

**PENDEKATAN METABOLOGENOMIK
DALAM FERMENTASI TERKONTROL UNTUK
MENDUKUNG KEMANDIRIAN BAHAN ALAM
DAN PANGAN FUNGSIONAL DI INDONESIA**

Diterbitkan pertama pada 2026 oleh Penerbit BRIN

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



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

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

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



**PENDEKATAN METABOLOGENOMIK DALAM
FERMENTASI TERKONTROL UNTUK
MENDUKUNG KEMANDIRIAN BAHAN ALAM
DAN PANGAN FUNGSIONAL DI INDONESIA**

**ORASI ILMIAH PROFESOR RISET
ILMU BIOLOGI
BIDANG FERMENTASI
KEPAKARAN MIKROBIOLOGI BAHAN ALAM DAN
PANGAN FUNGSIONAL**

**OLEH:
ANDRI FREDIANSYAH**

Penerbit BRIN

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

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Pendekatan Metabologenomik dalam Fermentasi Terkontrol untuk Mendukung Kemandirian Bahan Alam dan Pangan Fungsional di Indonesia/Andri Frediansyah.–Jakarta: Penerbit BRIN, 2026.

ix + 137 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISSN 3090-8485

1. Bioaktif
3. Fermentasi




2. Pangan Fungsional
4. Mikrobiologi

664.024

Copy editor : Rahma Hilma Taslima
Proofreader : Martinus Helmiawan
Penata Isi : Rahma Hilma Taslima
Desainer Sampul : Rahma Hilma Taslima

Edisi pertama : Juni 2026



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, Anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie Lt. 8, Jl. M.H. Thamrin No.8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
Whatsapp: +62 811-1064-6770
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id
 PenerbitBRIN
 @Penerbit_BRIN
 @penerbit.brin

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
BIODATA RINGKAS	1
PRAKATA PENGUKUHAN	7
I. PENDAHULUAN.....	9
II. PERKEMBANGAN RISET MIKROBA FERMENTASI.....	15
A. Tahap Eksplorasi dan Karakterisasi Mikroba.....	18
B. Perkembangan Paradigma Fermentasi	26
C. Transformasi Teknologi Fermentasi.....	28
III. KONSEP METABOLOGENOMIK TERKONTROL	33
A. Parameter Kunci dalam Sistem Fermentasi Terkontrol	33
B. Pendekatan Metabologenomik dalam Sistem Fermentasi Terkontrol.....	35
C. Pemanfaatan Metabologenomik dalam Fermentasi Terkontrol..	40
IV. APLIKASI METABOLOGENOMIK TERKONTROL PADA BAHAN ALAM DAN PANGAN FUNGSIONAL.....	43
A. Aplikasi Metabologenomik dalam Fermentasi Terkontrol untuk Penemuan dan Produksi Bahan Alam.....	43
B. Aplikasi Metabologenomik dalam Fermentasi Terkontrol untuk Pangan Fungsional	56
V. PELUANG, TANTANGAN DAN STRATEGI IMPLEMENTASI METABOLOGENOMIK	63
A. Peluang	63
B. Tantangan	64
C. Strategi Implementasi	66
VI. KESIMPULAN.....	69
VII.PENUTUP.....	71

UCAPAN TERIMA KASIH	73
DAFTAR PUSTAKA.....	75
DAFTAR CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET, DAN INOVASI.....	93
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA.....	119
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Keragaman bahan alam berdasarkan data penambangan genom dari mikroba di dunia.	17
Gambar 2.2	Keragaman BGCs dari prokariota.....	30
Gambar 3.1	Alur perkembangan dan variasi <i>database</i> BGCs mikroba di dunia.....	37
Gambar 3.2	Tiga pilar teknologi dalam pendekatan metabologenomik.....	40
Gambar 4.1	Ilustrasi pendekatan metabologenomik dalam penemuan dan produksi bahan alam aktif.	44
Gambar 4.2	Struktur lima bahan alam aktif baru yang berhasil ditemukan dan diidentifikasi.	47
Gambar 4.3.	Struktur enam bahan alam aktif yang telah ditemukan sebelumnya dan berhasil diidentifikasi.	48
Gambar 4.4	Kluster gen penghasil violacein pada <i>J. agaricidamnosum</i> dan <i>J. lividum</i>	49
Gambar 4.5	Produksi violacein dan deoxyviolacein.	50
Gambar 4.6	Analisis komparatif genom dari isolat bakteri SKB12 terhadap bakteri referensi seperti <i>Halobacillus faecis</i> DSM 2266, <i>H. andaensis</i> CGMCC 1.12153, dan <i>H. halophilus</i> DSM 2266.....	52
Gambar 4.7	Pendekatan OSMAC dalam fermentasi terkontrol.	53
Gambar 4.8	Bahan alam berukuran 930 Da pada retensi sekitar 17.8 yang terdeteksi berdasarkan <i>Diode Array Detector</i> (DAD) dan HRMS dari <i>Telluria</i> sp. yang diinduksi dengan C8-HSL.....	54
Gambar 4.9	Proses pembuatan minuman fermentasi kersen.....	56
Gambar 4.10	Proses pembuatan minuman fermentasi parijoto.	58
Gambar 4.11	Proses pembuatan tempe kedelai hitam dan kuning. ...	59
Gambar 5.1	Perbandingan metode <i>metabologenomic-guided bioprospecting</i> dan <i>bioassay-guided bioprospecting</i>	65
Gambar 5.2	Strategi metabologenomik dalam penemuan dan produksi bahan alam dan pengembangan pangan fungsional.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan paradigma fermentasi spontan, terkontrol, dan presisi.	26
Tabel 4.1	Hasil analisis BGCs pada bakteri <i>Halobacillus</i> SKB12 menggunakan antiSMASH versi 8.0.4	51
Tabel 4.2	Bahan alam aktif yang telah ditemukan dan diisolasi.	55

BIODATA RINGKAS



Dr. rer. nat. Andri Frediansyah, S.Si., M.Sc. lahir di Sleman pada tanggal 15 Januari 1989, adalah anak pertama dari dua bersaudara dari Bapak Aiptu Amyah (Alm.) dan Ibu Tri Wahyuning Astuti (Alm.). Menikah dengan Winda Adipuri Ramadaningrum, S.Si., M.Sc.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 38/M Tahun 2023 tanggal 18 September 2023 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama di Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Berdasarkan Keputusan Kepala Instansi Nomor 132/I/HK/2026 tanggal 25 Mei 2026 yang bersangkutan melakukan pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar di SD Negeri Tahunan II Yogyakarta tahun 2000, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 13 Yogyakarta tahun 2003, dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 6 Yogyakarta tahun 2006. Memperoleh gelar Sarjana Sains bidang Biologi dari Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta tahun 2010; gelar Magister Sains bidang *Applied Biological Sciences* dari Chulabhorn Graduate Institute, Bangkok, Thailand tahun 2015; dan gelar *Doctor rerum*

naturalium (Dr. rer. nat.) bidang Farmasi (Farmako Biologi) dari Eberhard Karls Universität Tübingen, Jerman tahun 2020.

Mengikuti berbagai pelatihan non formal yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain: Diklat Fungsional Peneliti Tingkat Pertama Gelombang II di Pusbindiklat LIPI, Cibinong, Indonesia (2012); Pelatihan *Drafting* Paten Tingkat Dasar di Pulau Pari, Jakarta (2012); Pelatihan *Drafting* Paten Tingkat Lanjut di Bandung (2012); *Workshop Research Ethic for Science Student: Plagiarism* di Chulabhorn Graduate Institute (CGI), Bangkok, Thailand (2013); Diklat Teknis Penulisan KTI Terindeks Global Gelombang II di Bumi Gumati *Convention Resort*, Bogor (2015); *Bioanalytik-Workshop dan Instrumentelle Verfahren und deren Anwendungen* di Eberhard Karls Universität Tübingen, Jerman (2017); *4th de.NBI Genomics Workshop* di Justus-Liebig-University Giessen, Jerman (2018); *Genome-Mining for Natural Products Workshop* di Biosustain, Center for Biosustainability, the Technical University of Denmark (DTU), Lyngby, Denmark (2018); *International VAAM (Vereinigung für Allgemeine und Angewandte Mikrobiologie) Workshop* di Leibniz Institute for Natural Product Research and Infection Biology, Hans Knöll Institute, Jena, Jerman (2019); *LC Praxisseminar Flüssigkeitschromatographie* di Eberhard Karls Universität Tübingen, Jerman (2019); *ASEAN Workshop on 4th Industrial Revolution: AI Implementation in Energy Efficiency, Cyber Security and Agriculture* di Shangri-La Hotel, Jakarta (2020); *Workshop & Training: Knowledge Sharing for Sustainable Development in Indonesia* di Double Tree Hotel, Jakarta (2021); dan *Visiting Research/Postdoctoral Research* di University of Florida, Florida, Amerika Serikat (2023-2024); *Chemical Hygiene Plan Training, General Biosafety*, serta *Hazardous Waste Management* dari University of Florida Environmental Health & Safety (2023); Fulbright Visiting

Scholar Workshop on Scientific Manuscript Publishing & Peer Reviews (2023); *Training of Trainers (TOT) Teaching Style* bagi Calon Fasilitator Pelatihan Teknis Penulisan Ilmiah yang diselenggarakan oleh Direktorat Pengembangan Kompetensi BRIN (2024); Pelatihan Strategi *Coaching* dan *Mentoring* Aktualisasi Latsar CPNS BRIN (2025); *Workshop Cultured Meat and Food Safety* dari Merck (2025); serta Pelatihan Reviewer Proposal Pendanaan Riset dan Inovasi (2025).

Pernah menduduki jabatan sebagai ketua kelompok riset Metabolit Mikroba untuk Pangan pada tahun 2023 dan 2024, anggota komisi etik bidang kimia BRIN (2022–sekarang), tim pakar komisi pengalihan material BRIN (2025–sekarang), tim reviewer RIIM (2025–sekarang), dan tim reviu program DBR dari Manajemen Talenta BRIN (2025–sekarang).

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Pertama pada tahun 2013, Peneliti Ahli Muda pada tahun 2016, Peneliti Ahli Madya tahun 2022 dan Peneliti Ahli Utama pada tahun 2023.

Menghasilkan 120 karya tulis ilmiah (KTI), dalam bahasa Inggris sebanyak 107 buah dan dalam bahasa Indonesia sebanyak 13 buah, serta ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding, dengan *H-index* Scopus 23 dan *H-index* Google Scholar 28. Selain itu, 17 kekayaan intelektual telah didaftarkan dalam bentuk 16 paten dan 1 hak cipta.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu pembimbing CPNS BRIN, pembimbing penulisan KTI untuk peneliti BRIN, pembimbing II skripsi (S-1) di Universitas Sebelas Maret, Universitas Islam Negeri (UIN) Sunan Kalijaga, Universitas Teknologi Sumbawa, Universitas Jenderal Soedirman, Universitas Brawijaya, Universitas Gadjah Mada, Universitas

‘Aisyiyah Yogyakarta, dan Universitas Mataram; ko-promotor tesis (S-2) di Universitas Padjadjaran, Universitas Jenderal Soedirman, Universitas Gadjah Mada, Universitas Hasanuddin, dan Universitas Syiah Kuala; ko-promotor disertasi (S-3) di Universitas Padjadjaran, Universitas Gadjah Mada, dan Universitas Negeri Yogyakarta; serta pengujian disertasi (S-3) di Universitas Indonesia.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu sebagai anggota Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (2016–sekarang), anggota *American Society for Pharmacognosy*, (2018–sekarang), anggota Perhimpunan Periset Indonesia (2020–sekarang), anggota Asosiasi Metabolomik Indonesia (2020–sekarang), anggota *American Society for Microbiology* (2024–sekarang), dan anggota Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia (2025–sekarang).

Menerima penghargaan antara lain *Best Student Award* dari Putera Sampoerna dan Standard Chartered Bank (2008); Beasiswa S1 dari Tanoto Foundation (2008-2010); *Travel Award* dari Energy Carta (2009); *Travel Award* untuk mengikuti *Workshop Environmental Protection and Green Technology* dari National Tsing Hua University, Taiwan (2012); Juara ketiga *poster presenter* dari *4th Indonesian Society for Lactic Acid Bacteria* (2013); Beasiswa S2 dari ASEAN Foundation dan Chulabhorn Graduate Institute (2013-2015); *Best Student Research Award* dari *Japan Society for Environmental Chemistry* (2014); Beasiswa S3 dari Riset-Pro (2017-2020); *Novo Nordisk Travel Award* untuk menghadiri *Genome-Mining for Natural Products Workshop* di Denmark (2019); Presenter poster terbaik pertama dari *Indonesian Society for Lactic Acid Bacteria and Gut Microbiota* (2020); *fellowship* untuk menghadiri *Global Young Scientists Summit* (2021); Penerima Satyalancana Karya

Satya X Tahun dari Presiden Republik Indonesia (2021); Penerima *Fulbright Grant Award* (2023); Penerima *Returning Expert Recognition* dari GIZ atau *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (2024); Finalist Young Scientist Award (Kategori Peneliti) dari Perhimpunan Periset Indonesia (2025); dan masuk dalam jajaran *World's Top 2% Scientist* dari Elsevier/Stanford (2023, 2024, dan 2025).

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalaamu 'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Kepala Instansi yang mulia 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, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya pada tanggal 24 Juni 2026 menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

**“PENDEKATAN METABOLOGENOMIK DALAM
FERMENTASI TERKONTROL UNTUK Mendukung
KEMANDIRIAN BAHAN ALAM DAN PANGAN
FUNGSIONAL DI INDONESIA”**

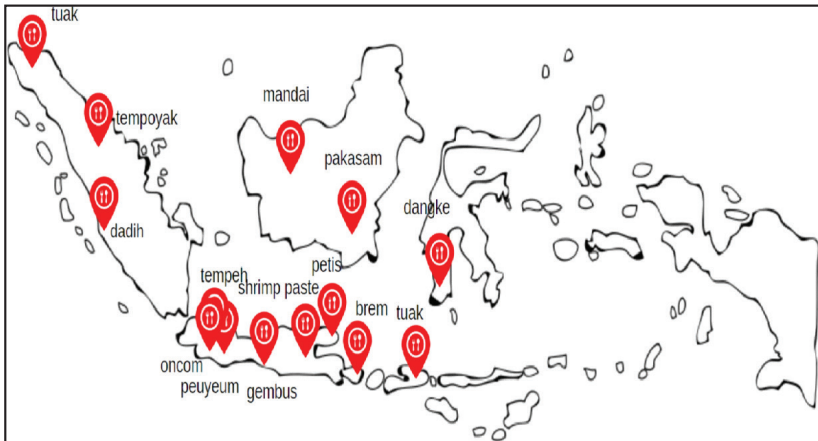
Dalam orasi ini disajikan state of the art pendekatan metabologenomik, sebuah platform konvergen yang mengintegrasikan metabolomik dan genomik, beserta peluang strategis dan tantangan ilmiahnya dalam kerangka mendukung kemandirian bahan alam dan pangan fungsional di Indonesia. Pendekatan ini membuka jalan bagi eksplorasi potensi mikroba secara sistematis, baik untuk memahami

mekanisme fermentasi secara holistik maupun untuk melakukan karakterisasi (annotation), penemuan kembali (rediscovery), dan penemuan baru (discovery) bahan alam aktif, guna menopang pengembangan bahan aktif kesehatan atau biofarmasetika, nutrasetikal, serta pangan fungsional.

