senyawa nitril. *Biosfera*. 2005; 22(1): 30–38.
17. Atmosukarto IIC, **Sunarko B.** Screening of nitrile-degrading endophytic bacteria from the biodiversity of Indonesia. *Jurnal Teknologi Indonesia*. 2011; 34 (Edisi Khusus): 115–122.
18. Riffiani R, Sulistinah N. Keragaman bakteri penghasil enzim penghidrolisis nitril di Pulau Enggano, Bengkulu. *Berita Biologi*. 2017; 16(3): 219–330.
19. Riffiani R, Sulistinah N, **Sunarko B.** Pengucilan gen penyandi enzim nitrilase enam isolat bakteri unggulan. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2015; 11(1): 41–50.
20. **Sunarko B,** Sulistinah N. Acrylonitrile degradation by whole cells of *Corynebacterium* sp. D5, isolated from polluted industrial waste. *IOP Conference Series: Earth Environmental Science*. 308 012012; 2019: 1–6.

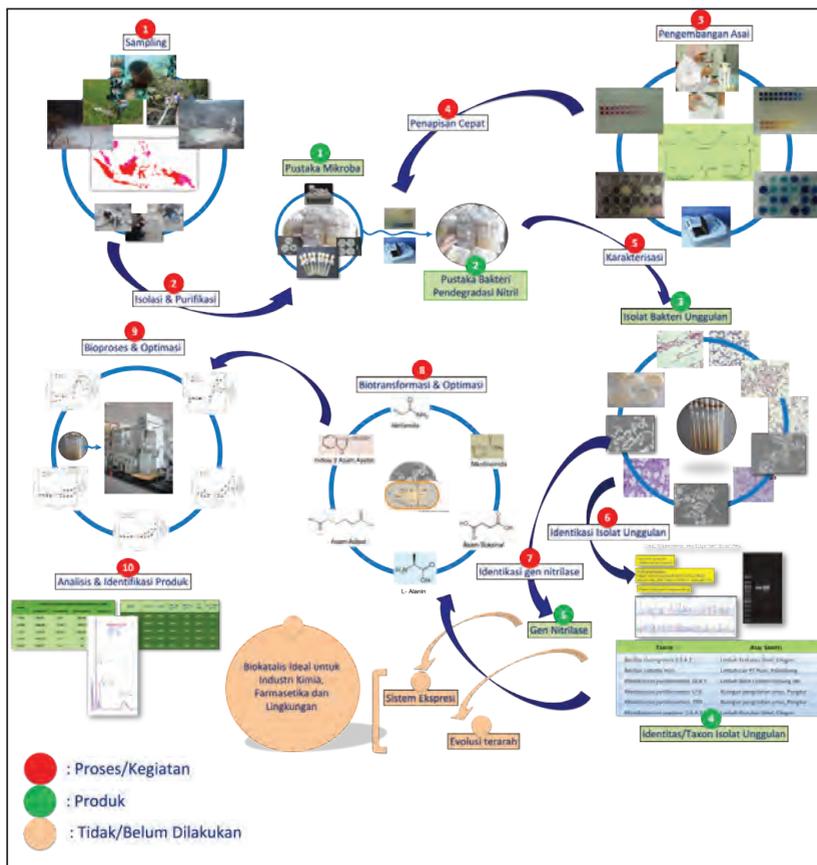
21. Heald SC, Brandão PFB, Hardicre R, Bull AT. Physiology, biochemistry and taxonomy of deep-sea nitrile metabolising *Rhodococcus* strains. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 2001; 80(2): 169–183.
22. Hastuty A, Mangunwardoyo W, **Sunarko B**. Characterization of a-nitrile hydratase and amidase of *Rhodococcus* aff. *Qingshengii* from Indonesia. *HAYATI Journal of Biosciences*. 2014 Jun 1; 21(2): 53–64.
23. Sulistinah N, Suliawati, **Sunarko B**. Karakterisasi enzim pendegradasi benzonitril yang dihasilkan oleh *Flavobacterium* sp. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2003; 7(2): 36–40.
24. Sulistinah N, **Sunarko B**, Thontowi A. Metabolisme benzonitril oleh *Flavobacterium* sp. NUB 1. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2002; 3(3): 219–226
25. **Sunarko B**, Sulistinah N. Biotransformasi 3-sianopiridin menjadi nikotinamida dengan sel *Corynebacterium* D5 sebagai biokatalis. *Jurnal Teknologi Indonesia*. 2011; 34 (Edisi Khusus): 108–114.
26. Sulistinah N, Munandar H, **Sunarko B**. A new indigenous cyanomethane-degrading bacterium isolated from gold mining waste water. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2019; 15(2): 131–139.
27. Thontowi A, Pamuji EW, **Sunarko B**. Biotransformasi adiponitril oleh *Bacillus licheniformis* BA2. *Berkala Penelitian Hayati*. 2004 Des;10(1): 25–30.
28. **Sunarko B**, Sulistinah, N. Karakterisasi enzim nitril hidratase dan amidase dari *Pseudomonas* sp. BP3 dalam biokonversi adiponitril menjadi asam adipat. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2008; 5(2):173–186.
29. Supariasih D. Penapisan mikrob pendegradasi 2-(3-ben-zoilfenil)-propionitril dan karakterisasi nitrilase dari isolat terpilih. Skripsi. Program Studi Biokimia, FMIPA, IPB, Bogor. 2008.
30. Subowo YB, **Sunarko B**, Gandjar I. (2003). Isolasi dan seleksi jamur pendegradasi senyawa benzonitril. *Berita Biologi*. 2003; 6(4): 575–581.

31. Wyatt JM, Linton EA. The industrial potential of microbial nitrile biochemistry. In: Cyanide Compounds in Biology. Mehnert, J and Brimer L (Eds.). John Wiley and Sons, Chichester, UK. 1988: 32–42.
32. Sulistinah N, Riffiani R, **Sunarko B**. Potensi *Rhodococcus pyridinovorans* GLB5 sebagai biokatalis dalam konversi senyawa methyl sianida dan phenil sianida. Berita Biologi. 2016; 15(1): 39–48.
33. Riffiani R, Sulistinah N. Penapisan mikroba laut perombak senyawa nitril dan protein yang diisolasi dari spons di perairan Ternate. Jurnal Biologi Indonesia. 2010; 6(3): 353–365.
34. Sulistinah N, Riffiani R. Nitrile hydrolysing enzymes-producing bacterium isolated from gandang dewata mountain, West Sulawesi. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 166 012019; 2018.
35. Asif M. Pharmacological potential of benzamide analogues and their uses in medicinal chemistry. Mod. Chem. Appl. 2016; 4(4): 1–10.
36. Safety P. Penapisan bakteri pendegradasi propionamida dan karakterisasi enzim amidase dari isolat terpilih. Skripsi. Program Studi Biokimia, FMIP, IPB, Bogor. 2009.
37. Surani EE. Biotransformasi alpha-amino propionitril menjadi l-alanin oleh *Pseudomonas* L3. Skripsi. Program Studi Biokimia, FMIPA, IPB, Bogor. 2001.
38. Yamada H, Shimizu S, Kobayashi M. Hydratases involved in nitrile conversion: screening, characterization and application. Chem. Rec. 2001; 1(2): 152–161.
39. Nagasawa T, Takeuchi K, Yamada H. Occurrence of a cobalt-induced and cobalt-containing nitrile hydratase in *Rhodococcus rhodochrous* J1. Biochemical Biophysical Research Communications. 1988 Sept 15; 155(2): 1008–1016.
40. Fitri E Y. Kinetika Fermentasi *Pseudomonas* sp. dalam memproduksi asam adipat dan karakteristik enzim yang terlibat didalamnya. Skripsi. Program Studi Biokimia, FMIPA, IPB, Bogor. 2005.