Lebih lanjut, orasi ini bertujuan memberikan landasan konseptual dan strategis bagi pengembangan teknologi metabologenomik sebagai fondasi transformasi bioekonomi nasional, sekaligus menjawab tantangan menuju kemandirian nasional yang merupakan bagian integral dari pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), terutama Tujuan 2 (Tanpa Kelaparan) dan Tujuan 3 (Kehidupan Sehat dan Sejahtera). Dalam konteks global, pendekatan ini memposisikan Indonesia sebagai salah satu pemain kunci dalam rantai pasok bahan alam aktif dan pangan fungsional dunia, dengan memanfaatkan keunggulan komparatif biodiversitas mikroba tropis yang tidak dimiliki oleh negara lain. Pada akhirnya, integrasi antara pemahaman biodiversitas mikroba, inovasi fermentasi terkontrol, dan pengembangan produk bernilai tambah diharapkan dapat mendukung perumusan kebijakan berbasis bukti di sektor kesehatan dan pangan, sekaligus mendorong kesejahteraan masyarakat dan daya saing bioindustri Indonesia di kancah global.

I. PENDAHULUAN

Keanekaragaman hayati mikroba di dunia diperkirakan mencapai satu triliun spesies, namun sekitar 90% di antaranya belum dikenali karakteristiknya (NSF, 2024; Rappuoli et al., 2023). Sebagai salah satu negara megabiodiversitas dunia, Indonesia memiliki aset strategis berupa kekayaan mikroba asli (indigenous) yang tersebar di berbagai ekosistem unik, dari hutan hujan tropis hingga laut dalam (Biofin, 2025; Boer et al., 2021). Keunikan ekosistem ini membentuk kekayaan mikroba yang sangat tinggi. Potensi biologis ini telah dimanfaatkan secara turun-temurun (empiris) melalui kearifan lokal dalam fermentasi pangan tradisional, seperti tempe, oncom, tauco, dan tape. Produk-produk fermentasi ini tersebar luas di berbagai daerah di Indonesia (Gambar 1.1) (Frediansyah, 2018, 2024; Setiarto et al., 2024).



Sumber: Setiarto et al., (2024)

Gambar 1.1 Sebaran produk pangan fermentasi tradisional di Indonesia.

Dalam proses fermentasi, mikroba bekerja sebagai “pabrik sel” alami (*microbial cell factories/MCF*). Mereka melakukan proses biotransformasi, yaitu mengubah bahan baku kompleks menjadi berbagai bahan alam aktif atau senyawa bioaktif. Contohnya adalah aglikon, bakteriosin sebagai pengawet alami, bahan alam pemberi warna seperti karotenoid, dan peptida fungsional (Guo et al., 2023; Sofyantoro & Frediansyah, 2025). Penemuan bahan alam aktif baru seperti terpenibactin dan massiliamide dari mikroba yang jarang diteliti (*underexplored*) menjadi bukti nyata potensi ini (Chen et al., 2020; Frediansyah et al., 2021). Proses fermentasi tidak hanya meningkatkan nilai gizi, tetapi juga mengakumulasi bahan alam fungsional yang memiliki aktivitas biologis, seperti antimikroba, antidiabetes, penangkal radikal bebas, dan antiinflamasi (Künili et al., 2025; Nurkolis et al., 2025; Sofyantoro et al., 2025; Prasedya et al., 2019, 2020, 2021; Sunarwidhi et al., 2022).

Studi mikrobiologi pangan sendiri merefleksikan evolusi paradigma yang panjang. Akarnya dapat ditelusuri kembali ke praktik kuno di wilayah *Fertile Crescent* di Timur Tengah yang secara fundamental bertujuan memperpanjang masa simpan pangan. Titik balik ilmiahnya dimulai pada abad ke-19 melalui pembuktian peran mikroba oleh Louis Pasteur. Penemuan ini memicu lompatan besar menuju standarisasi kultur starter, yang menjadi fondasi untuk menjamin keamanan produk dari patogen seperti *Salmonella* spp., *Vibrio* spp., dan *Listeria* spp. Memasuki era Revolusi Industri 4.0, terjadi transisi metodologi menuju integrasi perangkat *omics* dan biologi sintetik. Khususnya, metabolomik telah menjadi kunci untuk merancang pangan fungsional (Andrade-Espinoza et al., 2025). Perkembangan ini memungkinkan fermentasi terkontrol digunakan untuk memproduksi bahan alam aktif yang ditargetkan, sekaligus

memvalorasi limbah pangan menjadi produk bernilai tambah (Siddiqui et al., 2023; Frediansyah, 2024).

Namun, terlepas dari kemajuan ilmiah ini, sebagian besar produksi pangan fermentasi tradisional di Indonesia masih mengandalkan fermentasi spontan yang belum terstandarisasi (Prihanto et al., 2024). Ketergantungan pada pengalaman turun-temurun ini memunculkan dua masalah mendasar. Pertama, mutu produk yang berbeda-beda, baik bentuk fisik maupun kandungan kimiawinya, antar *batch* dan antar daerah, sehingga menghambat daya saing dan potensi pasar. Kedua, risiko cemaran oleh mikroba patogen atau perusak yang mengancam keamanan pangan fermentasi (Ndraha et al., 2026; Frediansyah, 2014). Hal ini juga menyoroti perlunya strategi pengendalian mikroba yang lebih baik, misalnya melalui eksplorasi bahan alam dengan sifat antimikroba seperti bakteriosin (Miller et al., 2024). Kondisi ini menjadi penghambat utama industrialisasi dan penguatan nilai tambah produk lokal. Ironisnya, di satu sisi Indonesia masih bergantung pada impor bahan pangan (INDEF, 2025), sementara di sisi lain, pasar bahan alam aktif bernilai tinggi untuk farmasetikal dan nutrasetikal justru dikuasai oleh negara-negara dengan bioteknologi maju (FMI, 2025).

Di sisi lain, dalam paradigma bioteknologi industri modern, mikroba direkayasa menjadi “pabrik sel” yang dapat dikendalikan secara ketat untuk memproduksi bahan alam aktif target tertentu (Kim et al., 2025). Ini dikenal dengan istilah fermentasi presisi yang sedang berkembang pesat (Gumulya et al., 2025; Verma et al., 2025). Sayangnya, pendekatan yang berorientasi pada produk akhir ini sering kali berjalan terpisah dari upaya pelestarian dan pemanfaatan biodiversitas lokal. Praktik ini mengakibatkan fragmentasi dalam tata kelola sumber daya hayati dan mendorong ketergantungan para peneliti pada

mikroba hasil rekayasa genetika atau mikroba impor yang bukan asli Indonesia. Padahal, kekayaan genetik mikroba lokal menyimpan keragaman kemampuan biosintetik yang sangat besar dan sebagian besar masih “tersembunyi” atau belum aktif (Bode et al., 2002; Cimermancic et al., 2014).

Permasalahan mendasar yang menjadi fokus kajian ini adalah adanya dikotomi antara dua jalur pemanfaatan mikroba yang sama-sama potensial: produksi bahan alam aktif murni skala industri dan pengembangan pangan fungsional berbasis kearifan lokal. Ketiadaan kerangka kerja yang integratif menyebabkan potensi keanekaragaman mikroba Indonesia belum tergali secara optimal dan sistematis. Hal ini menjadi kendala untuk menjawab tantangan kemandirian dan meningkatkan daya saing industri di sektor farmasetikal, nutrasetikal, dan pangan fungsional. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan yang konvergen dan mampu menjembatani kesenjangan ini secara ilmiah dan terapan.

Dalam konteks inilah, pendekatan metabologenomik hadir sebagai solusi. Istilah metabologenomik berasal dari gabungan kata „metabolo“ yang merujuk pada metabolit atau hasil metabolisme, dan „genomik“ yang berarti cetak biru genetik. Dengan demikian, metabologenomik merupakan pendekatan konvergen yang mengintegrasikan analisis profil metabolit (metabolomik) dengan data genetik mikroba atau komunitasnya (genomik atau metagenomik). Pendekatan ini menyinergikan data genom dan profil bahan alam yang dihasilkan oleh mikroba atau komunitas mikroba secara bersamaan.

Rekam jejak penelitian, pengembangan, pengkajian, dan penerapan yang mendasari orasi ini berakar dari eksplorasi dan karakterisasi sistematis mikroba serta bahan alam aktif pada berbagai ekosistem unik di Indonesia dan pangan fermentasi tradisional (Frediansyah, 2012; Frediansyah & Kurniadi, 2016;

Frediansyah & Sudiana, 2013). Tahap ini dilanjutkan dengan isolasi dan seleksi strain mikroba unggul berdasarkan sifat fenotipik dan potensi genotipiknya. Untuk menjawab tantangan dalam memahami mekanisme molekuler dan mengendalikan kualitas produk secara mendasar, penelitian kemudian bergerak menuju penerapan perangkat *omics* terpadu, khususnya metabologenomik. Pendekatan ini membuka jalan menuju fermentasi terkontrol melalui analisis konjugasi dua data besar: data genomik untuk memetakan potensi biosintetik dan data metabolomik untuk mengidentifikasi produk yang benar-benar dihasilkan (Frediansyah, 2021; Frediansyah, Aziz, et al., 2021; Frediansyah, Manuhara, et al., 2022). Hingga saat ini, capaian riset tersebut tercermin dari 120 karya tulis ilmiah, dengan indeks-H Scopus 23 dan indeks-H Google Scholar 28, serta 17 kekayaan intelektual yang telah didaftarkan.

Akumulasi dari seluruh tahapan tersebut, mulai dari eksplorasi biodiversitas mikroba, karakterisasi sifat fenotipik dan genotipik, hingga penerapan fermentasi terkontrol melalui pendekatan metabologenomik, telah membentuk suatu kerangka pengetahuan yang koheren. Kerangka inilah yang melahirkan teknologi inti yang terwujud dalam topik orasi ini, yakni „Pendekatan Metabologenomik dalam Fermentasi Terkontrol untuk Mendukung Kemandirian Bahan Alam dan Pangan Fungsional di Indonesia“.

Berdasarkan landasan tersebut, esensi yang hendak disampaikan adalah bahwa integrasi konvergen antara data genomik dan metabolomik melalui pendekatan metabologenomik merupakan fondasi ilmiah yang krusial untuk mewujudkan fermentasi terkontrol. Pendekatan ini memungkinkan pemilihan strain mikroba unggul, baik tunggal maupun konsorsium, serta optimalisasi proses yang terkontrol, guna mentransformasi

kekayaan dan keragaman mikroba indigenous menjadi agen produksi pangan fungsional dan bahan alam aktif murni yang berkualitas tinggi, konsisten, dan bernilai tambah strategis. Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya mendukung kemandirian dan daya saing nasional, tetapi juga menjembatani secara harmonis warisan tradisional dan kekayaan ekosistem unik Indonesia dengan kemajuan bioteknologi modern.

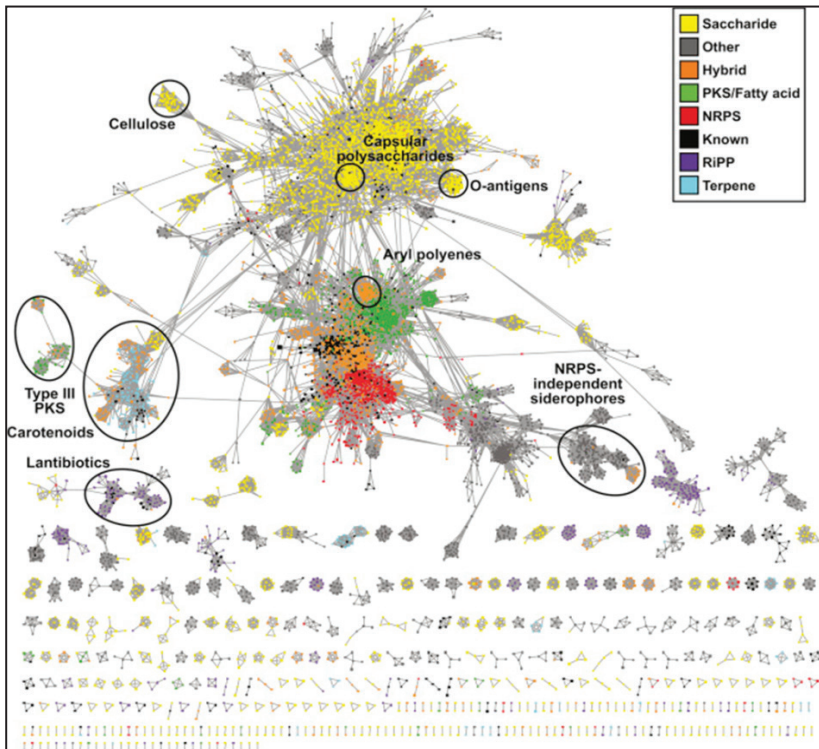
Secara berturut-turut, naskah orasi ini akan memaparkan: Perkembangan Riset Mikroba Fermentasi (Bab II), Konsep Metabologenomik Terkontrol (Bab III), Aplikasi Metabologenomik Terkontrol pada Bahan Alam dan Pangan Fungsional (Bab IV), Peluang, Tantangan, dan Strategi Implementasi (Bab V), Kesimpulan (Bab VI), serta Penutup (Bab VII).

II. PERKEMBANGAN RISET MIKROBA FERMENTASI

Perjalanan riset eksplorasi dan pemanfaatan mikroba untuk pangan fungsional, pertanian, serta penemuan dan produksi bahan alam selama lebih dari satu dekade (2012–sekarang) merefleksikan evolusi menuju integrasi multidisiplin yang holistik. Pada fase awal (sekitar 2012–2017), penelitian didominasi oleh pendekatan yang terpisah-pisah. Mikrobiologi konvensional berfokus pada isolasi dan karakterisasi fenotipik, sementara data genetik mulai dimanfaatkan secara terbatas untuk identifikasi dan prediksi potensi melalui teknik seperti PCR atau *Polymerase Chain Reaction*. Contohnya adalah riset pada *Paenibacillus* untuk pertanian di lahan gambut yang menargetkan gen fungsional yang terlibat dalam proses seperti denitrifikasi (*nirK*), nitrifikasi (*Nit*), pelarutan fosfat (*ow*), dan fiksasi nitrogen (*nifH*). Di sisi lain, analisis metabolom saat itu masih bersifat tertarget, misalnya untuk menganalisis produksi maupun reduksi gas metan dengan GC-MS atau *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (Frediansyah & Sudiana, 2013).

Periode transisi (2018–2022) ditandai dengan konvergensi disiplin ilmu yang semakin nyata. Kemajuan teknologi NGS atau *Next-Generation Sequencing* dan HRMS atau *High Resolution Mass Spectrometry* memungkinkan akuisisi data genom dan metabolom secara lebih komprehensif dan paralel. Sejalan dengan itu, pemahaman tentang keragaman yang tinggi dari kluster gen biosintetik atau *biosynthetic gene clusters* (BGCs) pada mikroba melalui *genome mining* atau penambangan genom semakin mendalam (Gambar 2.1). Pendekatan metabologenomik mulai

dikembangkan sebagai kerangka integratif yang mengorelasikan data genotipik dan fenotipik untuk memahami hubungan antara potensi genetik dengan profil metabolik aktual dalam sistem fermentasi. Penelitian pada masa ini juga mulai mengadopsi prinsip OSMAC atau *One Strain Many Compounds* untuk mengaktivasi kluster gen biosintetik yang „tertidur“ (*cryptic*) atau „diam“ (*silent*). Fase terkini (dari 2023 hingga sekarang) dicirikan oleh pendekatan yang sepenuhnya integratif dan berbasis data besar.