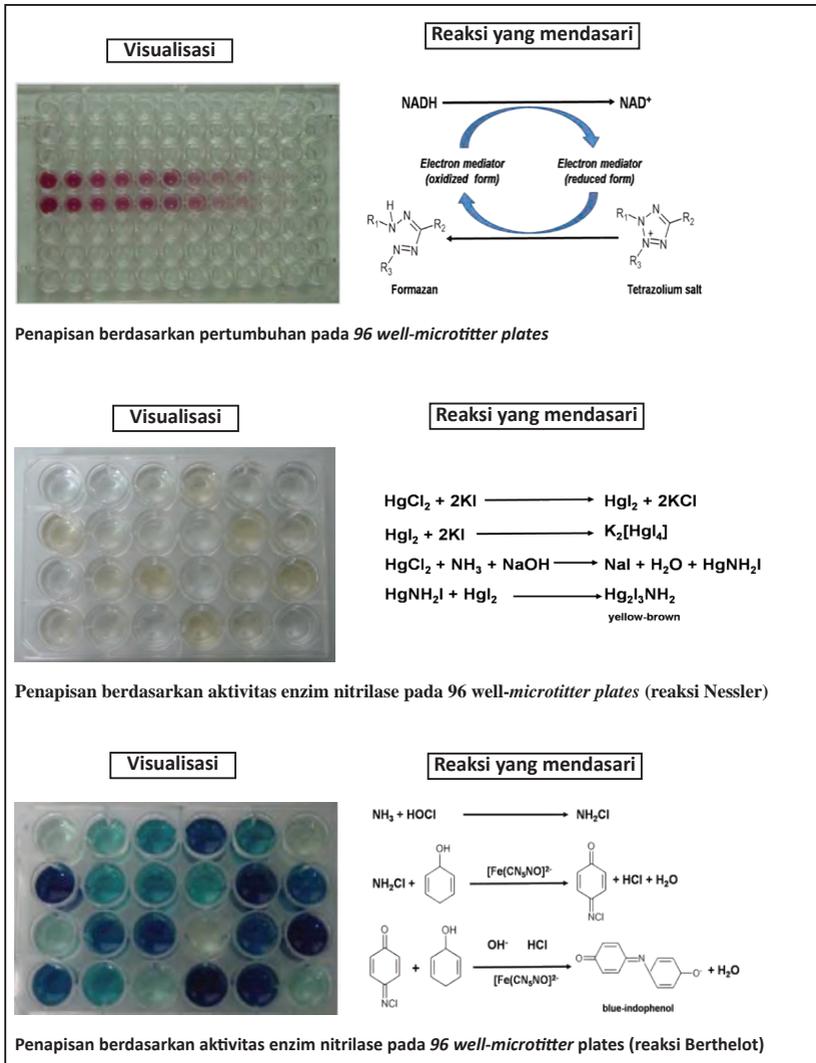
41. ICCP 2001. Climate change 2001: synthesis report. a contribution of working group i, ii, and iii to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Watson, RT and the Core Writing Team (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2001.
42. Sander A, **Sunarko B**, Meyer O. Verfahren und biologisch aktive substanzen zum mikrobiologischen abbau von acetonitril in mobilen phasen der hochdruck-flues-sigkeits-chromatographie. German Patent no. 3831396: 1989.
43. **Sunarko B**, Meyer O. A microbial system for the detoxi-fication of acetonitrile in hplc waste. Paper presented at the Dechema Biotechnology Conference, Braunschweig, Germany: 1989.
44. Sulistinah N, Riffiani R, **Sunarko B**. Pengembangan sistem deteksi senyawa sianogen dalam ubi kayu (*Manihot esculenta Crantz*) dengan pendekatan enzimatik. Jurnal Biologi Indonesia. 2014; 10(1): 77–82.
45. Sulistinah N, Handayani R, **Sunarko B**. Isolasi mikrobia yang berperan dalam biodegradasi senyawa nitril serta karakterisasi enzim yang terlibat didalamnya. ENVIRO. 2005; 5(1): 18–21.
46. Sulistinah N, **Sunarko B**. Penapisan mikroba penghasil enzim untuk biotransformasi senyawa nitril. Berkala Penelitian HAYATI (Journal of Biological Researches). 2011; Edisi Khusus No. 4F: 13–18.
47. Riffiani R, Sulistinah N, **Sunarko B**. Gene Encoding Nitrilase from Soil Sample of Lombok Gold Mine Industry Using Metagenomics Approach. Knowledge E Life Sciences. 2017 Jul 11; 2017:201–207.
48. Sulistinah N, **Sunarko B**. Kinetika Biotransformasi Suksinonitril oleh *Pseudomonas* sp. Berita Biologi. 2010; 10(1): 85–91.
49. Subowo YB. Karakterisasi Enzim Pendegradasi Senyawa Asetonitril dalam Sel *Fusarium solani*. Berita Biologi. 2003; 6(4): 609-614.

50. Thontowi A, **Sunarko B**. Optimasi biotransformasi adiponitril menjadi asam adipat oleh sel *Bacillus licheniformis* BA2. Widyariset. 2006; 9(1): 15–23.
51. Supriyati D, **Sunarko B**. Pemanfaatan berbagai senyawa nitril dan produk degradasinya sebagai substrat untuk pertumbuhan isolat bakteri TP. Berita Biologi. 2001; 5(4): 431–438.
52. Sulistinah N, **Sunarko B**. Pertumbuhan isolat bakteri d1 pada berbagai senyawa nitril. Jurnal Biologi Indonesia. 1999; 2(5): 250–257.
53. Sulistinah N, **Sunarko B**. Pertumbuhan beberapa isolat mikroba dari berbagai limbah industri pada benzamida. Berita Biologi. 2000; 5(1): 103–110.
54. Peraturan Menristek-Dikti tentang Prioritas Riset Nasional tahun 2020–2024. Nomor 38 Tahun 2019.
55. Peraturan Presiden tentang Pengelolaan Mikroorganisme. Nomor 1 Tahun 2021.

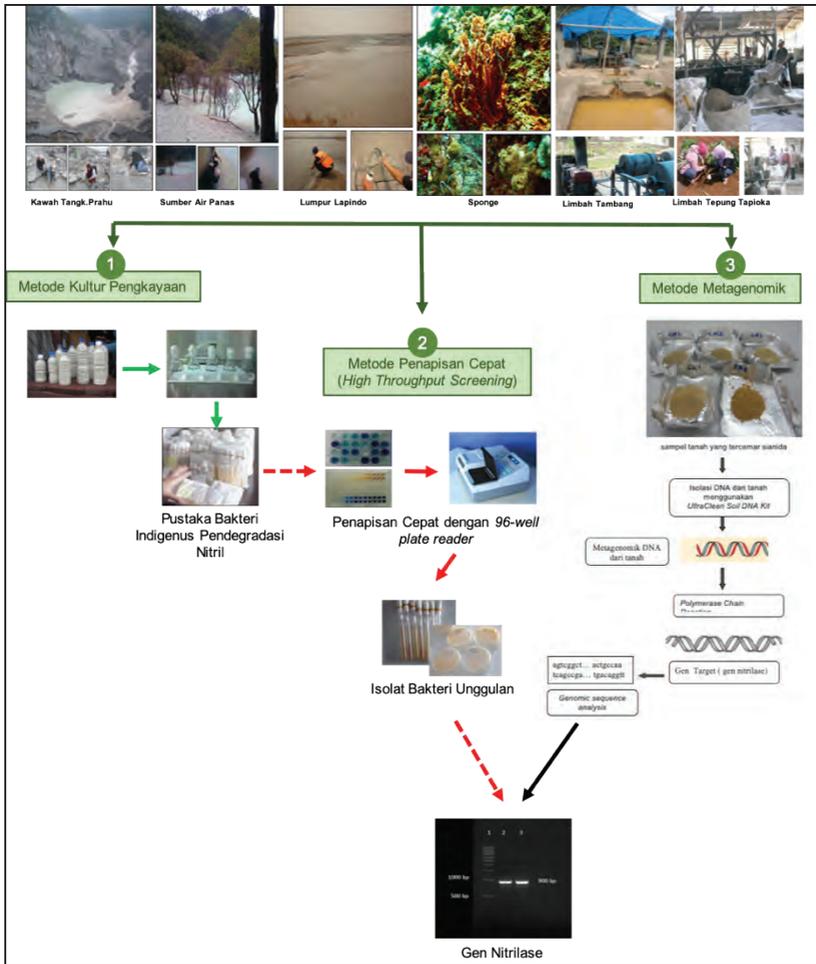
LAMPIRAN



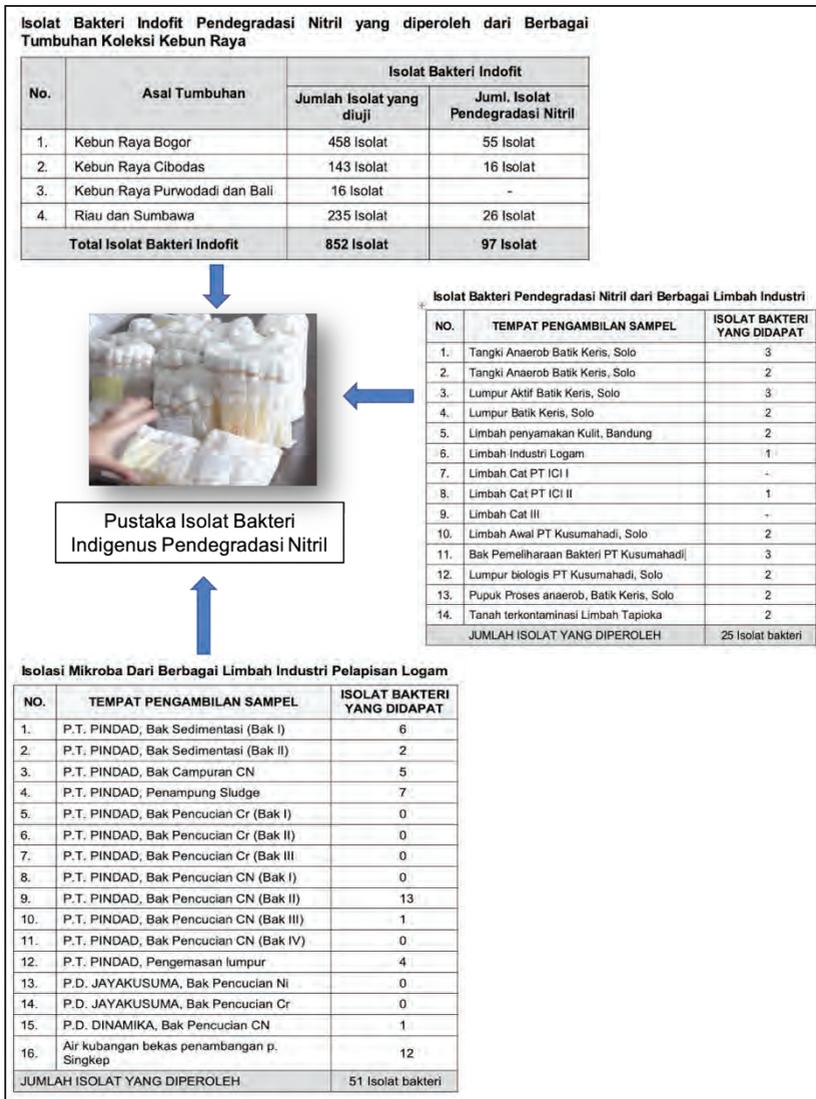
Gambar 1. Lingkup dan Alur Kegiatan Riset Biotransformasi Senyawa Nitril