Sumber: Cimermanic et al. (2014).

Gambar 2.1 Keragaman bahan alam berdasarkan data penambangan genom dari mikroba di dunia.

Selama lebih dari satu dekade, kerangka kerja penelitian telah dirancang secara sistematis, dimulai dengan tahap ekspedisi dan eksplorasi untuk mengumpulkan mikroba dari berbagai sumber alam. Fokus diberikan pada lingkungan unik dan pangan fermentasi tradisional di Indonesia sebagai *reservoir* atau gudang keanekaragaman hayati yang menjanjikan. Selanjutnya, isolat-isolat mikroba yang diperoleh dikarakterisasi secara menyeluruh, baik secara genotipik maupun fenotipik untuk memahami identitas, fisiologi, dan potensi metaboliknya. Hasil karakterisasi komprehensif ini menjadi dasar untuk proses seleksi guna mengidentifikasi kandidat mikroba unggul dengan prospek aplikasi tertinggi.

Mikroba terpilih kemudian dikembangkan melalui dua jalur strategis yang berjalan paralel. Jalur pertama berorientasi pada penemuan dan produksi bahan alam aktif, di mana mikroba dikultivasi dalam kondisi fermentasi terkontrol dengan menerapkan strategi OSMAC untuk mengungkap keragaman metaboliknya. Jalur kedua berfokus pada pengembangan pangan fungsional dengan memanfaatkan mikroba untuk meningkatkan dan memperkaya bahan alam aktif pada produk fermentasi sehingga bermanfaat untuk kesehatan.

Pada jalur penemuan dan produksi bahan alam aktif, pendekatan yang sama berperan sebagai panduan untuk proses *downstream* atau proses hilir, mulai dari tahap ekstraksi, fraksinasi, hingga isolasi bahan alam aktif murni, baik yang dikenal maupun baru, dari kompleksitas campuran metabolit. Sementara pada jalur pangan fungsional, pendekatan metabologenomik diterapkan untuk memetakan secara detail fungsi dan dinamika seluruh

konsorsium mikroba serta menelusuri kontribusi spesifiknya terhadap pembentukan sifat fungsional produk.

Tahap krusial berikutnya adalah evaluasi aktivitas biologis yang dilakukan secara paralel, baik pada ekstrak maupun bahan alam aktif murni hasil isolasi dari mikroba dan matriks pangan. Rangkaian uji dirancang untuk mencakup evaluasi aktivitas antioksidan, antibakteri, antihipertensi, antitirozinase, antimuskarinik, serta uji sitotoksitas sebagai penilaian keamanan awal. Data yang dihasilkan menjadi landasan ilmiah yang kritis untuk tahap pengembangan lanjutan, baik dalam rangka optimalisasi bahan alam aktif maupun penyempurnaan formulasi pangan fungsional.

Seluruh alur riset ini dibangun dengan mengonsolidasikan kompetensi dari berbagai bidang ilmu secara sinergis, meliputi mikrobiologi, bioteknologi, farmakologi, ilmu pangan, biologi molekuler, kimia organik, kimia bahan alam, dan biokimia. Konvergensi disiplin ilmu tersebut tidak hanya membentuk pondasi kokoh bagi pendekatan fermentasi terkontrol yang menjadi ciri khas penelitian ini, tetapi juga tercermin dalam kontribusi ilmiah yang terdokumentasi dan terdiseminasi secara luas melalui serangkaian publikasi ilmiah yang koheren. Publikasi-publikasi ini membentuk suatu narasi penelitian yang utuh sekaligus memberikan dampak signifikan bagi kemajuan bidang terkait.

A. Tahap Eksplorasi dan Karakterisasi Mikroba

Sebagai langkah pertama yang krusial dalam mewujudkan fermentasi terkontrol, penelitian diawali dengan eksplorasi sumber daya mikroba dari beragam habitat alam, mencakup lingkungan unik dan produk fermentasi tradisional Indonesia yang kaya akan keanekaragaman hayati mikroba. Tujuan

strategis fase ini adalah membangun sebuah bank kultur yang komprehensif dan representatif sebagai fondasi biologis untuk pengembangan inovasi. Kegiatan eksplorasi didukung oleh pendanaan kompetitif, antara lain dana Ekspedisi dan Eksplorasi (Nomor: 2860/II.7/HK.01.00/8/2022) dan melalui Kegiatan Pusat Kolaborasi Riset Fermentasi Tradisional (2023-sekarang). Dukungan ini memungkinkan survei mendalam di lokasi dengan nilai ekologis spesifik, contohnya Pulau Kakaban di Kalimantan Timur. Pulau ini merupakan ekosistem perairan payau yang unik, diduga menyimpan keragaman mikroba ekstremofil, seperti organisme halofilik, yang berpotensi memiliki kapasitas metabolik yang luar biasa.

Untuk mengungkap potensi mikroba secara optimal, baik mikroba yang bersifat *culturable* (dapat dikulturkan di laboratorium) maupun *unculturable* (belum pernah berhasil dikulturkan di laboratorium), metode penelitian mengadopsi pendekatan ganda yang komplementer. Pendekatan pertama adalah mikrobiologi konvensional, yang melibatkan teknik seperti pengenceran berseri dan penumbuhan pada medium padat selektif, yaitu metode *pour plate* (dituang) atau *streak plate* (digores). Prinsip dasarnya adalah menurunkan kepadatan populasi mikroba dalam sampel sehingga sel individu dapat tumbuh membentuk koloni tunggal yang mudah diisolasi dan dimurnikan. Pendekatan kedua, yang dijalankan secara paralel, adalah analisis metagenomik. Teknik ini memungkinkan akses langsung terhadap seluruh materi genetik komunitas mikroba dalam sampel lingkungan. Dengan demikian, potensi genomik mikroba *unculturable* yang sering kali merupakan mayoritas dalam suatu ekosistem dapat diidentifikasi tanpa melalui tahap kultivasi.

Isolat murni hasil kultivasi dan informasi genetik metagenomik selanjutnya dikarakterisasi secara komprehensif melalui dua dimensi, yaitu fenotipik dan genotipik. Karakterisasi fenotipik mencakup analisis morfologi koloni dan sel, sifat fisiologis (toleransi terhadap suhu, pH, salinitas), serta aktivitas enzimatik ekstraseluler. Sementara itu, karakterisasi genotipik dilakukan melalui sekuensing gen penanda filogenetik, seperti gen 16S rRNA untuk bakteri dan arkea, atau *Internal Transcribed Spacer* (ITS) untuk fungi, dan pada kasus terpilih, dilengkapi dengan *whole genome sequencing* (WGS). Integrasi data dari kedua pendekatan ini menjadi dasar untuk identifikasi taksonomi yang akurat serta penilaian awal potensi fungsional setiap isolat. Selanjutnya, berdasarkan profil karakterisasi yang komprehensif, dilakukan proses seleksi berbasis atribut unggul (*talent-based screening*) yang ketat. Kriteria seleksi mencakup efisiensi fermentasi, produksi enzim dengan aktivitas tinggi, potensi biosintesis bahan alam aktif, dan profil keamanan yang sesuai dengan status GRAS atau *Generally Recognized as Safe*.

Melalui tahap eksplorasi dan karakterisasi sistematis, berhasil dibangun sebuah *in-house* bank kultur mikroba. Koleksi ini merupakan aset biologis bernilai tinggi yang mencakup berbagai kelompok mikroba fungsional, di antaranya bakteri asam laktat, bakteri *underexplored*, fungi dan khamir, serta mikroba halofilik, termasuk isolat-isolat dari ekosistem unik seperti Pulau Kakaban. Bank mikroba yang kaya dan unik ini tidak hanya menjadi fondasi biologis yang kritis untuk penelitian lanjutan, tetapi juga merupakan aset strategis nasional untuk pengembangan inovasi bioteknologi, khususnya dalam bidang fermentasi dan penemuan bahan alam aktif.

1. Bakteri Asam Laktat (BAL)

BAL merupakan kelompok bakteri Gram positif yang tidak berspora dan memfermentasi karbohidrat menjadi asam laktat sebagai produk akhir utama (Safitri et al., 2025; Purwanto et al., 2024). Status GRAS menjadikannya komponen penting dalam berbagai fermentasi pangan. Dalam kerangka penelitian ini, BAL dipandang sebagai MCF yang menjalankan dua peran kunci secara sinergis: sebagai agen biotransformasi melalui produksi enzim ekstraseluler fungsional, dan sebagai pabrik bioaktif *in situ* yang menghasilkan bahan alam aktif seperti bakteriosin, eksopolisakarida, asam laktat, dan vitamin. Kombinasi peran ini secara langsung meningkatkan keamanan, stabilitas, dan nilai fungsional produk fermentasi.

Sebagai agen biotransformasi, BAL memiliki kapasitas unik untuk mendegradasi bahan alam kompleks dalam pangan. Di Indonesia, *Lactiplantibacillus plantarum* sebagai salah satu spesies BAL dominan yang secara alami memainkan peran sentral dalam fermentasi spontan berbagai produk olahan tradisional berbasis singkong atau ubi kayu (Frediansyah et al., 2018). Studi terdahulu menunjukkan bahwa *L. plantarum* mampu memproduksi enzim ekstraseluler penting seperti selulase dan amilase. Kedua enzim ini berfungsi sebagai katalis biologis yang secara efektif memecah matriks serat selulosa dan granula pati dalam ubi kayu. Proses pemecahan ini tidak hanya menyebabkan modifikasi struktural dan tekstural yang mendasar bagi pembentukan karakteristik sensorik dan fungsional singkong termodifikasi atau mokaf (*modified cassava flour*), tetapi juga berperan krusial dalam meningkatkan keamanan pangan (Safrienda et al., 2023). Peningkatan keamanan ini dimediasi oleh produksi berbagai asam organik, terutama asam laktat, selama fermentasi yang menurunkan pH medium. Kondisi asam ini menciptakan lingkungan yang tidak menguntungkan bagi

patogen dan secara signifikan mereduksi kandungan bahan alam antinutrisi seperti sianida, dalam bentuk asam sianida, hingga mencapai level yang aman sesuai standar dari pemerintah (Frediansyah & Kurniadi, 2016).

Lebih dari sekadar aplikasi pada ubi kayu, eksplorasi sistematis yang dilakukan telah berhasil mengidentifikasi dan mengisolasi BAL dari sumber bahan pangan lokal lain yang potensial namun masih kurang tereksplorasi. Sumber-sumber tersebut mencakup umbi ganyong (*Canna edulis*) dan kimpul (*Xanthosoma sagittifolium*) (Nurhayati et al., 2017), serta dari tubuh buah *Ganoderma lucidum* (Nurhayati et al., 2015). Selain isolat-isolat baru hasil eksplorasi ini, penelitian juga secara strategis memanfaatkan koleksi isolat lokal yang telah terdeposit dalam bank kultur nasional, seperti FNCC (*Food and Nutrition Culture Collection*) dan INACC (*Indonesian Culture Collection*), maupun koleksi kultur mikroba *in-house* di Pusat Riset Teknologi dan Proses Pangan BRIN (Sunaryanto et al., 2024; Frediansyah et al., 2019). Pendekatan ini tidak hanya memperkaya keragaman genetik, tetapi juga menegaskan pemanfaatan strategis koleksi aset biologis nasional yang telah terdokumentasi.

2. Fungi dan Khamir

Selain BAL, kelompok fungi juga menjadi fokus eksplorasi dalam riset ini, yang diklasifikasikan menjadi dua kategori utama berdasarkan morfologi dan siklus hidupnya, yaitu kapang (*filamentous fungi*) dan khamir (*yeast*). Kapang merupakan fungi multiseluler yang tumbuh membentuk struktur seperti benang yang disebut hifa, dan secara visual sering tampak seperti kapas atau bulu pada substrat. Kelompok ini memegang peran ekologis penting sebagai pengurai utama bahan organik kompleks.

Sebaliknya, khamir adalah fungi uniseluler yang berukuran mikroskopis dan umumnya bereproduksi secara pertunasan.

Sama halnya dengan BAL, kedua kelompok fungi ini berfungsi sebagai MCF yang sangat potensial berkat kapasitas metaboliknya yang luas dan kemampuan adaptasinya dalam berbagai sistem fermentasi. Dalam rangkaian penelitian ini, eksplorasi kapang difokuskan pada genera dengan peran fungsional yang telah diketahui, antara lain *Neurospora*, *Monascus*, *Rhizopus*, dan *Aspergillus*. Sementara itu, khamir yang dikaji mencakup *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia norvegensis*, dan *Candida tropicalis*, yang masing-masing dipilih berdasarkan peran spesifiknya dalam proses fermentasi atau kapasitas produksi metabolit target (Fitrianto et al., 2025; Wahyudi et al., 2024, 2025; Frediansyah et al., 2018; Anwar et al., 2021; Kurniadi et al., 2021). Pemilihan ini memungkinkan pendayagunaan fungi tidak hanya sebagai agen fermentasi, tetapi juga sebagai penghasil enzim, pigmen, dan bahan alam aktif lainnya yang mendukung produksi bahan alam bernilai tambah serta pengembangan pangan fungsional.

3. Bakteri Halofilik

Eksplorasi mikroba juga menjangkau lingkungan ekstrem, dengan bakteri halofilik menjadi subjek penelitian yang menarik perhatian khusus. Daya tarik utama kelompok ini terletak pada keanekaragaman metabolisme yang luar biasa dan kemampuannya untuk tumbuh serta berkembang biak secara optimal di lingkungan dengan salinitas tinggi, suatu kondisi ekstrem yang menghambat sebagian besar organisme. Bakteri halofilik umumnya menghuni relung ekologis yang khas, seperti danau air asin, tambak garam, tanah salin, serta makanan yang diawetkan dengan garam dalam konsentrasi tinggi.

Kombinasi antara fleksibilitas ekologis dan sifat fisiologisnya yang unik menjadikan mereka kandidat potensial untuk berbagai aplikasi bioteknologi. Sifat-sifat unik tersebut mencakup kapasitas mensintesis enzim ekstremofil, seperti protease dan lipase yang stabil pada kondisi ekstrem, potensi dalam bioremediasi lingkungan tercemar, serta, yang paling relevan dalam konteks riset ini, kemampuan menghasilkan bahan alam aktif bernilai tinggi. Salah satu mekanisme adaptasi kunci yang sekaligus menjadi sumber bioaktif adalah sintesis dan akumulasi bahan alam pelindung yang disebut kompatibel solut, seperti ektoin, hidroksiektoin, dan karotenoid tertentu, di dalam sitoplasma untuk mengatasi tekanan osmotik eksternal.

Dalam penelitian ini, fokus kajian diarahkan pada genera halofilik yang menjanjikan, antara lain bakteri *Halobacillus* sp., *Rosellomorea* sp., dan *Thraustochytrium* sp., (Frediansyah et al., 2026; Frediansyah & Fitriany, 2025; Basuki et al., 2024). Pemilihan ini didasarkan pada potensi mereka sebagai penghasil bahan alam bernilai tambah seperti karotenoid, misalnya dari *Thraustochytrium* untuk DHA, dan kompatibel solut seperti ektoin. Dengan demikian, eksplorasi bakteri halofilik tidak hanya memperluas keragaman bank mikroba, tetapi secara khusus membidik sumber daya genetik dan metabolik unik untuk produksi bahan alam aktif yang mungkin sulit diperoleh dari mikroba konvensional.

4. Bakteri *Underexplored*

Strategi eksplorasi juga menjangkau kelompok bakteri yang kurang dieksplorasi (*underexplored*). Kelompok ini mencakup spesies-spesies yang secara taksonomi dan ekologis diketahui memiliki potensi biologis menarik, namun belum mendapat karakterisasi komprehensif sehingga kapasitas metabolik dan

aplikasinya masih sangat terbatas. Pendekatan ini didorong oleh keyakinan bahwa kekayaan biodiversitas mikroba sering kali tersembunyi pada takson yang belum banyak diteliti, yang dapat menyimpan jalur biosintetik unik atau bahan alam aktif baru.

Dalam rangkaian penelitian ini, eksplorasi mendalam difokuskan pada beberapa genera bakteri yang dipilih secara strategis. Kajian intensif dilakukan pada bakteri genus *Massilia*, dengan menganalisis enam spesiesnya seperti *M. albidiflava*, *M. dura*, *M. lutea*, *M. plicata*, dan *M. umbonata* yang diisolasi dari berbagai ekosistem unik untuk memetakan potensi metabolik yang belum terjamah. Cakupan penelitian juga diperluas ke bakteri genus *Telluria* seperti *T. chitinolytica* dan *T. mixta* serta genus *Janthinobacterium* seperti *J. agaricidamnorum* dan *J. lividum* (Frediansyah et al., 2023; Frediansyah, Manuhara, et al., 2022; Frediansyah, Straetener, et al., 2021; Miess et al., 2020). Selain itu, bakteri *Klebsiella oxytoca* yang berasal dari lingkungan perkebunan kelapa sawit di Maluku, Indonesia, juga turut dikaji untuk mengungkap potensi metaboliknya (Frediansyah, Aziz, et al., 2021).

Eksplorasi terhadap kelompok bakteri ini tidak sekadar menambah jumlah isolat dalam koleksi, melainkan merupakan investigasi yang ditargetkan untuk membuka “kotak hitam” metabolisme mikroba yang belum terpetakan. Hasilnya telah berkontribusi pada penemuan bahan alam aktif baru, seperti massiliamide dari *Massilia albidiflava* dan trinickiabactin dari *Trinickia caryophylli*, serta optimasi produksi bahan alam aktif seperti violacein dari *Janthinobacterium*.

B. Perkembangan Paradigma Fermentasi

Perkembangan fermentasi telah mengalami evolusi paradigma yang signifikan, bergeser dari praktik empiris berbasis kearifan lokal menuju sebuah disiplin ilmu yang terukur dan berbasis data. Transisi bersejarah ini ditandai oleh pergeseran fundamental dari ketergantungan pada inokulum alamiah dalam fermentasi spontan yang tidak terprediksi, menuju pemanfaatan mikroba pilihan dalam suatu sistem yang terukur serta dapat direkayasa untuk tujuan tertentu.

Pendekatan terkini dalam bioteknologi fermentasi secara garis besar terbagi menjadi dua jalur utama (Tabel 2.1) yaitu (1) fermentasi presisi yang mengandalkan mikroba hasil rekayasa genetika untuk sintesis bahan alam aktif target yang sangat spesifik; dan (2) fermentasi terkontrol yang memanfaatkan mikroba galur asli (*wild-type*) dan non-rekombinan yang diseleksi melalui karakterisasi menyeluruh terhadap profil genotipik dan fenotipiknya (Gumulya et al., 2025; Siddiqui et al., 2023; Szutowaska et al., 2021). Perbedaan mendasar kedua pendekatan ini terletak pada sumber inokulum (GMO *versus* non-GMO) dan dasar saintifiknya, yaitu biologi sintetik *versus omics* terintegrasi, yang memiliki implikasi strategis terhadap regulasi, penerimaan pasar, dan potensi inovasi.

Tabel 2.1 Perbandingan paradigma fermentasi spontan, terkontrol, dan presisi.

Parameter	Fermentasi spontan	Fermentasi terkontrol	Fermentasi presisi
Inokulum	Campuran mikroba alamiah (komunitas kompleks)	Strain <i>wild type</i> tunggal atau konsorsium terpilih (non-GMO)	Strain rekayasa genetika (GMO)

Parameter	Fermentasi spontan	Fermentasi terkontrol	Fermentasi presisi
Kontrol Proses	Minimal (bergantung pada kondisi lingkungan)	Tinggi (parameter fisikokimia terkontrol)	Sangat tinggi (parameter terkontrol & genetik termodifikasi)
Konsistensi produk	Rendah (variasi antar <i>batch</i> tinggi)	Tinggi (reproduktibilitas terjamin)	Sangat tinggi (hasil sangat spesifik dan dapat diprediksi)
Skalabilitas	Sulit (proses transfer pengetahuan empiris)	Mudah dan terprediksi (proses terdokumentasi)	Mudah dan terprediksi (platform produksi terstandarisasi)
Dasar saintifik	Empiris (kearifan lokal)	Berbasis data <i>omics</i> (genomik, metabolomik terintegrasi)	Berbasis desain genetik dan biologi sintetik
Contoh produk	Tempe, tape, kecap tradisional	Pangan fungsional, bahan alam aktif murni dari mikroba indigenous	Bahan alam aktif target tinggi (mis: insulin, artemisinin sintetik)
Status regulasi dan pasar	Non-GMO (diterima luas, rendah regulasi teknis)	Non-GMO (keunggulan pasar, regulasi lebih sederhana)	GMO (regulasi ketat, penerimaan pasar bervariasi)

Parameter	Fermentasi spontan	Fermentasi terkontrol	Fermentasi presisi
Potensi inovasi	Terbatas (perbaikan inkremental)	Tinggi (penemuan bahan aktif baru dari potensi alami)	Sangat tinggi (produksi bahan aktif yang tidak ada di alam)

Sumber: Marcellin et. al. (2024), Verma et al. (2025), Szutowska et al. (2021), Frediansyah et al. (2017).

Dalam transformasi menuju sistem fermentasi yang lebih terukur dan dapat diprediksi, pendekatan metabologenomik hadir sebagai platform kunci yang menjembatani kedua paradigma modern tersebut, khususnya untuk mengoptimalkan fermentasi terkontrol. Pendekatan yang mengonvergensi analisis genomik dan metabolomik ini secara sistematis menghubungkan data dari kedua analisis tersebut. Dengan demikian, pendekatan terintegrasi ini tidak hanya memetakan spektrum bahan alam, tetapi juga secara definitif dapat menghubungkan suatu metabolit spesifik dengan gen-gen penyandi dalam BGCs serta organisme penghasilnya, sebagaimana didemonstrasikan oleh keragaman BGCs pada prokariota (Gambar 2.2). Prediksi dan analisis BGCs ini menjadi fondasi untuk mempercepat proses penemuan bahan alam baru dan mengoptimasi produksinya.

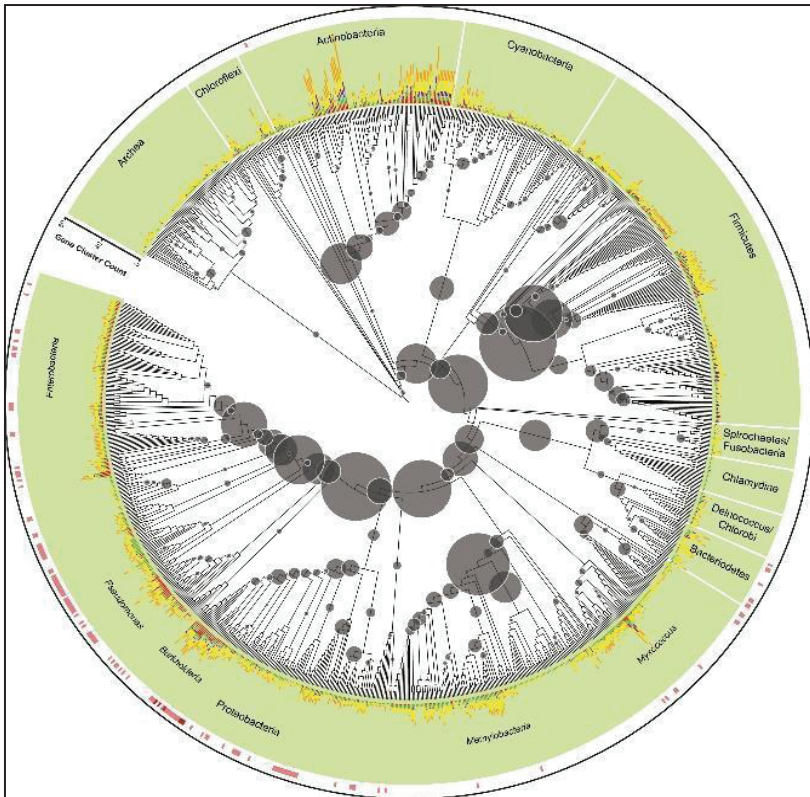
C. Transformasi Teknologi Fermentasi

Fermentasi tradisional merupakan warisan budaya yang bernilai tinggi, tidak hanya secara sosio-kultural tetapi juga karena potensi fungsional dan kesehatannya yang terbukti secara empiris (Yee et al., 2025). Proses ini telah berevolusi dari metode pengawetan alami menjadi subjek penelitian ilmiah intensif, di mana produk ikonik seperti tempe dan oncom kini dikaji untuk klaim kesehatan yang didukung bukti berjenjang,

mulai dari tingkat seluler hingga uji klinis (Frediansyah, 2018, 2024; Sampsell et al., 2025). Konsep mikroba *terroir* atau sesuai habitatnya dan tren konsumen *back to nature* (kembali ke alam) semakin memperkuat relevansi strategis produk fermentasi tradisional di era pangan fungsional (Mudondo et al., 2025).

Namun, produksi berbasis fermentasi spontan menghadapi tantangan mendasar dalam hal konsistensi, keamanan, dan skalabilitas yang merupakan prasyarat utama industri modern (Siddiqui et al., 2023). Variabilitas komunitas mikroba yang tinggi, serta ketergantungan pada kondisi lingkungan yang fluktuatif (Wu et al., 2021), menjadi kendala serius, ditambah kesulitan mendokumentasikan dan mereplikasi pengetahuan empiris. Ancaman perubahan iklim terhadap stabilitas ekosistem mikroba alami semakin memperparah kerentanan sistem tradisional ini (Pal, 2025).

Oleh karena itu, transformasi menuju sistem produksi yang lebih andal dan terprediksi menjadi kebutuhan mendesak. Dalam konteks ini, fermentasi terkontrol muncul sebagai solusi evolusioner yang menjembatani kearifan tradisional dengan ketelitian sains modern (Szutowska et al., 2021). Berbeda dengan fermentasi presisi yang mengandalkan mikroba rekayasa genetika untuk produksi bahan alam spesifik (Gumulya et al., 2025; Marcellin et al., 2024; Verma et al., 2025), pendekatan fermentasi terkontrol justru berfokus pada pemanfaatan dan optimalisasi potensi alami strain liar (*wild type*). Seleksi *strain* dilakukan secara ketat berdasarkan karakterisasi fenotipik dan genotipik komprehensif, sehingga memungkinkan produksi metabolit target dengan akurasi tinggi, efisiensi maksimal, dan konsistensi mutu antar *batch* yang terjamin (Amaral et al., 2026).



Sumber: Cimermancic et al. (2014).

Gambar 2.2 Keragaman BGCs dari prokariota.

Dengan demikian, fermentasi terkontrol menawarkan nilai ganda yang strategis: tidak hanya mengatasi kelemahan fermentasi tradisional, tetapi juga mempertahankan keunggulan produk non-GMO yang lebih diterima pasar. Pendekatan ini sekaligus memberdayakan biodiversitas mikroba lokal sebagai aset produksi bernilai tambah, meningkatkan daya saing industri, dan mendukung visi kemandirian pangan nasional. Ini

adalah transformasi yang tidak meninggalkan tradisi, melainkan memperkuatnya melalui landasan ilmiah yang kokoh.

III. KONSEP METABOLOGENOMIK TERKONTROL

Pendekatan metabologenomik berfungsi sebagai kerangka kerja integral untuk merancang, memantau, dan mengoptimalkan sistem fermentasi terkontrol. Pendekatan konvergen ini menyatukan secara sinergis analisis genotipik, yaitu cetak biru genetik, karakterisasi fenotipik metabolik, yaitu profil kimiawi keluaran, serta integrasi data bioinformatika dalam suatu siklus umpan balik yang iteratif dan adaptif. Tujuan utamanya adalah mengaktualisasikan potensi genetik mikroba, terutama yang bersumber dari kekayaan biodiversitas Indonesia yang belum tergali optimal, menuju produksi metabolit target yang terarah, efisien, dan konsisten. Dengan demikian, pendekatan ini menjadi landasan saintifik yang krusial bagi dua pilar aplikasi utama: penemuan dan produksi bahan alam aktif bernilai tinggi serta pengembangan pangan fungsional berbasis fermentasi terkontrol.

A. Parameter Kunci dalam Sistem Fermentasi Terkontrol

Sistem fermentasi pada hakikatnya merupakan sebuah ekosistem mikroba yang kompleks, di mana suatu mikroba tunggal atau suatu konsorsium berfungsi sebagai MCF yang mentransformasi substrat menjadi produk bernilai (Hussain et al., 2022). Keunggulan strategis Indonesia dalam konteks ini berakar pada keanekaragaman hayati mikroba yang luar biasa, yang berfungsi sebagai bank gen alamiah dengan potensi biosintetik yang masih sangat luas dan belum tereksplorasi (Cimermanic et al., 2014). Bukti empiris dari kekayaan genetik ini secara nyata tercermin dari keragaman produk fermentasi tradisional Nusantara.

Pada fermentasi singkong, aktivitas spesifik BAL telah dilaporkan mampu menghasilkan spektrum asam organik dan bahan alam aktif yang beragam, sekaligus membantu mendetoksifikasi asam sianida alami yang terkandung dalam bahan baku (Frediansyah, 2018, 2021; Frediansyah et al., 2019; Frediansyah & Kurniadi, 2016, 2017). Selain itu, kompleksitas interaksi simbiosis dalam ekosistem mikroba tradisional juga dapat diamati, misalnya pada hubungan yang terstruktur antara kapang *Rhizopus* sp. dengan bakteri dalam matriks kedelai selama pembuatan tempe (Frediansyah, 2024; Frediansyah et al., 2014; Nurmilah et al., 2025). Interaksi dinamis ini menjadi fondasi biologis dari karakteristik unik produk fermentasi.

Namun, potensi genetik yang tersembunyi dalam genom mikroba harus termanifestasi menjadi profil metabolit yang spesifik dan terukur, yaitu suatu fenotipe kimiawi yang menjadi keluaran akhir fermentasi. Manifestasi kritis ini hanya dapat tercapai melalui interaksi yang dinamis antara mikroba dengan lingkungan kultivasinya yang spesifik. Lingkungan tersebut merupakan sebuah arena multifaktor yang mencakup dua unsur utama: (1) substrat bernutrisi, seperti kedelai, singkong, atau media sintetik, yang berfungsi sebagai sumber karbon, nitrogen, dan energi; serta (2) parameter bioproses, seperti pH, suhu inkubasi, dan tingkat aerasi, yang secara kolektif menentukan kondisi fisikokimia yang memengaruhi kehidupan dan aktivitas metabolik mikroba.