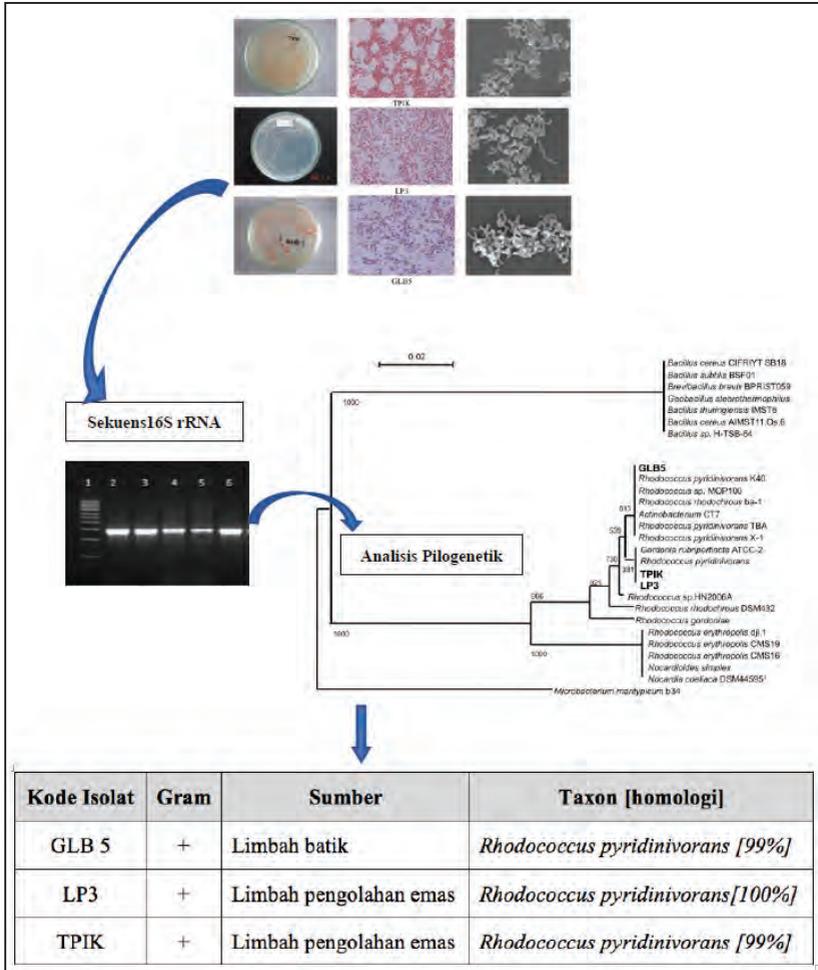
Gambar 2. Metode Cepat Hasil Pengembangan untuk Penapisan Mikroba/Enzim Pendeградasi Nitril



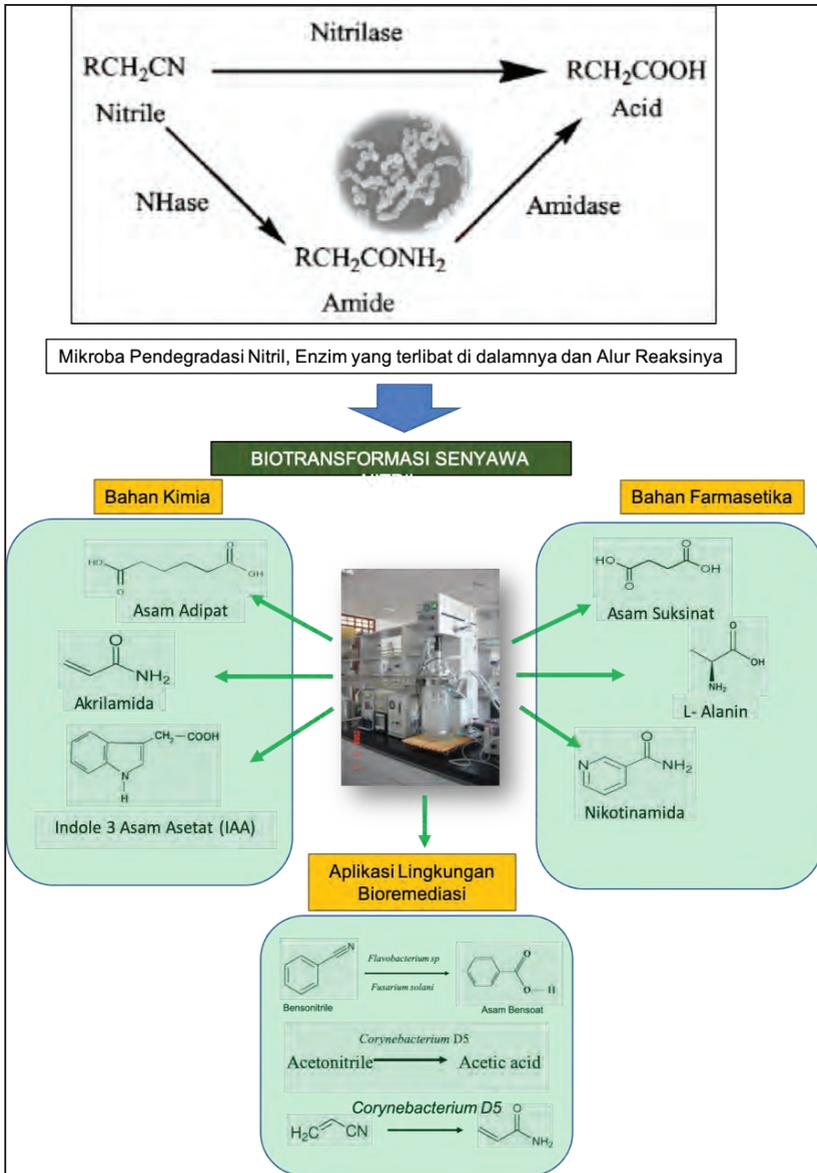
Gambar 3. Proses Penapisan Bakteri Indigenus Pendegradasi Nitril dari Berbagai Ekosistem



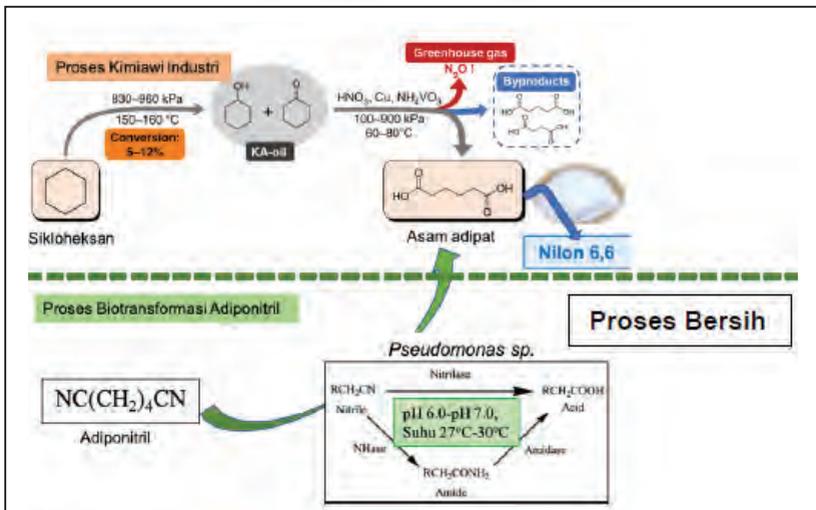
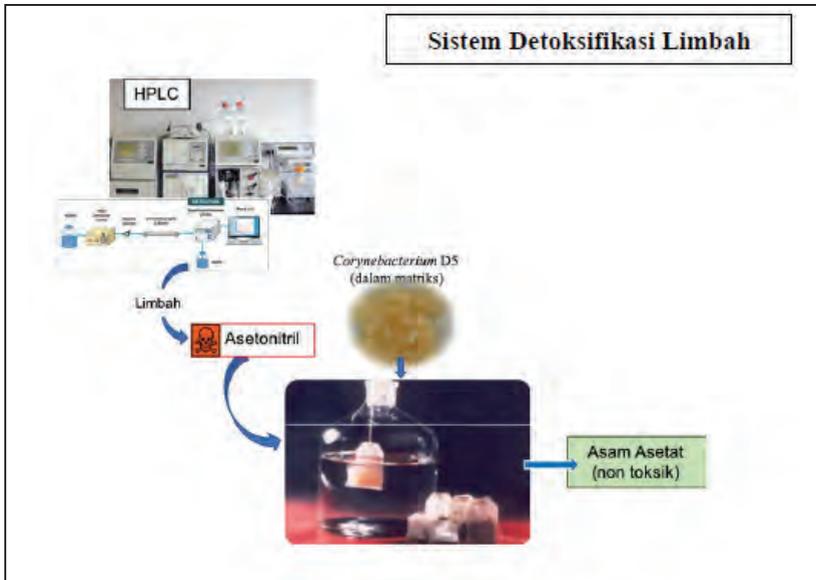
Gambar 4. Beberapa Contoh Perolehan Isolat Mikroba Indigenus Pendegradasi Nitril Hasil Penapisan dari Berbagai Ekosistem