Untuk mentransformasi potensi alamiah ini menjadi sistem produksi yang andal, diperlukan pendekatan pengendalian yang komprehensif dan multidimensi. Tujuan akhir fermentasi terkontrol adalah mencapai produksi bahan alam target yang terarah, efisien, dan konsisten. Pendekatan ini harus mampu menyinergikan tiga aspek kunci yang saling terkait.

Pertama, pemahaman genotipik mendalam yang dicapai melalui pemetaan genom lengkap dan berkualitas tinggi untuk mengungkap potensi biosintetik tersembunyi, termasuk kluster gen *cryptic* atau *silent* yang tidak terekspresi dalam kondisi standar (Agolino et al., 2025; Frediansyah et al., 2026). Kedua, pemantauan fenotipik metabolik yang akurat melalui analisis profil metabolomik *high-throughput*, yang memungkinkan pelacakan kuantitatif dan kualitatif bahan alam yang benar-benar dihasilkan dan terakumulasi selama fermentasi (Andrade-Espinoza et al., 2025; Rivaldi et al., 2025). Ketiga, perancangan kondisi induksi yang spesifik, di mana parameter bioproses seperti komposisi media dan kondisi lingkungan fisik secara sengaja direkayasa untuk mengaktifkan, meningkatkan, atau mengalihkan ekspresi jalur biosintetik target (Miller et al., 2024; Frediansyah, Manuhara, et al., 2022)

Sinergi yang harmonis dan terkendali dari ketiga aspek kunci inilah yang membentuk fondasi kokoh sistem fermentasi terkontrol, sebuah sistem yang tidak hanya tangguh dan dapat diprediksi, tetapi juga memiliki fleksibilitas serta kapasitas adaptif untuk dioptimasi secara terus-menerus, sehingga dapat menjembatani kekayaan biodiversitas mikroba Indonesia dengan tuntutan industri bioteknologi modern.

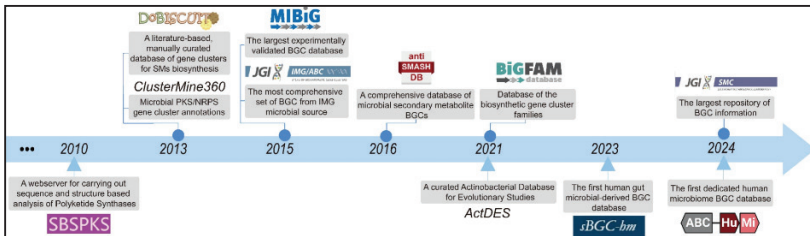
B. Pendekatan Metabologenomik dalam Sistem Fermentasi Terkontrol

Pendekatan metabologenomik dalam fermentasi terkontrol merupakan realisasi operasional dari tiga aspek kunci yang telah diuraikan sebelumnya. Pendekatan ini dibangun melalui konvergensi tiga pilar teknologi yang saling terkait dan saling menguatkan, membentuk suatu siklus umpan balik terintegrasi yang dinamis. Siklus ini secara iteratif menghubungkan

penambahan genom, karakterisasi fenotip metabolik, dan integrasi data dalam suatu loop berulang yang memungkinkan optimasi proses secara rasional dan berkelanjutan, mulai dari prediksi genetik awal hingga validasi dan peningkatan performa fermentasi secara empiris.

Pilar pertama adalah penambahan data genom, baik dari sekuensing genom utuh mikroba tunggal maupun dari metagenom suatu konsorsium mikroba. Tujuannya adalah menginventarisasi dan memahami cetak biru genetik sebagai dasar untuk memprediksi potensi biosintetik secara *in silico*. Tahap ini dimulai dengan akuisisi data menggunakan teknologi sekuensing generasi terkini. Platform seperti Illumina menawarkan akurasi tinggi untuk pembacaan pendek (*short read*) dan telah digunakan untuk mengkarakterisasi genom mikroba target (Buchmann et al., 2016). Sementara itu, teknologi pembacaan panjang (*long-read*) seperti Oxford Nanopore dan PacBio memungkinkan pembacaan fragmen DNA yang lebih panjang, yang sangat berharga untuk merakit genom berkualitas tinggi, terutama untuk region repetitif atau kompleks, seperti yang diterapkan pada karakterisasi genom *Telluria*, *Massilia*, dan *Halobacillus* (Frediansyah et al., 2023, 2026; Miess et al., 2020). Untuk mendapatkan perakitan genom yang optimal, pendekatan hibrida yang menggabungkan keunggulan kedua teknologi sering digunakan (Kawamoto et al., 2019). Data mentah kemudian melewati melalui tahap pemrosesan awal, termasuk *trimming* dan kontrol kualitas, sebelum dirakit menjadi genom. Genom yang telah dirakit kemudian „ditambang“ menggunakan algoritma dan perangkat lunak bioinformatika khusus. Alat-alat prediktif seperti antiSMASH (*Antibiotics and Secondary Metabolite Analysis Shell*), PRISM (*PRediction Informatics for Secondary Metabolism*), dan BiG-SCAPE digunakan untuk mengidentifikasi lokasi dan struktur BGCs,

yaitu kelompok gen yang mengkode biosintesis bahan alam khusus. Analisis ini sering dikombinasikan dengan pencarian dan anotasi dalam basis data referensi seperti MIBiG (*Minimum Information about a Biosynthetic Gene cluster*), yang terus berkembang melalui kolaborasi global (Zdouc et al., 2025), serta berbagai *database* lainnya yang mendukung analisis BGCs (Gambar 3.1). Inventarisasi BGCs, terutama yang tidak aktif atau „diam“, menjadi fondasi pengetahuan untuk merancang strategi fermentasi yang ditargetkan.



Sumber: Zhu et al. (2025).

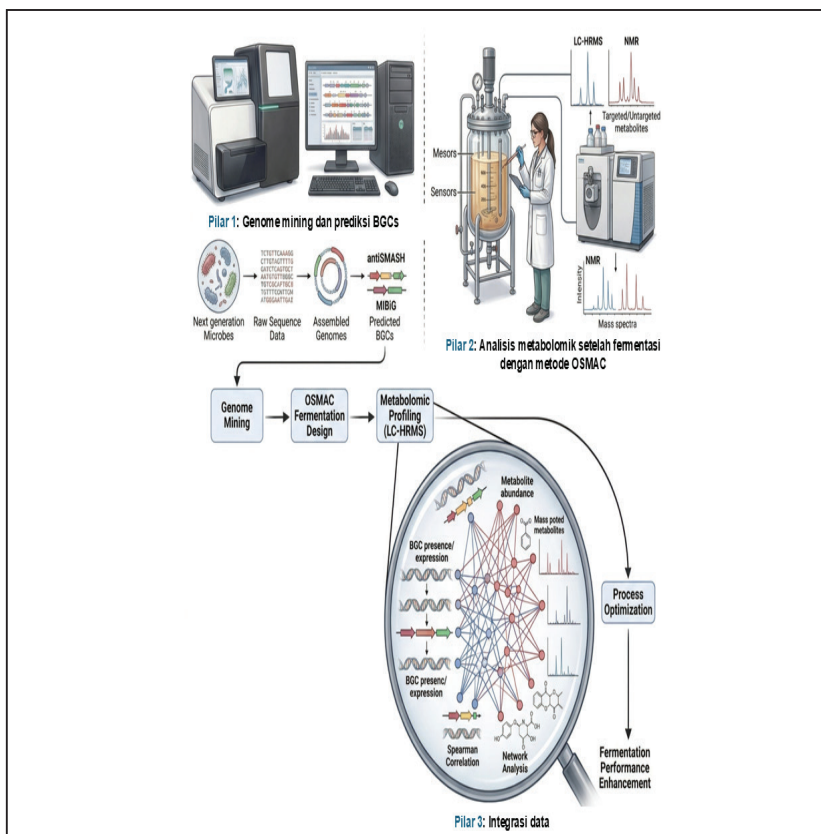
Gambar 3.1 Alur perkembangan dan variasi *database* BGCs mikroba di dunia.

Pilar kedua berfokus pada karakterisasi fenotip metabolik yang akurat, yang menjawab pertanyaan mendasar tentang apa yang diproduksi oleh sistem fermentasi pada kondisi tertentu. Pilar ini sangat bergantung pada analisis metabolomik berbasis spektrometri massa resolusi tinggi, yang terbagi menjadi dua paradigma komplementer (Saad et al., 2021). Metabolomik tidak tertarget menggunakan teknik seperti LC-HRMS untuk mendeteksi seluas mungkin metabolit tanpa bias awal, sehingga ideal untuk penemuan bahan alam baru dan pemetaan metabolom secara holistik. Sebaliknya, metabolomik tertarget memanfaatkan instrumen sensitif seperti LC-MS/MS untuk mengkuantifikasi

bahan alam spesifik secara akurat, yang krusial bagi optimasi proses dan kontrol kualitas. Untuk konfirmasi struktur bahan alam yang ditemukan, analisis ini sering dilengkapi dengan teknik spektroskopi komplementer seperti Spektroskopi Resonansi Magnetik Inti (NMR). Data kompleks yang dihasilkan kemudian diintegrasikan dan dianalisis dengan teknik statistik multivariat, seperti *Principal Component Analysis* (PCA), atau *machine learning* untuk mengidentifikasi pola, biomarker, dan perbedaan bermakna antar sampel (Rohman et al., 2025). Hasil metabolomik sangat dipengaruhi oleh kondisi kultivasi, yang dapat dimanipulasi secara sistematis melalui variasi faktor fisik (seperti suhu dan cahaya), faktor kimia (seperti komposisi media dan prekursor), serta faktor biologis (seperti ko-kultur). Variasi ini merupakan inti dari pendekatan OSMAC (Bode et al., 2002), yang bertujuan mengaktifkan BGCs yang diam dengan memberikan “tekanan” atau “induksi” lingkungan yang spesifik. Strategi OSMAC telah berhasil diterapkan untuk meningkatkan produksi metabolit seperti violacein (Frediansyah, Manuhara, et al., 2022). Dengan demikian, data metabolomik tidak hanya menjadi potret keluaran hasil fermentasi, tetapi juga berfungsi sebagai umpan balik kritis untuk mengevaluasi efektivitas suatu kondisi kultivasi dan merancang ulang strategi eksperimen.

Pilar ketiga adalah integrasi data, yang berfungsi sebagai jembatan penghubung dan pemberi makna antara informasi genotipik dari pilar pertama dengan data fenotipik metabolik dari pilar kedua. Melalui analisis statistik dan bioinformatika, seperti korelasi (Spearman, Pearson, Kendall Tau), analisis jaringan (*network analysis*), atau pemodelan, pilar ini bertujuan mengungkap hubungan kuantitatif dan kausal antara keberadaan atau ekspresi gen tertentu, misalnya dari sebuah BGC yang terprediksi, dengan kelimpahan metabolit yang dihasilkan (Nurmilah et al., 2025). Korelasi tersebut menghasilkan wawasan

mekanistik dan hipotesis yang dapat ditindaklanjuti. Sebagai contoh, jika suatu BGC yang diprediksi menghasilkan bahan alam target ternyata tidak terekspresi atau justru menghasilkan metabolit yang berbeda, analisis integratif dapat membantu mengidentifikasi faktor lingkungan penghambat atau gen regulator kunci yang mengendalikan ekspresinya (Chiang et al., 2011). Hasil integrasi data inilah yang menutup siklus umpan balik dan menggerakkan sifat adaptif pendekatan metabologenomik. Wawasan mekanistik yang terungkap langsung diterjemahkan menjadi strategi optimasi yang terukur dan rasional. Strategi ini dapat berupa rekayasa kondisi fermentasi, misalnya modifikasi media berdasarkan profil metabolit yang diinginkan, atau seleksi strain unggul baru berdasarkan peta genetik dan kapasitas metaboliknya. Dengan demikian, terbentuklah suatu siklus iteratif yang dinamis, mulai dari penambangan genom, desain kondisi kultivasi melalui prinsip OSMAC, karakterisasi metabolom, hingga integrasi data, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.2. Siklus ini memungkinkan peningkatan performa fermentasi, yaitu titer, *yield* atau rendemen, dan kemurnian, secara sistematis dan berkelanjutan. Inilah nilai inti dan kekuatan pendekatan metabologenomik dalam mendorong inovasi bioteknologi industri berbasis pada potensi alam.



Sumber: Dokumentasi pribadi.

Gambar 3.2 Tiga pilar teknologi dalam pendekatan metabologenomik.

C. Pemanfaatan Metabologenomik dalam Fermentasi Terkontrol

Mikroba yang terpilih dari tahap penambangan genom dan karakterisasi awal selanjutnya dimanfaatkan dalam riset fermentasi terkontrol berbasis pendekatan metabologenomik.

Kegiatan ini mencakup dua tujuan aplikatif utama yang saling melengkapi dan memperkuat nilai strategis pendekatan ini.

Pertama, penemuan atau produksi bahan alam aktif. Ranah ini berfokus pada bioprospeksi untuk menemukan bahan aktif baru dengan aktivitas biologis yang potensial, seperti antibiotik, antikanker, atau antioksidan, atau meningkatkan produksi bahan alam yang sudah dikenal dan ditemukan sebelumnya. Pendekatan metabologenomik menjadi kunci untuk mengaktifkan BGCs *cryptic* yang tidak terekspresi dalam kondisi laboratorium standar. Melalui strategi OSMAC yang dirancang berdasarkan prediksi genetik, mikroba dikultivasi dalam berbagai kondisi untuk “membangunkan” kluster gen diam tersebut. Analisis metabolomik kemudian digunakan untuk mendeteksi bahan alam baru yang dihasilkan, sementara integrasi data mengonfirmasi hubungan kausal antara kluster gen tertentu dengan bahan alam aktif yang ditemukan. Siklus ini memungkinkan isolasi dan identifikasi bahan alam baru, serta optimasi kondisi fermentasi untuk menghasilkan bahan alam tersebut dalam titer yang tinggi dan ekonomis.

Kedua, pengembangan nutrasetikal dan pangan fungsional berbasis fermentasi terkontrol. Dalam konteks ini, pendekatan metabologenomik digunakan untuk mengoptimalkan proses fermentasi tradisional, seperti tempe, tape, tauco, atau oncom, maupun inovasi produk pangan fermentasi baru. Tujuannya adalah untuk memastikan konsistensi mutu, meningkatkan keamanan pangan, serta secara sengaja meningkatkan kandungan bahan alam fungsional yang diinginkan, seperti peptida bioaktif, vitamin (misalnya riboflavin pada tempe), asam organik tertentu, atau probiotik. Dengan memantau hubungan antara kondisi fermentasi, ekspresi gen mikroba, dan profil metabolit akhir, proses dapat direkayasa untuk memaksimalkan produksi bahan

alam target tersebut dalam matriks pangan. Pendekatan ini tidak hanya mentransformasi praktik tradisional menjadi proses yang terstandarisasi, tetapi juga memberikan landasan ilmiah yang kuat untuk klaim kesehatan produk, sesuatu yang semakin penting dalam era pangan fungsional.