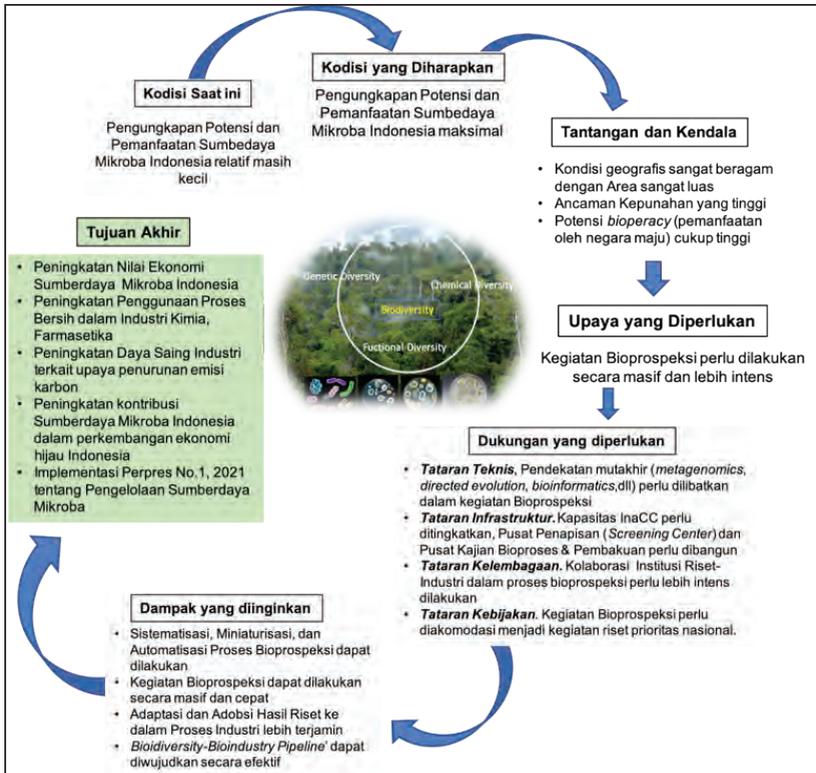
Gambar 5. Tiga Contoh Isolat Bakteri Indigenus Unggulan Pendegradasi Nitril



Gambar 6. Alur Reaksi Biotransformasi Senyawa Nitril, Beberapa Produk yang Dihasilkan dan Potensi Aplikasinya



Gambar 8. Konsep dan Prototipe Pemanfaatan Bakteri dan Proses Biotransformasi Nitril untuk Detoksifikasi Limbah Nitril dan Pengembangan Proses Bersih



Gambar 9. Usulan Strategi Bioprospeksi Mikroba Indonesia untuk Pengembangan Biokatalis dan Proses Bersih

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Bagian dari Buku Internasional

1. **Sunarko B.** Microbial biotransformation. *In:* (ed. Witarto, A.B and I. H. Slamet-Loedin) *Agricultural Biotechnology: Principles and Practice*. ASEAN Sub-Committee on Biotechnology (SCB) and Research Center for Biotechnology-LIPI; 2003. 75–88.
2. Fuad AM, Thontowi A, **Sunarko B.** Laboratory manual for fermentation. *In:* (ed. Witarto, A.B and I. H. Slamet-Loedin) *Agricultural Biotechnology: Principles and Practice*. ASEAN Sub-Committee on Biotechnology (SCB) and Research Center for Biotechnology-LIPI; 2003. 155–210.

Bagian dari Buku Nasional

3. **Sunarko B.** Biosintesis (R)-asam mandelat sebagai bahan baku obat anti-tumor dan anti obesitas. Dalam: Santoso, A., “Current Status: Penelitian dan Pengembangan-an Bahan Baku Obat”. LIPI Press; 2011. 13–15.
4. Atmosukarto IC, **Sunarko B.** Ekspresi heterologus gen m2 virus avian influenza untuk mendukung skrining bahan alam guna mencari molekul acuan baru yang beraktifitas antivirus dalam menghadapi penyebaran Virus H5N1. Dalam: Santoso, *et. al.*, “Pasca genomic dan molecular farming: Biologi molekuler untuk produksi obat-obatan dan mendukung ketahanan pangan”. LIPI Press; 2008. 97–103.

Jurnal Internasional

5. Nieder M, **Sunarko B**, Meyer O. Degradation of vinyl acetate by soil, sewage, sludge, and the newly isolated aerobic bacterium V2. *Appl. Environ. Microbiol.* 1990; 56 (10): 3023–3028.
6. Sulistinah N, **Sunarko B.** Biodegradation of acetonitrile and benzonitrile by a newly isolated rhodococcus pyridionvorans strain i-benzo from leather tanning waste. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. Sci.* 572 012022: 2020.

7. **Sunarko B**, Sulistinah N. Acrylonitrile degradation by whole cells of *Corynebacterium* sp. D5, isolated from polluted industrial waste. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 308 012012: 2019.
8. Riffiani R, Sulistinah N, **Sunarko B**. Gene encoding nitrilase from soil sample of lombok gold mine industry using metagenomics approach. Kne Life Sciences Vol. 2017: 2017.
9. Riffiani R, Sulistinah N, **Sunarko B**. Comparison of three DNA isolation and purification methods of bacterial DNA. Kne Life Sciences. 2015; 2:491–494.
10. **Sunarko B**, Meyer O. A Microbial system for the detoxification of acetonitrile in HPLC waste. *In: Dechema Biotechnology Conference Vol. 3* (D. Behren and A. J. Driesel, Eds.). 1989: 859–862.

Jurnal Nasional

11. Sulistinah N, Munandar H, **Sunarko B**. A new indigenous cyanomethane-degrading bacterium isolated from gold mining waste water. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2019; 15(2): 131–139.
12. Sulistinah N, Riffiani R, **Sunarko B**. Potensi *Rhodococcus pyridinovorans* GLB5 sebagai biokatalis dalam konversi senyawa methyl sianida dan phenil sianida. *Berita Biologi*. 2016; 15(1): 39–48.
13. Riffiani R, Sulistinah N, **Sunarko B**. Pengucilan gen penyandi nitrilase enam isolat bakteri unggulan. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2015; 11(1):41–50.
14. Hastuty E, Mangunwardoyo W, **Sunarko B**. Characterization of α -nitrile hydratase and amidase of *Rhodococcus* aff. *Qingshengii* from Indonesia. *HAYATI J. Biosci*. 2014; 21(2): 53–64.
15. Sulistinah N, Riffiani R, **Sunarko B**. Pengembangan sistem deteksi senyawa sianogen dalam ubi kayu (*Manihot esculenta* Crantz) dengan Pendekatan Enzimatis. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2014; 10(1): 77–82.

16. **Sunarko B**, Sulistinah N. Biotransformasi 3-Sianopiridin menjadi nikotinamida dengan sel *corynebacterium* d5 sebagai biokatalis. *Jurnal Teknologi Indonesia*. 2011; 34: 108–114.
17. Atmosukarto IC, **Sunarko B**. Screening of nitrile-degrading endophytic bacteria from the biodiversity of Indonesia. *Jurnal Teknologi Indonesia*. 2011; 34: 115–121.
18. Sulistinah N, **Sunarko B**. Konsorsia bakteri pengurai sianida yang diisolasi dari buangan industri pengolahan emas. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 2010; 11(3): 451–457.
19. Sulistinah N, **Sunarko B**. Penapisan mikroba penghasil enzim untuk biotransformasi senyawa nitril. *Berkala Penelitian HAYATI (Journal of Biological Researches)*. 2011; Edisi Khusus No. 4F: 13–18.
20. Sulistinah N, **Sunarko B**. Kinetika biotransformasi suksinonitril oleh *Pseudomonas* sp. *Berita Biologi*. 2010; 10(1): 85–91.
21. Prasetyoputri A, Yuliaty N, Tuharea W, Febyanti A, **Sunarko B**, Atmosukarto IC. The development of a bioassay based on heterologous expression of M2 ion-channel protein. *Ann. Bogorienses*. 2010; 14(2): 9–14.
22. **Sunarko B**, Sulistinah N, Suharna N. Karakterisasi pigmen *Monascus purpureus* SRB 22F. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2009; 5(4):431–440.
23. **Sunarko B**, Sulistinah N. Karakterisasi enzim nitril hidratase dan amidase dari *Pseudomonas* BP3 dan biokonversi adiponitril menjadi asam adipat. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2008; 5(2):173–186.
24. Nurhidayati L, Tambunan USF, **Sunarko B**. Pemurnian dan penentuan berat molekul hyaluronidase dari testis sapi lokal. *Jurnal Penelitian Kimia Alchemy*. 2006; 5(2):1.
25. Thontowi A, **Sunarko B**. Optimasi biotransformasi adiponitril menjadi asam adipat oleh sel *Bacillus licheniformis* BA2. *Widyariset*. 2006; 9(1):15–23.