Dengan demikian, pemanfaatan metabologenomik mentransformasi fermentasi terkontrol dari proses berbasis *trial and error* menjadi disiplin rekayasa yang rasional dan terprediksi. Pendekatan ini tidak hanya memberdayakan kekayaan biodiversitas mikroba Indonesia, tetapi juga membuka jalan bagi terciptanya inovasi yang berkelanjutan dan kompetitif di bidang bioteknologi industri, menghasilkan baik bahan alam aktif murni untuk aplikasi farmasetikal dan nutrasetikal maupun produk pangan fungsional yang bernilai tambah tinggi.

IV. APLIKASI METABOLOGENOMIK TERKONTROL PADA BAHAN ALAM DAN PANGAN FUNGSIONAL

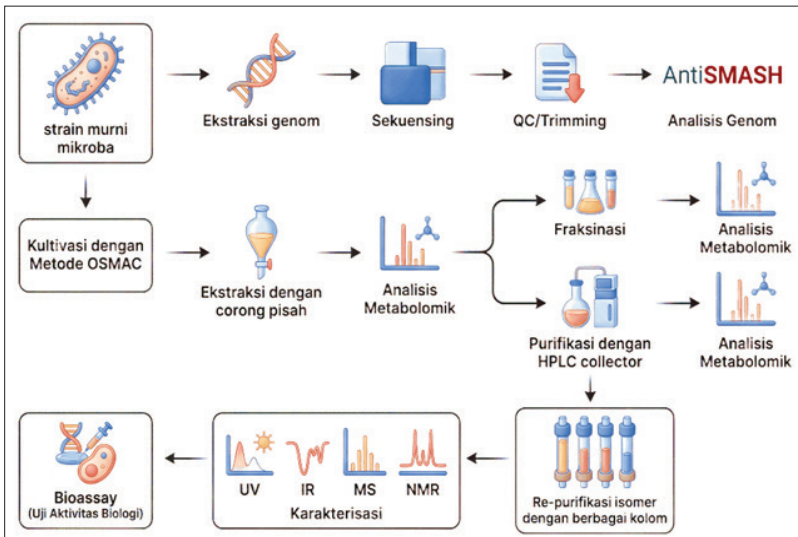
Metabologenomik merupakan pendekatan terintegrasi *multi-omics* yang secara langsung mengkorelasikan data metabolomik, sebagai representasi fenotipe kimiawi, dengan data genomik maupun metagenomik, yaitu cetak biru genetik, dari suatu sistem biologis. Tujuan utamanya adalah menghubungkan metabolit tertentu dengan data genomik serta organisme penghasilnya, sehingga penelitian dapat bergeser dari observasi deskriptif menuju pemahaman mekanistik. Bab ini membahas aplikasi konkret pendekatan tersebut dalam dua domain yang saling terkait: penemuan dan produksi bahan alam aktif bernilai tinggi, serta pengembangan pangan fungsional melalui optimalisasi fermentasi.

A. Aplikasi Metabologenomik dalam Fermentasi Terkontrol untuk Penemuan dan Produksi Bahan Alam

Penelitian ini berlandaskan pada prinsip bahwa mikroba merupakan agen penghasil bahan alam aktif. Melalui fermentasi terkontrol dan rekayasa kondisi kultur dengan strategi OSMAC, potensi metabolik mikroba, baik untuk menghasilkan bahan alam baru atau yang sudah dikenal, dapat dioptimalkan (Bode et al., 2002; Andrade-Espinoza et al., 2025). Dalam konteks ini, fermentasi terkontrol menjadi platform penting yang memanfaatkan mikroba sebagai MCF untuk penemuan dan produksi bahan alam aktif (Hussain et al., 2022; Kim et al., 2025). Bahan alam yang dihasilkan memiliki aplikasi luas, mulai

dari biofarmasetikal, hingga nutrasetikal dan pangan fungsional (FMI, 2025; Frediansyah, 2024).

Sejak tahun 2020, kelompok riset terkait riset mikroba di Pusat Riset Teknologi dan Proses Pangan BRIN telah melakukan penelitian produksi bahan alam aktif dari mikroba untuk aplikasi pangan fungsional dan farmasetikal menggunakan pendekatan metabologenomik terintegrasi. Kelompok riset ini awalnya bernama Kelompok Riset (Kelris) Mikrobiologi dan Bioteknologi Pangan, kemudian pada tahun 2023 dan 2024 menjadi Kelris Metabolit Mikroba untuk Pangan, dan sejak tahun 2025 sampai sekarang berganti nama menjadi Kelompok Riset Probiotik dan Bioproses Pangan. Pendekatan ini menggabungkan analisis genomik, untuk mengungkap potensi biosintetik, dengan strategi OSMAC, untuk memperluas cakupan dan variasi metabolomik, dalam suatu alur kerja sistematis (Gambar 4.1).



Sumber: Dokumentasi pribadi.

Gambar 4.1 Ilustrasi pendekatan metabologenomik dalam penemuan dan produksi bahan alam aktif.

Secara umum, alur kerja diawali dengan isolasi mikroba dari lingkungan unik dan kurang tereksplorasi untuk meningkatkan peluang menemukan metabolit baru (Cimermancic et al., 2014). Isolat mikroba yang diperoleh kemudian dikarakterisasi secara fenotipik dan genotipik. Tahap genomik berikutnya meliputi ekstraksi DNA, preparasi pustaka (*library*), sekuensing, perakitan (*assembly*), kendali mutu (*quality control*), pemangkasan (*trimming*), serta anotasi untuk menghasilkan data genom berkualitas tinggi. Data tersebut menjadi dasar untuk penambangan genom guna mengidentifikasi BGCs yang mengkode bahan alam potensial (Cimermancic et al., 2014; Zdouc et al., 2025). Protokol ini telah berhasil diterapkan untuk mengkarakterisasi potensi biosintetik pada bakteri dari genus *Telluria* (Frediansyah et al., 2023), *Massilia* (Miess et al., 2020), *Halobacillus*, dan *Kocuria* (Frediansyah et al., 2026).

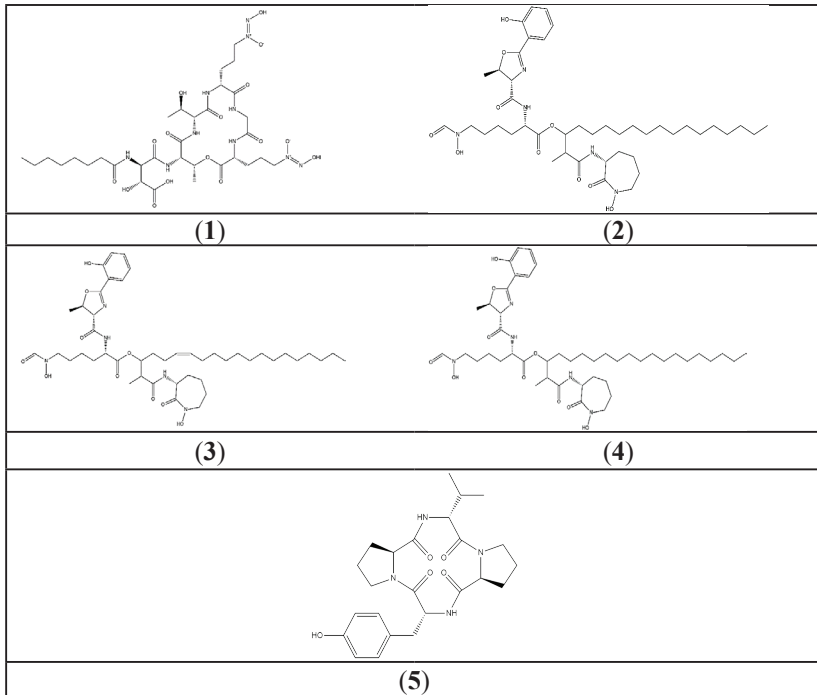
Melalui pendekatan terintegrasi ini, beberapa bahan alam aktif baru telah berhasil diidentifikasi, sebagaimana diilustrasikan dalam Gambar 4.2. Salah satu temuan penting yaitu bahan alam aktif bernama trinickiabactin (**1**), yang diisolasi dari bakteri *Trinickia caryophylli* (Jiao et al., 2020). Sebagai bahan alam golongan siderofor, trinickiabactin menunjukkan aktivitas antibakteri yang signifikan terhadap bakteri Gram negatif, dengan nilai konsentrasi hambat minimum, atau *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC), berkisar antara 3,5 hingga 34,0 µg/mL (Jiao et al., 2020).

Selain itu, tim riset juga berhasil mengidentifikasi bahan alam aktif baru lainnya, seperti terpenibactins A–C (**2–4**), yang diisolasi dari bakteri *Nocardia terpenica*. Ketiga bahan alam ini berperan sebagai antagonis reseptor muskarinik M3, yaitu reseptor yang terlibat dalam regulasi kontraksi otot polos dan transmisi sinyal saraf (Chen, Frediansyah, et al., 2020).

Karakteristik penting dari terpenibactins adalah sitotoksitasnya yang rendah terhadap sel mamalia, sehingga bahan alam ini menjanjikan keamanan dalam penggunaan sistemik. Dengan profil bioaktivitas tersebut, terpenibactins A–C menjadi kandidat menarik untuk pengembangan terapi lanjutan yang menargetkan gangguan fungsi saraf, seperti penyakit paru obstruktif kronik atau disfungsi kandung kemih.

Temuan penting lainnya adalah massiliamide (**5**), sebuah peptida siklik berukuran 456,2 Da, yang diisolasi dari bakteri *Massilia albidiflava* (Frediansyah et al., 2020). Dalam riset ini, strategi OSMAC memegang peran kunci, karena massiliamide hanya terdeteksi ketika bakteri dikultivasi pada media yang terbatas nutrisinya, seperti DMB (*Davis Minimal Broth*) dengan gliserol. Bahan alam yang terdiri dari empat residu asam amino ini merupakan inhibitor enzim tirosinase yang poten, namun tidak menunjukkan aktivitas antibakteri maupun sitotoksitas yang signifikan (Frediansyah et al., 2020). Berkat profil keamanannya yang baik dan spesifisitas targetnya, massiliamide berpotensi untuk diaplikasikan secara topikal pada kulit guna menghambat produksi melanin berlebih. Dengan demikian, bahan alam ini dapat dikembangkan sebagai agen pencerah kulit atau anti-hiperpigmentasi, serta sebagai nutrasetikal di masa depan.

Secara kolektif, pencapaian ini menunjukkan bahwa strategi kombinatorial pada fermentasi terkontrol yang mengintegrasikan metabologenomik dengan OSMAC merupakan pendekatan yang sangat efektif untuk menggali potensi bahan alam atau metabolit sekunder mikroba yang masih tersembunyi dan mengarahkan proses isolasi bahan alam baru secara lebih tepat sasaran.

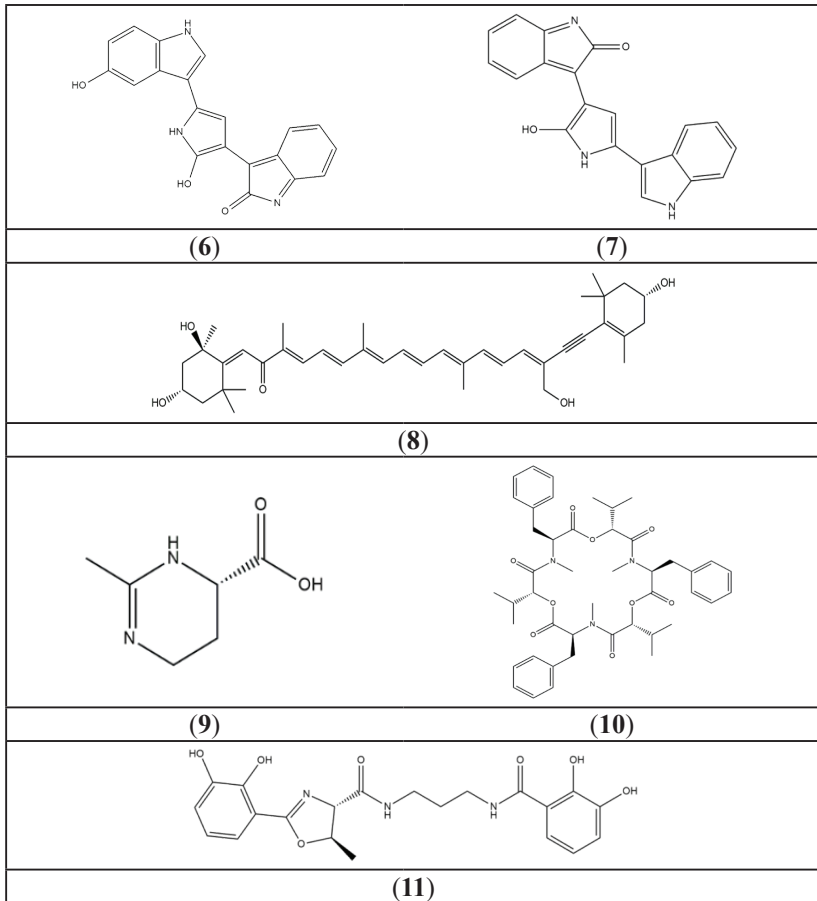


Keterangan: trinickiabactin (1), terpenibactins A–C (2-4), dan massiliamide (5).

Sumber: Chen, Frediansyah et al. (2020) Frediansyah et al. (2020), Jiao et al. (2020).

Gambar 4.2 Struktur lima bahan alam aktif baru yang berhasil ditemukan dan diidentifikasi.

Pendekatan ini tidak hanya berguna untuk penemuan bahan alam baru, tetapi juga efektif untuk mengoptimasi produksi bahan alam yang telah diketahui atau ditemukan sebelumnya, sebagaimana diilustrasikan dalam Gambar 4.3. Keberhasilan ini telah diterapkan pada dua spesies bakteri, yaitu *Janthinobacterium lividum* dan *J. agaricidamnorum*, untuk produksi bahan alam berwarna ungu, violacein (6) dan deoxyviolacein (7) (Frediansyah, Manuhara, et al., 2022).

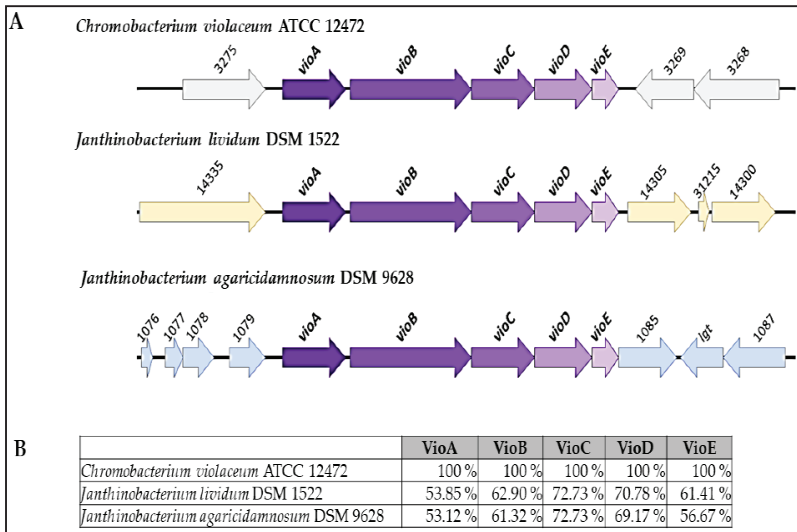


Keterangan: violacein (6), deoxyviolacein (7), carotenoid (8), ectoin (9), beauvericin A (10), dan serratiochelin A (11).

Sumber: Ariantari et al. (2026), Frediansyah, Aziz, et al. (2021), Frediansyah, Manuhara, et al. (2022); Frediansyah et al. (2026).

Gambar 4.3. Struktur enam bahan alam aktif yang telah ditemukan sebelumnya dan berhasil diidentifikasi.

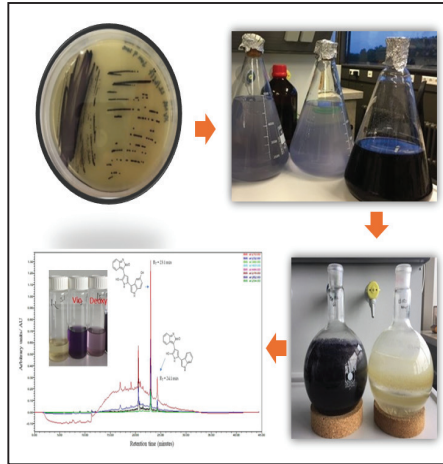
Meskipun bahan aktif bernama violacein lebih dikenal sebagai produk dari bakteri *Chromobacterium violaceum*, kedua strain bakteri yang diteliti, yaitu *Janthinobacterium*, menunjukkan produksi pigmen ungu yang intens. Analisis genom komparatif mengungkap bahwa kedua isolat tersebut memiliki susunan BGCs yang homolog dengan kluster pada *C. violaceum* (Gambar 4.4A), dan temuan ini didukung oleh analisis kesamaan sekuens asam amino dari protein kunci (VioA, B, C, D, dan E) pada ketiga bakteri tersebut (Gambar 4.4B).



Keterangan: (A) Perbandingan kluster gen *vioABCDE* pada *C. violaceum* ATCC 12472, *J. agaricidamnosum*, dan *J. lividum*. (B) Kesamaan sekuens asam amino protein VioA, VioB, VioE, VioD, dan VioC antara *C. violaceum* ATCC 12472 dengan *J. agaricidamnosum* dan *J. lividum*.

Sumber: Frediansyah, Manuhara, et al. (2022).

Gambar 4.4 Kluster gen penghasil violacein pada *J. agaricidamnosum* dan *J. lividum*.



Sumber: Frediansyah, Manuhara, et al. (2022).

Gambar 4.5 Produksi violacein dan deoxyviolacein.

Berdasarkan pemetaan genom tersebut, pendekatan OSMAC diterapkan untuk mengoptimalkan produksi violacein dan deoxyviolacein dalam skala besar (Gambar 4.5). Tujuannya adalah mengaktifkan jalur metabolisme sekunder yang bersifat *cryptic*. Sebagai contoh, dengan menganalisis respons metabolom *Janthinobacterium* terhadap kondisi stres seperti media nutrisi minimal DMB dengan gliserol, produksi pigmen bioaktif ini berhasil ditingkatkan secara signifikan hingga lebih dari 50 kali lipat dibandingkan media kaya nutrisi (Frediansyah, Manuhara, et al., 2022). Violacein yang dihasilkan kemudian diuji dan menunjukkan aktivitas antibakteri yang poten terhadap beberapa bakteri patogen, termasuk *Pseudomonas aeruginosa* DSM 50071 dengan nilai MIC violacein 19,5–19,81

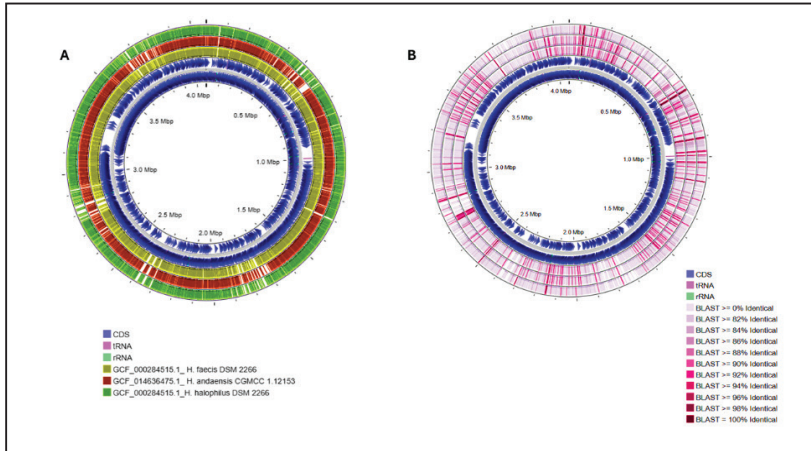
$\mu\text{g/mL}$ dan deoxyviolacein 23,4–24,79 $\mu\text{g/mL}$ (Frediansyah, Manuhara, et al., 2022).

Riset terkini juga berhasil mengoptimalkan produksi karotenoid dan ektoin dari mikroba halofilik indigenous yang diisolasi dari Danau Kakaban di Kalimantan Timur. Salah satu isolat unggul, yaitu *Halobacillus* SKB12, diseleksi dari koleksi bakteri halofilik dan dianalisis menggunakan WGS. Analisis genomik serta penambangan genom dengan antiSMASH versi 8.0.4 mengungkap potensi biosintetik atau BGCs untuk memproduksi karotenoid dan ektoin, yang kemudian dikonfirmasi melalui eksperimen di laboratorium (Frediansyah et al., 2026; Frediansyah & Fitriany, 2025). Keberadaan kluster gen karotenoid spesifik ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil analisis BGCs pada bakteri *Halobacillus* SKB12 menggunakan antiSMASH versi 8.0.4

Region	Tipe	Similaritas	Prediksi bahan alam	Jenis kluster
1.1	terpen-prekursor	-	-	-
1.2	terpen	-	-	-
1.3	ektoin	-	-	-
1.4	PKS tipe 3	-	-	-
1.5	betalaktan	rendah	fengycin	NRPS tipe 1
1.6	terpen	tinggi	karotenoid	terpen
1.7	RiPP			
1.8	sideophore	rendah	schizokinen	NRPS tipe 4
1.9	sideophore	-	-	-

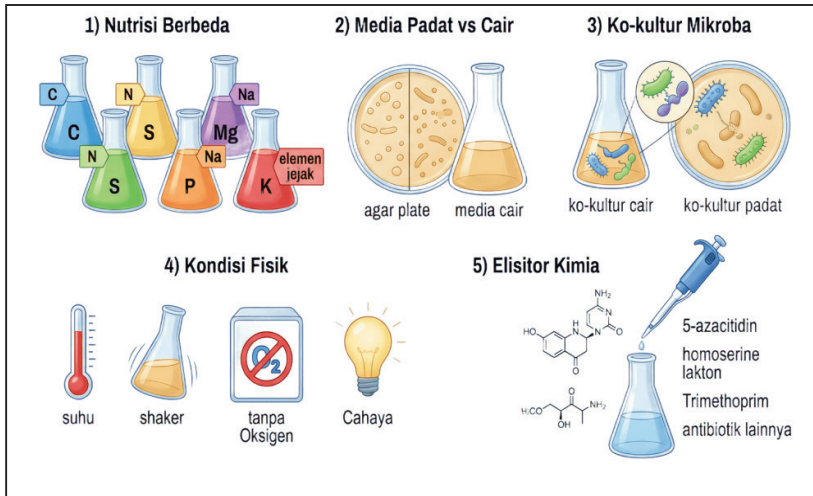
Analisis komparatif genom isolat bakteri SKB12 terhadap *Halobacillus* referensi divisualisasikan pada Gambar 4.6, yang memperkuat temuan ini.



Sumber: Dokumentasi pribadi

Gambar 4.6 Analisis komparatif genom dari isolat bakteri SKB12 terhadap bakteri referensi seperti *Halobacillus faecis* DSM 2266, *H. andaensis* CGMCC 1.12153, dan *H. halophilus* DSM 2266.

Keberhasilan dalam penemuan dan optimasi bahan alam melalui fermentasi terkontrol tersebut dicapai melalui implementasi metagenomik yang disinergikan dengan strategi OSMAC. Strategi ini diwujudkan dengan memvariasikan parameter fermentasi secara sistematis (Gambar 4.7), yang meliputi: komposisi nutrisi, yaitu media diperkaya dan media terbatas; sistem fermentasi, yaitu padat dan cair; interaksi mikroba, yaitu kokultur; kondisi fisik, seperti suhu, kadar oksigen, agitasi, dan cahaya; serta penambahan elisitor kimia.



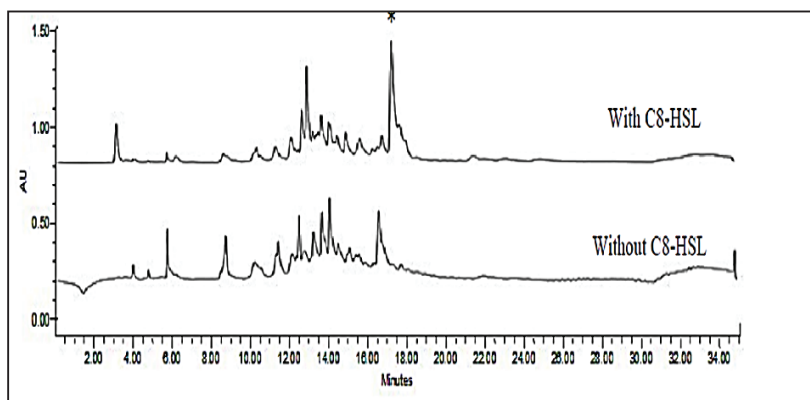
Sumber: Dokumentasi pribadi.

Gambar 4.7 Pendekatan OSMAC dalam fermentasi terkontrol.

Pada aspek metabolomik, analisis dilakukan menggunakan platform seperti *Global Natural Products Social Molecular Networking* (GNPS), *Compound Discoverer*, *DEREPLICATOR*, serta memanfaatkan pustaka spektral *in-house* (Wiyono et al., 2022; Ikhsanudin et al., 2025). Di sisi genomik, analisis dilakukan dengan berbagai alat bioinformatika, termasuk antiSMASH, *Rapid ORF Description and Evaluation Online* (RODEO), MIBiG, dan Geneious. Sinergi ini memungkinkan pemantauan dinamika produksi metabolit secara *real-time* sekaligus memahami dasar-dasar genetiknya.

Pendekatan ini juga berhasil mengungkap potensi bahan alam lainnya, meskipun terdapat beberapa batasan praktis. Sebagai contoh, bahan alam berupa *quorum sensing* untuk komunikasi mikroba berupa *N-Octanoyl-L-Homoserine Lactone* (C8-HSL), berhasil digunakan sebagai elisitor kimia untuk menginduksi

BGCs *silent* pada bakteri *Telluria* sp. dan menghasilkan bahan alam dengan berat molekul sekitar 930 Dalton yang dihipotesiskan sebagai bahan alam baru (Gambar 4.8). Analisis *in silico* mengarahkan bahan alam ini ke golongan siderofor, tetapi elusidasi struktur lengkap dengan NMR belum dapat dilakukan karena jumlah yang dihasilkan sangat sedikit, yaitu kurang dari 1 mg dari 100 L kultur.



Sumber: Dokumentasi pribadi.

Gambar 4.8 Bahan alam berukuran 930 Da pada retensi sekitar 17.8 yang terdeteksi berdasarkan *Diode Array Detector* (DAD) dan HRMS dari *Telluria* sp. yang diinduksi dengan C8-HSL.

Dalam kolaborasi dengan Universitas Udayana, pendekatan serupa diterapkan pada kapang *Fusarium proliferatum* ZO-L2-4, yang berhasil memproduksi beauvericin (**10**). Bahan alam ini terdeteksi melalui analisis metabolomik *untargeted* HRMS, dan keberadaan BGCs pengkodennya dikonfirmasi melalui analisis genom (Ariantari et al., 2026). Sebelumnya, siderofor serratiochelin A (**11**) juga berhasil dideteksi dari bakteri *Klebsiella oxytoca* STA01 yang diisolasi dari kebun sagu di Maluku (Frediansyah, Aziz, et al., 2021).

Tabel 4.2 Bahan alam aktif yang telah ditemukan dan diisolasi.

No	Bahan alam	Sumber mikroba	Aktivitas utama	Potensi aplikasi
1	Trinickiabactin (Siderofor)	<i>Trinickia caryophylli</i>	Antibakteri Gram negatif	Terapi infeksi resisten
2	Terpenibactin A-C (Lantipeptida)	<i>Nocardia terpenica</i>	Antagonis reseptor M3	Neurofarmasetikal
3	Massiliamide (Peptida siklik)	<i>Massilia albidiflava</i>	Inhibitor tirosinase	Agen pencerah kulit dan nutrasetikal
4	Violacein dan Deoxyviolacein (Bisindol)	<i>Janthinobacterium</i> spp.	Antibakteri, pewarna alami	Pewarna alami pada pangan dan nutrasetikal
5	Ektoin (<i>Compatible solute</i>)	<i>Halobacillus</i> sp. SKB12	Pelindung sel stres	Kosmetik dan nutrasetikal
6	Karotenoid (Terpenoid)	<i>Halobacillus</i> sp. SKB12	Antioksidan, pro-vitamin A	Nutrasetikal dan pewarna alami pada pangan
7	Beauvericin (Depsipeptida)	<i>Fusarium proliferatum</i>	Antimikroba, sitotoksik	Kemoterapi <i>adjuvant</i> dan <i>packaging</i> pada produk pangan
8	Serratiochelin A (Siderofor)	<i>Klebsiella oxytoca</i>	<i>Chelating agent</i> (pengikat logam)	Pertanian dan biomedis

Secara kolektif, aplikasi metabologenomik yang disinergikan dengan OSMAC dalam fermentasi terkontrol telah berhasil mengungkap dan mengoptimalkan delapan kelompok bahan alam aktif utama dari mikroba potensial, sebagaimana dirangkum dalam Tabel 4.2.

B. Aplikasi Metabologenomik dalam Fermentasi Terkontrol untuk Pangan Fungsional

Pangan fungsional didefinisikan sebagai pangan yang diformulasi atau diproses secara khusus untuk mengandung bahan alam aktif atau mikroorganisme hidup, seperti probiotik, dalam konsentrasi aman untuk dikonsumsi. Tujuannya adalah memberikan manfaat kesehatan spesifik di luar fungsi nutrisi dasar dari pangan (Temple, 2022; Frediansyah, 2025). Riset fermentasi untuk pangan fungsional memiliki dua misi strategis yang sinergis. Misi pertama adalah mentransformasi warisan kuliner tradisional menjadi produk berbasis bukti ilmiah. Misi kedua adalah menciptakan inovasi pangan baru sebagai solusi kesehatan masyarakat.



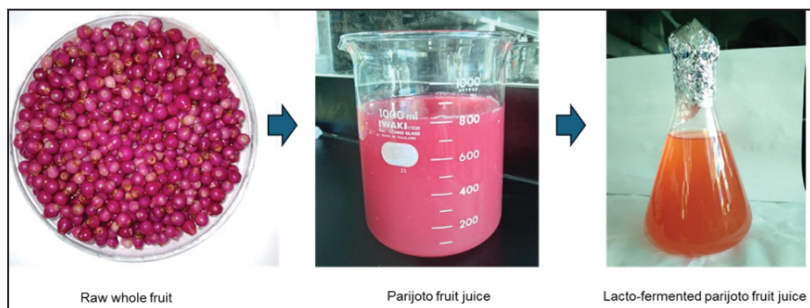
Sumber: Dokumentasi pribadi.