26. Sulistinah N, Handayani R, **Sunarko B**. Isolasi mikrobia yang berperan dalam biodegradasi senyawa nitril serta karakterisasi enzim yang terlibat didalamnya. *ENVIRO*. 2005; 5(1): 18–21.
27. **Sunarko B**, Sulistinah N, Nieder M, Meyer O. Identification of degradation pathway of vinylacetate using bacterial isolate V2 and characterization of the involved enzymes. *Annales Bogorienses* 2005; 10(1):8–14.
28. Thontowi A, **Sunarko B**. Isolasi dan karakterisasi mikroba pendegradasi senyawa nitril. *BIOSFERA*. 2005; 22(1): 30–38.
29. Thontowi A, Pamuji EW, **Sunarko B**. Biotransformasi adiponitril oleh *Bacillus licheniformis* BA2. *Berk. Penel. Hayati*. 2004; 10: 25–30.
30. Subowo YB, **Sunarko B**, Gandjar I. Isolasi dan seleksi jamur pendegradasi senyawa benzonitril. *Berita Biologi*. 2003; 6(4): 575–581.
31. Sulistinah N, Suliawati, **Sunarko B**. Karakterisasi enzim pendegradasi benzonitril yang dihasilkan oleh *Flavobacterium* sp. *Jurnal Biologi*. 2003; VII (2): 36–40.
32. Sulistinah N, Kaban JS, **Sunarko B**. Karakteristik fisiologis enzim nitril hidratase dan amidase dalam sel *Corynebacterium* sp D5. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2002; 3(4): 288–298.
33. Sulistinah N, **Sunarko B**, Thontowi A. Metabolisme benzonitril oleh *Flavobacterium* sp NUB1. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2002; 3(3): 219–226.
34. Supriyati D, **Sunarko B**. Pemanfaatan berbagai senyawa nitril dan produk degradasinya sebagai substrat untuk pertumbuhan isolat bakteri TP. *Berita Biologi*. 2001; 5 (4): 431–438.
35. **Sunarko B**, Sulistinah N. Karakterisasi enzim vinilasetat-esterase dari Isolat bakteri V2. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2000; 2(6): 292–298.
36. **Sunarko B**, Adityarini, Tambunan USF, Sulistinah N. Isolasi, seleksi, dan karakterisasi mikroba pendegradasi asetonitril dari limbah industri. *Berita Biologi*. 2000; 5(2): 177–185.

37. Sulistinah N, **Sunarko B.** Pertumbuhan beberapa isolat mikroba dari berbagai limbah industri pada benzamida. *Berita Biologi.* 2000; 5(1): 103–110.
38. **Sunarko B.** Biosintesis Enzim nitril-hidratase dan amidase dalam sel *Corynebacterium* UBT 9. *Jurnal Mikrobiologi Tropika.* 1999; 2: 1–8.
39. Supriyati D, **Sunarko B.** Pertumbuhan berbagai isolat bakteri pada propionitril. *Jurnal Mikrobiologi Tropika.* 1999; 2: 25–31.
40. **Sunarko B,** Adytiarini, Tambunan USF, Sulistinah N. Karakterisasi enzim pendeградasi asetonitril dari *Corynebacterium* D5. *Jurnal Biologi Indonesia.* 1999; 2(5): 214–226.
41. Sulistinah N, **Sunarko B.** Pertumbuhan isolat bakteri D1 pada berbagai senyawa nitril. *Jurnal Biologi Indonesia.* 1999; 2(5): 250–257.
42. **Sunarko B.** Degradasi asetonitril dengan sel imobil *Corynebacterium* UBT 9. *Jurnal Biologi Indonesia.* 1998; 2(2): 73–82.
43. Rahmansyah M, **Sunarko B.** Pola fermentasi gula air lontar (*Borassus flabellifer* L.). *Jurnal Mikrobiologi Tropika.* 1997; 1(2): 64–70.
44. **Sunarko B.** Kemampuan Berbagai Isolat Bakteri Dalam Mendegradasi Asetonitril. *Jurnal Mikrobiologi Tropika.* 1996; 1(1): 13–19.

Prosiding Internasional

45. Kusharyoto W, Sari M, Sulistinah N, **Sunarko B.** Microbial conversion of glycerol to 1,3-propanediol by *Clostridium butyricum* NRRL B-1024. ASEAN Korea Symposium and Workshop on Biorefinery Technology. Jakarta, 17–18 February 2010.
46. Kusharyoto W, Andriani D, Sari M, Sulistinah N, **Sunarko B.** Production of 1,3-Propanediol by *Clostridium Butyricum* P50B1 using commercial and raw glycerol from biodiesel production. International Seminar Biotechnology for Enhancement the Tropical Biodiversity. University of Pajajaran, Bandung. 19–20 October 2010.

47. **Sunarko B**, Meyer O. A Microbial System for the Detoxification of Acetonitrile in HPLC Waste. *In: Dechema Biotechnology Conference Vol. 3* (D. Behren and A. J. Driesel, Eds.). 1989: 859–862.

Prosiding Nasional

48. Hiskia, Mambu GA, **Sunarko B**, Kusharyoto W. Rancang bangun amperometric biosensor cholesterol dengan teknik screen printing. *Prosiding Seminar Nasional Iptek Solusi Kemandirian Bangsa*, Yogyakarta, 2–3 Agustus 2006, ISBN 979 368859 9. 2006.
49. **Sunarko B**. Degradasi vinilasetat secara mikrobiologis. prosiding lokakarya nasional mikrobiologi lingkungan. 1995: 270–277.
50. **Sunarko B**. Metabolisme vinil asetat oleh isolat bakteri V2. Prosiding Seminar Hasil-Hasil Penelitian Bidang Hayati, PAU Ilmu Hayati, IPB. 1999; 81–88.
51. **Sunarko B**. Pengaruh berbagai induktor terhadap laju degradasi asetoneitril oleh *Corynebacterium* UBT 9. Prosiding Seminar Hasil-Hasil Penelitian Bidang Hayati, PAU Ilmu Hayati, IPB. 1999: 171–178.

Paten

52. Sander A, **Sunarko B**, Meyer O. Verfahren und biologisch aktive Substanzen zum mikrobiologischen Abbau von Acetonitril in mobilen Phasen der Hochdruck-Fluessigkeit-Chromatographie. German Patent no. 38 31 396. 1989.

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

Laporan Penelitian

1. **Sunarko B.** Pengembangan Metode Deteksi dan Detoksifikasi Senyawa Sianogen Dalam pengolahan Ubi Kayu (*Manihot esculenta* Crantz) untuk Mendukung Industri Kecil Makanan. Laporan Program Insentif Peningkatan Kemampuan peneliti & Perekayasa, LIPI. TA 2012
2. **Sunarko B.** Sintesis Bahan Obat Kiral melalui Biotransformasi Mikrobial: (R)-Asam Mandelat, Sinton Kiral untuk Bahan Obat Anti-Tumor dan Anti-Obesitas, sebagai Model. Laporan Program Kompetitif LIPI, TA 2010–2012.
3. **Sunarko B.** Penapisan Senyawa Antivirus H5N1 berbasis pada Penghambatan Protein ‘ion channel M2’ dari Sumber Hayati Indonesia. Laporan Program Insentif Riset Terapan KMNRT, TA 2010–2011.
4. **Sunarko B.** Bioprospeksi Mikroba Penghasil Nitrilase untuk Produksi Senyawa Obat melalui Pendekatan Konvensional dan Metagenomik. Laporan Program Insentif Peneliti & perekayasa, LIPI. TA 2009–2010.
5. **Sunarko B,** Hastuty E, Setiarto RHB, Handayani S. Karakteristik Fisiologis Tiga Isolat Bakteri Unggulan Pendegradasi Nitril sebagai Landasan Pengembangan Biokatalis untuk produksi Senyawa Obat. Lap.Tek. DIPA 2010. Puslit Biologi-LIPI. 2010.
6. **Sunarko B.** Ekspresi gen M2 virus Avian Influenza untuk mendukung skrining bahan alam guna mencari molekul acuan baru yang beraktifitas anti-virus dalam menghadapi penyebaran virus H5N1. Laporan Akhir Kumulatif Kegiatan Program Kompetitif, TA 2008. BPK-LIPI dan Puslit Bioteknologi-LIPI. 2008.
7. **Sunarko B,** Harwati TU, Utari AT, Setianingrum D, Nurbayani L. Penapisan Mikroba Potensial untuk Biokatalis Produksi Senyawa Obat Antiinflamasi Nonsteroid (AINS). Laporan Teknik Kegiatan Penelitian Bioteknologi 2007. Pusat Penelitian Bioteknologi. 2007; 33–41.

8. **Sunarko B.** Pengembangan Sarana dan Prasarana Laboratorium Bioproses untuk Mendukung Puslit Bioteknologi sebagai Inkubator (Bio-)Teknologi. Laporan Kegiatan Diseminasi Hasil Riset LIPI, Proyek Pengembangan dan Peningkatan kemampuan Teknologi, LIPI. 2004.
9. Thontowi A, Rohmatussolihat, Eko WP, Reggy IHS, Ajeng TU, **Sunarko B.** Aplikasi Mikroba sebagai biokatalis untuk lingkungan dan industri. *Lap. Teknik. Proyek Bioteknologi*, Puslit Bioteknologi-LIPI. 2003.
10. Fuad AM, **Sunarko B.**, Thontowi A. Isolasi dan seleksi Mikroba pendegradasi nitril. *Lap. Teknik. Proyek Bioteknologi*, Puslit Bioteknologi-LIPI. 2002.
11. **Sunarko B.** Biotransformasi (R,S)-Naproxen Nitril dan (R,S) Ketoprofen Nitril menjadi (S)-Naproxen dan (S)-Ketoprofen secara Enantioselektif oleh Jasad Renik/Enzim Pendegradasi Nitril. Laporan Riset Unggulan Terpadu (RUT VIII). KMNRT & LIPI, TA 2001–2002.
12. **Sunarko B.** Pemanfaatan jasad renik dan Enzim Pendegradasi Nitril untuk Mengembangkan Biosensor Pendeteksi Senyawa-Senyawa Sianida dalam Lingkungan perairan. Laporan Riset Unggulan Terpadu (RUT V). KMNRT & DRN, TA 1997–1998.
13. **Sunarko B.** Eksplorasi dan pemanfaatan Nira Lontar dari Nusa Tenggara Timur. *Lap. Teknik Proyek P3 Potensi Wilayah*, Puslitbang Biologi-LIPI. 1996.
14. Rahmansyah, **Sunarko B.** Potensi Sumberdaya Mikrob Lontar tanah pertanian di NTT. *Lap. Teknik Proyek P3 Potensi Wilayah*, Puslitbang Biologi-LIPI. 1996.
15. Sulistyio J, **Sunarko B.** Analisis Mikrobiologi Air Embung dan beberapa Sumber Air Lainnya pada beberapa kecamatan di kabupaten Kupang, NTT. *Lap. Teknik Proyek P3 Potensi Wilayah*, Puslitbang Biologi-LIPI. 1996.
16. Imamuddin H, **Sunarko B.** Seleksi Biak-biak yang mampu tumbuh pada Media yang mengandung Logam Berat. *Lap. Teknik Proyek P3 Biota Darat*, Puslitbang Biologi-LIPI. 1996: 288–294

17. Supriyati D, **Sunarko B.** Degradasi Bahan Plastik PHB (Poly- β -Hydroxzbutyrate) oleh Isolat bakteri A. Lap. Teknik Proyek P3 Biota Darat, Puslitbang Biologi-LIPI.1996: 303–312.

Karya Ilmiah yang Dipresentasikan dalam Workshop & Seminar Internasional

18. **Sunarko B.** Improvement Strategy of Agricultural Productivity Through Biotech Utilization and Portfolio, Program, and Project Management (P3M) Approach. The International Project Management Seminar 2018, International Project Management Association (IPMA), Jakarta, March 8th, 2018
19. **Sunarko B,** Sulistinah N. 2018. Acrylonitrile degradation by whole cells of *Corynebacterium* sp. D5, isolated from polluted industrial waste. The Intenational Symposium on Bioremediation, Biomaterial, Revegetation, and Conservation (ISBIOREV). Research Center for Biology-LIPI, Bogor, 27–28 September 2018
20. **Sunarko B,** Sulistinah N, Riffiani R, Munandar H. 2018. Enantioselective Nitrile Biotransformation for Synthesis of (R)-Mandelic Acid, a Chiral Synthone for Anti-tumor and Anti-obesity Drugs. The 5th International Seminar on Science “Navigating Science s in Disruptive Era”. IPB. Bogor. 25 October 2018
21. Sulistinah N, Riffiani R, Handayani S, Munandar H, **Sunarko B.** Bioprospecting of Nitrile Degrading Bacteria from the Biological Diversity of Indonesia as the basis of biocatalyst development. JST Kick-off Seminar, Bogor, 31 Mai 2011
22. Prasetyoputri A, Handayani S, Yuliaty N, Tuharea W, Febyanti A, Atmosukarto IC, **Sunarko B.** Towards New Influenza Antivirals from Natural Products: The Development of a Bioassay based on Heterologous Expression of M2 Ion-Channel Protein. JST Kick-off Seminar, Bogor, 31 Mai 2011
23. Prasetyoputri A, Yuliaty N, Tuharea W, Febyanti A, **Sunarko B,** Atmosukarto IC. Towards New Influenza Antivirals from Natural Products: The Development of a Bioassay Based on Heterologous Expression of M2 Ion Channel Protein. International Biotech Seminar and the 5th KBI Congress, Malang, Indonesia on July 27–30. 2010.

24. Tuharea W, Yuliaty N, Prasetyoputri A, Febiyanti A, **Sunarko B**, Atmosukarto IC. Screening for Antioxidant Properties of endophytic Fungal Extract from *Pavetta indica* L. International Biotech Seminar and the 5th KBI Congress, Malang, Indonesia on July 27–30. 2010.
25. Atmosukarto IC, **Sunarko B**, Nurbayani L, Prasetyaputri A, Tuharea W, Sari M. Nitrile degrading Activity of endophytic Bacteria from the Biological Diversity of Indonesia. “Enzyme: Industrial and Medical Prospects”, ASEAN Biochemistry Seminar and Workshop, Universitas Airlangga dan University of Groningen, Surabaya, 2006.

Karya Ilmiah yang Dipresentasikan dalam Seminar Nasional

26. Sulistinah N, Riffiani R, **Sunarko B**. Biosintesis (R)-Asam Mandelat sebagai bahan Baku Obat Anti-Tumor dan Anti Obesitas. LIPI Expo 2011, Jakarta, 7–9 November 2011.
27. **Sunarko B**. Peluang dan Tantangan Penerapan Bioteknologi Dalam Industri Berbasis Sumberdaya Alam, disampaikan dalam Seminar “Aplikasi Bioteknologi Dalam Meningkatkan Daya Saing Produk Industri Berbasis Sumber Daya Alam Kalimantan Barat”, yang diselenggarakan oleh Baristand Industri Pontinak, di Pontianak, 28 Oktober 2010.
28. **Sunarko B**. Bioassay Berbasis Molekuler dan Seluler untuk penapisan Senyawa Antiviral H5N1 Dari Sumber Daya Hayati, disampaikan pada Workshop “Tantangan Penelitian Avian Influenza di Indonesia”, yang diselenggarakan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), di Jakarta, 4 September 2008.
29. **Sunarko B**. Keanekaragaman Hayati untuk Pencapaian Millenium Development Goals, disampaikan pada Lokakarya “Keanekaragaman Hayati untuk Pencapaian Millenium Development Goals”, yang diselenggarakan oleh Perhimpunan Biologi Indonesia (PBI) dan Puslit Biologi, di Cibinong, 8 November 2007.

30. **Sunarko B.** Pengendalian Resiko Bioteknologi terhadap Masyarakat Sekitar Pabrik, disampaikan di Seminar Nasional ‘Keselamatan dan Kesehatan Kerja Higin Industri dan Keselamatan Lingkungan’, yang diselenggarakan oleh Dewan Keselamatan dan Kesehatan Kerja Nasional, di Jakarta, 10–11 Januari 2005.
31. **Sunarko B.** Biosensor, disampaikan dalam Kongres Nasional Bersama 2001, PETRI VII, PERPARI IV, PERMI VIII dan PKWI IV, di Yogyakarta, 11–15 Juli 2001.
32. **Sunarko B.** Biokonversi 3-sianopiridin menjadi nikotinamida dan asam nikotinat dengan *Corynebacterium* D5 sebagai bikatalisator. Kongres Ilmu Pengetahuan Nasional VII, di Serpong, 10 September 1999.

Artikel dalam Majalah Semi Populer Internasional

33. Nieder M, **Sunarko B**, Meyer O. Mikrobieller Abbau von Vinylacetat. GIT Fachz. Lab. 1992;1/92: 41.
34. Nieder M, **Sunarko B**, Meyer O. Metabolism of Vinyl Acetate by bacterium V2. Forum Mikrobiologie. 1990; 13(2): 25–26.
35. **Sunarko B**, Meyer O. Biologische Entgiftung mobiler Phase. *Technologie Transfer*, Universitaet Bayreuth. 1989.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama : Dr. Ir. Bambang Sunarko
Tempat, Tanggal Lahir : Trenggalek, 13 Juni 1958
Anak ke : Pertama dari enam Bersaudara
Jenis Kelamin : Pria
Nama Ayah Kandung : Sumiran
Nama Ibu Kandung : Sartiyah (almh.)
Nama Istri : Noor Noorlaela S.Pd.
Jumlah Anak : 3 (tiga)
Nama Anak : 1. Rizki Ekananda M.Si.
2. Widi Dwinanda S.Kom.
3. Firmansyah Trinanda
Nama Instansi : Pusat Riset Mikrobiologi Terapan,
Badan Riset dan Inovasi Nasional
Judul Orasi : Biotransformasi Senyawa Nitril
dan Potensi Pemanfaatannya
dalam Industri, Kesehatan, dan
Lingkungan
Bidang kepakaran : Mikrobiologi
No. SK. Pangkat Terakhir : Keppres Nomor 112/K Tahun
2014, tanggal 1 Desember 2014,
TMT 1 Oktober 2014
No. SK Peneliti Ahli
Utama : Keppres Nomor 3/M Tahun 2022,
tanggal 19 Januari 2022, TMT 1
Oktober 2021

B. Pendidikan Formal

No	Jenjang	Nama Sekolah/Universitas	Tempat Kota/ Negara	Tahun Lulus
1	SD	SD Negeri Surodakan II	Trenggalek	1971
2	SLTP	SMP Negeri Trenggalek	Trenggalek	1974
3	SLTA	SMA Negeri Trenggalek	Trenggalek	1977
4	S-1	Institut Pertanian Bogor	Bogor	1982
5	S-3	Universitaet Bayreuth	Jerman	1995

C. Pendidikan Nonformal

No	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/ Kota/Negara	Tahun
1	Program Pendidikan Reguler Kepemimpinan Nasional, Angkatan XLVIII (LEMHANNAS)	Jakarta	2012
2	<i>Training Course in Patent Informatics</i> (WIPO, DGIPR & LIPI)	Jakarta	2004
3	Diklatpim Tingkat III) (PMPSDMP & LIPI)	Ciawi	2003
4	<i>Leadership Development Program</i> (LIPI & CSIRO)	Jakarta, Australia	1999– 2000
5	Evaluasi dan Monitoring Penelitian	Jakarta	1998
6	Pengelolaan, Evaluasi dan Pengendalian Bantuan Luar Negeri (BLN)	Jakarta	1996

D. Jabatan Struktural

No	Jabatan/Pekerjaan	Nama Instansi	Tahun
1	Kepala Pusat Penelitian Bioteknologi	P2 Bioteknologi, LIPI	2014–2018
2	Kepala Pusat Penelitian Biologi	P2 Biologi, LIPI	2013–2014
3	Kepala Bidang Bioproses	P2 Bioteknologi, LIPI	2002–2006
4	Kepala Bidang Bioproses	P2 Bioteknologi, LIPI	2001–2002

E. Jabatan Fungsional

No	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1	Ahli Peneliti Utama	01-07-2016
2	Peneliti Madya	01-10-2009
3	Peneliti Madya	01-10-2004
4	Ajun Peneliti Madya	01-10-2000
5	Ajun Peneliti Muda	01-06-1996

F. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

No	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
Pimpinan Proyek (Pengelola Anggaran APBN)			
1	Proyek “ <i>Penelitian, Pengembangan dan Pendayagunaan Biota Darat</i> ”, Puslitbang Biologi, LIPI	Menteri Sekretaris Negara-RI	1997–1999
2	Proyek “ <i>Penelitian Bioteknologi</i> ”, Puslit Bioteknologi, LIPI	Menteri Riset dan Teknologi	2002–2003
3	Kuasa Pengguna Anggaran/Barang APBN. Puslit Bioteknologi, LIPI.	Kepala LIPI	2014–2018
4	Kuasa Pengguna Anggaran/Barang APBN. Puslit Biologi, LIPI.	Kepala LIPI	2013
5	Penanggung jawab “Program Insentif Riset Sistem Inovasi Nasional (SINAS)”	Kepala Puslit Bioteknologi, LIPI	2014
Pimpinan Kelompok Penelitian			
6	Kelompok Penelitian Mikrobiologi Lingkungan	Kepala Puslitbang Biologi, LIPI	1995–2000
7	Kelompok Penelitian Biokimia Mikrobial	Kepala Puslit Biologi, LIPI	2007–2010
Ketua			
8	Komite Penilaian Proposal Penelitian dan Komite Penilaian Keluaran Penelitian untuk Kegiatan Unggulan-LIPI, “Bidang Pangan dan Obat”	Kepala LIPI	2017

No	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
9	Tim Penyusun Rencana Koordinatif Kedepuitan Bidang Ilmu pengetahuan Hayati, LIPI Tahun 2015–2019	Deputi Bidang IPH	2013
10	Tim Perencana Puslit Bioteknologi, LIPI	Kapuslit Bioteknologi, LIPI	2004–2005
11	Tim Perencana Puslit Bioteknologi, LIPI	Kapuslit Bioteknologi, LIPI	2001–2002
Wakil Ketua			
12	Tim Penyusun “Rumusan Rekomendasi Widyakarya Nasional Pangan dan Gizi XI, LIPI Press, 2018.	Kepala LIPI	2018
13	Widyakarya Nasional Pangan dan Gizi (WNPG) XI, Jakarta 3–4 Juli 2018	Kepala LIPI	2018
14	Sekretariat Komisi Bioetika Nasional	Deputi IPH, LIPI	2013
Anggota			
15	Tim Penilai Peneliti Unit (TP2U)	Kapuslit Biologi, LIPI	2020
16	Tim Evaluasi dan Penataan Organisasi LIPI	Kepala LIPI	2013
17	Kelompok Kerja Nasional Informasi Geospasial Tematik, “Subpokja Pemetaan Ekoregion”	KaBadan Informasi Geospasial	2013
18	Tim Panelis, Monitoring, dan Evaluasi Kegiatan Kompetitif, LIPI. Bidang Eksplorasi dan Pemanfaatan Terukur Sumber Daya Hayati Indonesia	Kepala LIPI	2010–2013
19	Tim Perencana Puslitbang Biologi, LIPI	Kapuslit Biologi-LIPI	2006–2007

No	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
20	Tim Penilai dan Sekretariat Jabatan Fungsional Perencana, LIPI	Kepala LIPI	2004
21	Tim Perencana Puslit Bioteknologi, LIPI	Kapuslit Bioteknologi-LIPI	2003–2004
22	Tim Perencana Puslitbang Biologi, LIPI	Kapuslitbang Biologi-LIPI	1995–2000
23	Tim Hak Atas Kekayaan Intelektual (HAKI), LIPI	Ketua LIPI	2000
24	Kelompok Kerja Perumusan Saran “Struktur Kedeputian Bidang IPA-LIPI”	Deputi Bidang IPA-LIPI	1999
National Focal Point (NFP)			
25	<i>Sub-Committee on Biotechnology, ASEAN-COST</i>	Menristek Dikti	2014–2018
Chair			
26	<i>Sub-Committee on Biotechnology, ASEAN-COST</i>	Menristek Dikti	2018
Koordinator, Peneliti Utama atau Principle Investigator (PI)			
27	<i>Kegiatan Kompetitif-LIPI “Sintesis Bahan Obat Kiral melalui Biotransformasi Mikrobial: (R)-Asam Mandelat, Sinton Kiral untuk Bahan Obat Anti-tumor dan Anti-Obesitas, sebagai Model”</i>	Kepala LIPI	2010–2012
28	<i>Kegiatan Insentif Riset Terapan-KNRT “Penapisan Senyawa Antivirus H5N1 berbasis pada Penghambatan Protein Ion Channel M2 dari Sumber Hayati Indonesia”</i>	Menteri Riset dan Teknologi	2010–2011
29	<i>Program Insentif Peneliti dan Perekayasa-DIKTI, “Bioprospeksi Mikroba Penghasil Nitrilase untuk Produksi Senyawa obat, melalui Pendekatan Konvensional dan Metagenomik”</i>	Kemendikti	2009–2010

No	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
30	<i>Kegiatan Kompetitif-LIPI</i> , “Ekspresi heterologus gen M2 virus Avian Influenza untuk mendukung skrining bahan alam guna mencari molekul acuan baru yang beraktifitas anti-virus dalam menghadapi penyebaran virus H5N1”	Kepala LIPI	2008
31	<i>Kegiatan Tematik Puslit Bioteknologi-LIPI</i> , “Biosintesis Senyawa Obat Anti-Inflamasi Nonsteroid (AINS) Melalui Biotransformasi Mikrobial”	Kepala Puslit Bioteknologi, LIPI	2004– 2005
32	<i>Kegiatan Tematik Puslit Bioteknologi-LIPI</i> , “Biosintesis asam adipat (precursor Nylon 6,6) melalui proses biotransformasi adiponitril secara mikrobial”	Kepala Puslit Bioteknologi, LIPI	2003– 2004
33	<i>Kegiatan Riset Unggulan Terpadu (RUT-VIII)</i> , “Biotransformasi (R,S)-Na-proksen nitril menjadi (S)-Naproksen secara enansio- selektif”	Menteri Riset dan Teknologi	2001– 2002
34	<i>Kegiatan Riset Unggulan Terpadu (RUT-V)</i> , “Pengembangan biosensor pendeteksi senyawa nitril/ sianida dalam lingkungan perairan”	Menteri Riset dan Teknologi	1997– 1999
35	<i>Kegiatan Tematik, Puslitbang Biologi-LIPI</i> , “Pengembangan Model Reklamasi Lahan Terdegradasi di Jampang, Jawa Barat”	Kepala Puslitbang Biologi-LIPI	1996- 11997

No	Jabatan/Pekerjaan Peneliti Anggota	Pemberi Tugas	Tahun
36	Kegiatan Tematik, Puslit Biologi-LIPI, “Purifikasi, Karakterisasi dan Aplikasi Enzim Nitril hidratase, chitinase, dan β -Galaktosidase sebagai Bio-katalis untuk Produksi Senyawa Obat dan Pangan”	Kepala Puslit Biologi-LIPI	2009
37	Kegiatan Kompetitif-LIPI, “Biokonversi Gliserol dari Limbah Pemrosesan Minyak Nabati menjadi 1,3 Propandiol”	Kepala LIPI	2009
38	Kegiatan Kompetitif LIPI, “Pengembangan sistem biosensor untuk bidang kesehatan”	Kepala LIPI	2006– 2007
39	Kegiatan Tematik, Puslit Biologi-LIPI, “Bioprospeksi Mikrob penghasil Enzim Nitril Hidratase yang bersifat enansioselektif, Kitinase, dan β -Galaktosidase untuk Biosintesis Senyawa Obat”	Kepala Puslit Biologi-LIPI	2006

G. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
Kepanitiaan dalam Seminar dan Simposium				
1	The International Symposium on Bioeconomics of Natural Resources Utilization (12.11.2017)	Committee	Feng Chia Univ., Heriot Watt Univ. & LIPI, di Bogor	2017
2	Sem. Nas. Keanekaragaman Hayati “Komitmen Pemerintah terhadap Aichi Targets” (3.12.2016)	Anggota Penye- lenggara	PBI & Puslit Biologi-LIPI, di Bogor	2016

No	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
3	Seminar Nasional “Peran Biologi untuk Kemandirian Bangsa’ (10.11. 2015)	Anggota Penye- lenggara	PBI & Puslit Biologi-LIPI, di Jakarta	2015
4	Seminar “Peringatan Hari Pangan sedunia XXXIV Tingkat Nasional”	Anggota Panitia	Menteri Pertanian, di Makasar	2014
5	International Conference on Biodiversity, Climate Change and Food Security. Bidang Biodiversity	Anggota Panitia Nasional	Menteri Pertanian, di Jakarta	2013
6	Pelatihan Bioprospeksi Enzim Mikroba: Penapisan Mikroba, Purifikasi dan Karakterisasi (20–27 April, 2009)	Ketua Pelaksana	Puslit Biologi- LIPI, di Cibinong	2009
7	Lokakarya Nasional “Mikrobiologi Lingkungan” II (9–10 Oktober, 1996)	Ketua Panitia	Puslitbang Biologi-LIPI, di Bogor	1996
Keikutsertaan dalam Seminar dan Simposium				
8	The International Project Management Seminar “Improvement Strategy of Agricultural Productivity”, (March 8 th , 2018)	Pembicara Undangan	International Project Management Association, di Jakarta	2018
9	The 4 th JASTIP Symposium “Biomass to Energy, Chemicals and Functional Materials”, (3–4 July 2017)	Pembicara Undangan	Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University, Thailand	2017

No	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
10	Seminar “Aplikasi Bioteknologi Dalam Meningkatkan Daya Saing Produk Industri Berbasis Sumber Daya Alam Kalimantan Barat”, (28 Okt., 2010)	Pembicara Undangan	Baristand Industri Pontinak, di Pontianak	2010
11	Workshop “Tantangan Penelitian Avian Influenza di Indonesia”, (4 Sept. 2008)	Pembicara Undangan	LIPI, Jakarta	2008
12	Lokakarya “Keanekaragaman Hayati untuk Pencapaian Millenium Development Goals”, (8 Nov. 2007)	Pembicara Undangan	PBI, di Cibinong	2007
13	Seminar Nasional ‘Keselamatan dan Kesehatan Kerja Higine Industri dan Keselamatan Lingkungan’, (10.01. 2005)	Pembicara Undangan	Dewan Keselamatan dan Kesehatan Kerja Nasional, Jakarta	2005
14	Kongres Nasional Bersama 2001, PETRI VII, PERPARI IV, PERMI VIII, PKWI IV, (11–15 Juli 2001)	Pembicara Undangan	Yogyakarta	2001

H. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1.	Berita Biologi	LIPI	Mitra Bestari	2020
2.	J. Teknologi Indonesia	LIPI	Dewan Redaksi	2013–2014
3.	Annales Bogorienses	Puslit Bioteknologi	<i>Associate Editor</i>	2010
4.	Berita Biologi 9(2)	LIPI	Mitra Bestari	2008
5.	Widyariset	LIPI	Dewan Redaksi	2006
6.	Biotrends	Puslit Bioteknologi	Dewan Redaksi	2005–2006
7.	Annales Bogorienses	Puslit Bioteknologi	<i>Associate Editor</i>	2004–2005
8.	Berita Biologi	LIPI	Dewan Redaksi	2000
9.	Berita Biologi	LIPI	Dewan Redaksi	1997–1998
10.	J. Mikrobiologi Tropika	Puslitbang Biologi	Dewan Redaksi	1996

I. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis tunggal	8
2.	Bersama Penulis lainnya	44
	Total	52

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	35
2.	Bahasa Inggris	16
3.	Bahasa lainnya	1
	Total	52

J. Pembinaan Kader Ilmiah

Sebagai Pengajar/Dosen Luar Biasa

No.	Mata Kuliah	Fakultas, Universitas	Tahun
1.	Bioteknologi Lingkungan	Prodi Magister Ilmu Kimia, FMIPA, Univ. Indonesia	2005–kini
2.	Teknologi Fermentasi	Prodi Magister Ilmu Kimia, FMIPA, Univ. Indonesia	2005–kini
3.	Mikrobiologi Lingkungan	Fak. Lansekap dan Tek. Lingkungan, Univ. Trisakti	1999–2004
4.	Bioteknologi Lingkungan	Fak. Lansekap dan Tek. Lingkungan, Univ. Trisakti	1999–2004

Pengajar/Fasilitator dalam Pelatihan

No.	Pelatihan/Training	Penyelenggara, Tempat	Tahun
5.	Diklat Fungsional Peneliti Tingkat Pertama Pengantar dan Usulan Penelitian	Pusbindiklat-LIPI, di Bogor	2007–2009
6.	“Agricultural Biotechnology Training”, ASEAN Sub-Committee on Biotechnology	ASEAN SC on Biotechnology, di Cibinong	2003
7.	Pelatihan “Bioprospeksi Enzim Mikroba”	Puslit Biologi-LIPI, di Cibinong	2009
8.	Bimtek ”Penyusunan Proposal Teknis dan Penulisan Karya Tulis Ilmiah”	PPP-TKP, KKP	2011
9.	Pelatihan ”Desain Riset untuk Peneliti”	Pusbindiklat-LIPI, Cisarua	2011
10.	Pelatihan ”Teknik Penulisan Ilmiah untuk Non-Peneliti”	Pusbindiklat-LIPI, Cisarua	2011

Pembina Pejabat Fungsional Peneliti

No.	Nama	Instansi	Peran/ Tugas	Tahun
1.	Hendra Munandar, S.Si.	UPT BK Biota Laut Ambon-LIPI	Bimbingan Penelitian	2008– 2009
2.	Dra. Nunik Sulistinah	Puslit Biologi-LIPI	Bimbingan Penelitian	2019

Pembimbing/Penguji Mahasiswa

No.	Nama	PT/Universitas	Peran/Tugas	Tahun
1.	Enawati	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing Skripsi	1997
2.	Adityarini	Universitas Indonesia	Pembimbing Thesis	1999
3.	Fithri Hanafia	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing Skripsi	1999
4.	Diah Wardani	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	1999
5.	Nurlaila Pabeangi	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	1999
6.	Anggraeni	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	2000
7.	Dwi Purnomo	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing Skripsi	2000
8.	Noviyani Samuel	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	2000
9.	Peggy Prawira	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	2000
10.	Clara Primartuti	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	2000
11.	Hendra Munandar	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing Skripsi	2000

No.	Nama	PT/Universitas	Peran/Tugas	Tahun
12.	Suliawati	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing Skripsi	2000
13.	Dwi Suryanto, M.Si.	Institut Pertanian Bogor	Penguji Disertasi	2001
14.	Evvi Eka Suriani	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing Skripsi	2001
15.	Irma Aryanti	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	2001
16.	Vonny Ratna Sari	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	2001
17.	Diana Indrastuti	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	2001
18.	Carla Familia	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	2001
19.	Yoseva Kaban	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing Skripsi	2001
20.	Dimas Hartanto	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	2002
21.	Ardilas	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	2002
22.	Arif B. Ismutakhirum	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	2002
23.	Adhyaksa P.	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	2002
24.	Agnesz Winarti	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	2002
25.	Zulfikar	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	2002
26.	Noviasanti	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing Skripsi	2002

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama	PT/Universitas	Peran/Tugas	Tahun
27.	Muhammad Fadli	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	2003
28.	Ratu Kusumaningsih	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	2003
29.	Elvi Susanti	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing Skripsi	2003
30.	Eko W. Pamuji	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing Skripsi	2003
31.	Regy Silitonga	AKA Bogor	Pembimbing Skripsi	2003
32.	Nani Radiastuti	Universitas Indonesia	Penguji Thesis	2003
33.	Citra Prihatini	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	2004
34.	Sizs Evy	Universitas Trisakti	Pembimbing Skripsi	2004
35.	Drs. Subowo	Universitas Indonesia	Pembimbing Thesis	2004
36.	Ati Setiawati, S.Si	Universitas Indonesia	Pembimbing Thesis	2004
37.	L. Nurhidayati, S.Si	Universitas Indonesia	Pembimbing Thesis	2004
38.	Dine Agustine, S.Si	Universitas Indonesia	Pembimbing Thesis	2004
39.	Tuti Utama Siregar	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing Skripsi	2005
40.	Vivitri Dewi, S.Si	Universitas Indonesia	Pembimbing Thesis	2006

No.	Nama	PT/Universitas	Peran/Tugas	Tahun
41.	Irwan Saputra, S.Si	Universitas Indonesia	Penguji Thesis	2005
42.	H.C. Himawan, S.Si	Universitas Indonesia	Penguji Thesis	2005
43.	Eva Yuliana Fitri	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing Skripsi	2005
44.	Niza Nemara, S.Si	Universitas Indonesia	Pembimbing Thesis	2006
45.	Irmanto Z.G, S.Si	Universitas Indonesia	Pembimbing Thesis	2007
46.	Dewi Supariasih	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing Skripsi	2008
47.	Safety Pratiwi	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing Skripsi	2008
48.	Suri Handayani	Universitas Pakuan	Pembimbing Skripsi	2009
49.	Aerma Hastuty, S.Si	Universitas Indonesia	Pembimbing Thesis	2013
50.	Hendra Munandar, S.Si	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing Thesis	2012
51.	Nindi Putri Dahlia	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing Skripsi	2011
52.	Syarifuddin I, M.Si	Universitas Indonesia	Penguji Disertasi	2013
53.	Rafiq R. Ria	Universitas Diponegoro	Pembimbing Skripsi	2019

Buku ini tidak diperjualbelikan.

K. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	American Society for Microbiology	1991–1995
2.	Anggota	Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia	2005–2009
3.	Sekretaris Jendral	Perhimpunan Biologi Indonesia	2013–2017
4.	Sekretaris Jendral	Pokja Nasional Jamur Indonesia	2013–2014
5.	Indonesian Focal Point	SC on Biotechnology, ASEAN COST	2014–2018
6.	Chair	SC on Biotechnology, ASEAN COST	2018
7.	Anggota	Hipenindo	2019

L. Tanda Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Satyalancana Karya Satya X Tahun	Presiden	2003
2.	Satyalancana Karya Satya XX Tahun	Presiden	2007
3.	Satyalancana Karya Satya XXX Tahun	Presiden	2015
4.	Satyalancana Karya Pembangunan	Presiden	2019

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung BJ Habibie, Jl. M.H. Thamrin No.8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.712



ISBN 978-623-8052-23-3



Buku ini tidak diperjualbelikan.