Gambar 4.9 Proses pembuatan minuman fermentasi kersen.

Salah satu implementasi awal pendekatan ini dilakukan pada fermentasi terkontrol pada jus kersen (*Muntingia calabura*) pada tahun 2021 (Gambar 4.9). Pemilihan *L. plantarum* sebagai inokulan didasarkan pada analisis *in silico* yang mengidentifikasi keberadaan gen *LpTan* pengkode enzim tannase dalam basis data genom publik. Pemilihan ini juga didukung penelitian terdahulu yang menunjukkan keunggulan bioaktif *L. plantarum* pada substrat jus buah (Frediansyah et al., 2017). Analisis penambangan genom lebih lanjut mengungkap bahwa bakteri ini memiliki enzim β -glukosidase yang berpotensi memecah ikatan glikosida menjadi bentuk aglikon yang lebih aktif secara biologis.

Melalui fermentasi terkontrol tersebut, analisis metabolomik tidak tertarget (*untargeted*) berhasil mengidentifikasi tiga bahan alam yang muncul pada jus kersen yang telah terfermentasi, yaitu asam galat, dihidrokaempferol, dan 5,7-dihidroksiflavon (Frediansyah, Manuhara, et al., 2022). Produksi asam galat dapat dijelaskan melalui biokonversi asam tanat yang dimediasi enzim tannase. Sementara itu, produksi dihidrokaempferol diduga berasal dari aktivitas jalur shikimat pada *L. plantarum* yang mengonversi prekursor flavonoid melalui reaksi hidrosilasi. Secara keseluruhan, fermentasi ini berperan sebagai proses biotransformasi yang efektif, di mana aktivitas enzim β -glukosidase menghasilkan aglikon dengan aktivitas farmakologis dan bioavailabilitas yang lebih tinggi. Peningkatan kadar aglikon ini berkorelasi langsung dengan kemampuan penghambatan yang lebih baik terhadap enzim pengatur kadar gula darah, sebagaimana diuji secara *in vitro* terhadap α -glukosidase, α -amilase, dan amiloglukosidase. Produk ini diharapkan dapat mendukung pengembangan produk probiotik non-susu bagi konsumen dengan intoleransi laktosa atau pola makan vegetarian (Anshory et al., 2026).

Penggunaan kultur starter *L. plantarum* pada jus parijoto (*Medinilla speciosa* Blume) seperti pada Gambar 4.10. menunjukkan keunggulan dibandingkan *L. acidophilus* dalam kapasitas antioksidan yang diukur dengan metode FRAP atau *Ferric Reducing Antioxidant Power*. Penggunaan *L. plantarum* ini juga menghasilkan peningkatan penghambatan enzim α -amilase yang paling signifikan, yaitu 81% relatif terhadap kontrol. Profil metabolomiknya menunjukkan pengayaan metabolit turunan lipid. Selain itu, korelasi positif sempurna ($\rho = 1,00$) antara FRAP dengan penghambatan α -amilase menghasilkan hipotesis adanya keterkaitan mekanistik. Dengan demikian, jus parijoto yang difermentasi dengan *L. plantarum* merupakan kandidat yang menjanjikan untuk investigasi lebih lanjut sebagai minuman fungsional dengan potensi antidiabetes. Namun, potensi ini masih memerlukan validasi dosis respons, kinetika, dan uji *in vivo*.

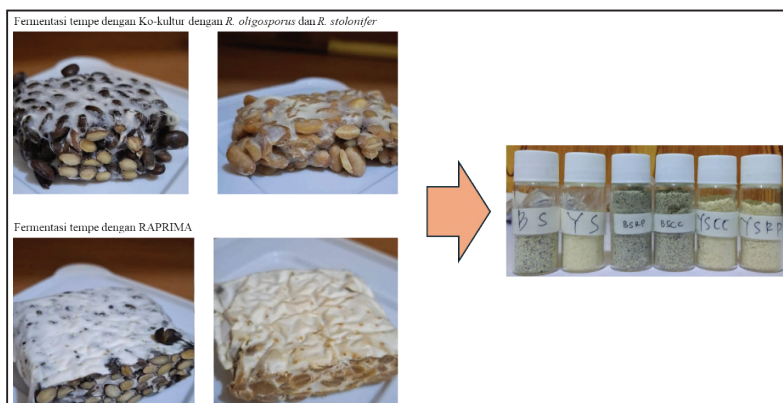


Sumber: Frediansyah et al. 2026.

Gambar 4.10 Proses pembuatan minuman fermentasi parijoto.

Implementasi lain dari fermentasi terkontrol diwujudkan melalui serangkaian invensi yang telah memperoleh sertifikasi paten, antara lain: formula kultur starter berbasis *L. plantarum* untuk produksi mocaf (Paten IDP000053695);

metode pembuatan kecap organik menggunakan *Aspergillus* sp. (Paten P00201810175); proses produksi enzim xilanase dari *Aspergillus niger* yang diaplikasikan pada penjernihan jus buah (Paten P00202514534); teknologi fermentasi beras kencur yang diintegrasikan dengan probiotik (Paten P00202408719); serta rekayasa produksi kitosan menggunakan media tumbuh fungi (Paten IDP00074797). Produk dan metode terproteksi paten ini merupakan bukti empiris penerapan fermentasi terkontrol yang sangat potensial untuk dioptimalkan. Lebih lanjut, pendekatan metabologenomik dapat diintegrasikan guna meningkatkan efisiensi proses serta menjamin konsistensi kualitas produk akhir.



Sumber: Dokumentasi pribadi dari Siti Nurmilah.

Gambar 4.11 Proses pembuatan tempe kedelai hitam dan kuning.

Dampak nyata dari riset fermentasi terkontrol juga telah menjangkau pemberdayaan masyarakat melalui program Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi di Daerah (IPTEKDA) dari Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), pada beberapa tahun sebelum BRIN berdiri. Teknologi starter *L. plantarum* untuk produksi Mocaf diterapkan di Koperasi Wanita

MADANIA, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah, yang berfokus pada pemberdayaan wanita melalui pengembangan industri pangan rumahan berbasis Mocaf. Program ini menjadi bukti bahwa riset metabologenomik dan fermentasi terkontrol tidak hanya relevan di laboratorium, tetapi juga mampu memberikan dampak sosial-ekonomi langsung dan mendukung kemandirian pangan nasional.

Pendekatan metabologenomik juga telah diterapkan untuk mengungkap dinamika dan fungsi komunitas mikroba yang kompleks pada fermentasi tradisional Indonesia, dengan tempe sebagai model studi (Gambar 4.11). Pendekatan ini memungkinkan analisis komprehensif yang mencakup perubahan profil metabolomik, identifikasi metabolit kunci penentu sifat fungsional, dan elucidasi peran spesifik setiap anggota mikroba. Dalam studi fermentasi tempe, analisis komparatif menunjukkan bahwa ko-kultur *Rhizopus oligosporus* dan *R. stolonifer* secara signifikan meningkatkan kadar aglikon isoflavon, terutama genistein dan daidzein, dibandingkan dengan kultur starter komersial tunggal (Nurmilah, Frediansyah, et al., 2025).

Pada tingkat mikrobioma, analisis metagenomik mengungkap struktur komunitas yang didominasi oleh bakteri dari filum *Proteobacteria* dan *Firmicutes*, serta jamur dari filum *Mucoromycota*, dengan genus *Rhizopus* sebagai aktor kunci. Analisis korelasi Spearman berhasil memetakan hubungan spesifik antara kelimpahan mikroba tertentu dengan akumulasi metabolit kunci. Contohnya, hubungan positif antara *Klebsiella* dengan glisitein, *Lactococcus* dengan glisitin, serta *Staphylococcus* dengan isoflavon berupa genistin dan daidzin. Selanjutnya, prediksi jalur fungsional menggunakan alat bioinformatika PICRUST2 dan FunFun mengidentifikasi peningkatan kelimpahan gen yang terkait dengan biosintesis

enzim β -glukosidase. Temuan ini memberikan dasar mekanistik yang kuat bagi peningkatan kadar aglikon isoflavon selama fermentasi tempe (Nurmilah, Frediansyah, et al., 2025).

Pendekatan ini tidak hanya mengoptimalkan proses, tetapi juga menyoroti potensi bahan baku alternatif yang lebih berkelanjutan. Kedelai hitam varietas Mallika yang lebih adaptif terhadap iklim tropis Indonesia menawarkan solusi untuk mengurangi ketergantungan impor. Selain itu, kedelai hitam secara intrinsik menghasilkan genistein dalam kadar yang lebih tinggi dibandingkan varietas kuning, sehingga langsung meningkatkan nilai fungsional produk akhir.

Dengan demikian, pendekatan metabologenomik terbukti tidak hanya sebagai metode yang memanfaatkan instrumentasi canggih untuk mengoptimalkan parameter fermentasi secara terkontrol, tetapi juga berperan sebagai kerangka strategis yang komprehensif. Kerangka ini mendukung pengembangan pangan fungsional berkelanjutan, berbasis bukti ilmiah, dan mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya lokal. Serta memetakan potensi genomik tersembunyi menjadi produk nyata sekaligus memastikan skalabilitas industri melalui validasi di laboratorium yang terintegrasi. Keberhasilan tersebut menegaskan peran mikroba indigenous sebagai aset strategis untuk pengembangan biofarmasetik, nutrasetikal, dan pangan fungsional, sekaligus mengurangi ketergantungan impor. Namun, realisasi nilai tambah maksimal memerlukan sinergi lintas disiplin serta infrastruktur pendukung. Oleh karena itu, bab berikutnya membahas peluang, tantangan, dan strategi implementasi metabologenomik untuk mempercepat komersialisasi teknologi guna mendukung kemandirian nasional yang berkelanjutan.

V. PELUANG, TANTANGAN DAN STRATEGI IMPLEMENTASI METABOLOGENOMIK

Metabologenomik merepresentasikan lompatan paradigma dalam penemuan bahan alam aktif dan pengembangan pangan fungsional. Pendekatan ini mengubah narasi penelitian dari pertanyaan deskriptif menjadi pertanyaan mekanistik, membuka peluang besar untuk mempercepat penemuan bahan alam baru, sekaligus mendekonstruksi basis ilmiah di balik manfaat kesehatan pangan fermentasi tradisional maupun pangan fungsional.

A. Peluang

Revolusi metabologenomik terlihat jelas dalam lintasan perkembangannya. Awalnya diaplikasikan untuk memetakan kompleksitas metabolik mikroba pada usus (Fukuda, 2016; Ishii et al., 2018). Pendekatan ini kemudian dengan cepat membuktikan daya unguhnya. Terobosan terjadi pada tahun 2018 dengan identifikasi bahan alam tyrobetaines dari bakteri *Streptomyces* melalui integrasi penambangan genom, *molecular networking*, dan prediksi komputasi atau *in silico* (Parkinson et al., 2018). Keampuhannya semakin kokoh dengan penemuan microviridin 1777 dari sianobakteri atau ganggang hijau-biru *Microcystis aeruginosa* EAWAG 127a (Sieber et al., 2020), serta pengungkapan kelas bahan alam baru seperti nocathioamides dari bakteri *Nocardia* (Saad et al., 2021) dan berbagai penemuan lainnya pada tahun 2024 (Park et al., 2024).

Dengan demikian, metabologenomik menawarkan solusi terhadap inefisiensi bioprospeksi berbasis bioaktivitas

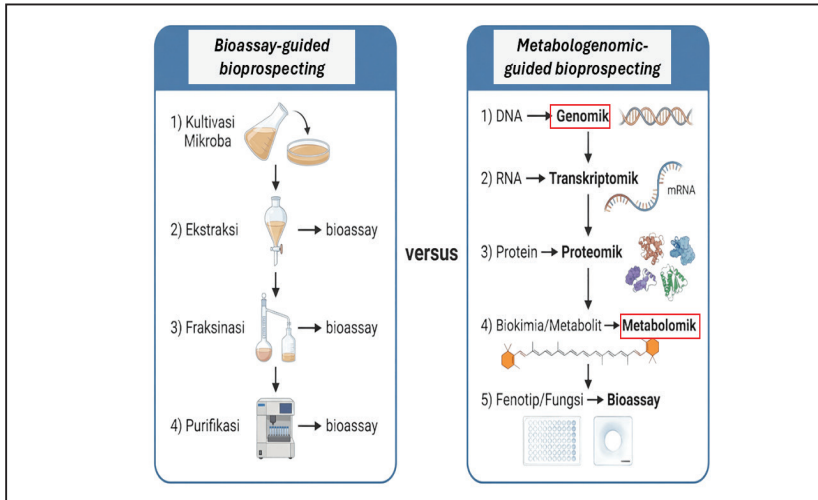
atau *bioactivity-guided bioprospecting*. Berbeda dengan pendekatan konvensional yang mengandalkan uji aktivitas biologis tanpa informasi struktur kimiawi dan rentan terhadap *rediscovery* yaitu penemuan berulang terhadap bahan alam yang telah diketahui sebelumnya, pendekatan ini memungkinkan prediksi berbasis genom yang diikuti verifikasi berbasis data metabolom (Gambar 5.1). Dengan menganalisis BGCs secara *in silico*, potensi bahan alam dapat diprediksi terlebih dahulu, kemudian diverifikasi menggunakan HRMS dan dielusidasi dengan NMR. Proses ini lebih cepat, terarah, dan mampu mengaktifkan kluster gen yang *silent* atau *cryptic*.

B. Tantangan

Meski menawarkan prospek yang signifikan, implementasi metabologenomik tidak terlepas dari sejumlah tantangan, baik yang bersifat teknis maupun strategis. Salah satu kendala utama terletak pada ketergantungan terhadap kualitas data genom. Data sekuensing genom yang kurang optimal, sebagai contoh apabila hanya menggunakan satu platform, berpotensi menghasilkan data atau draf genom yang tidak utuh, sebagaimana yang teramati pada kasus *Klebsiella oxytoca* STA01 yang diisolasi dari tanah pekarangan sagu di Maluku. Jalan keluar untuk persoalan ini adalah *hybrid assembly* atau perakitan hibrid, yakni strategi yang mengombinasikan teknologi sekuensing *long-read* dan *short-read*. Akan tetapi, strategi perakitan hibrid memerlukan tenaga ahli bioinformatika yang mumpuni dalam melakukan perakitan genom serta memerlukan biaya yang lebih besar.

Tantangan lain yang bersifat klasik adalah fenomena *rediscovery*, yaitu isolasi berulang terhadap bahan alam yang telah diketahui sebelumnya (Farha et al., 2025). Pendekatan konvensional sangat rentan terhadap permasalahan

ini. Di tingkat global, tekanan seperti resistensi antimikroba dan ancaman pandemi semakin menegaskan urgensi penemuan bahan alam dengan struktur yang benar-benar baru (Frediansyah et al., 2021, 2022; Dhama et al., 2023; Fahriani et al., 2021; Mamada et al., 2022; Nainu et al., 2020; Mullard, 2026; Rumata et al., 2023).



Sumber: Dokumentasi pribadi.

Gambar 5.1 Perbandingan metode *metabologenomic-guided bioprospecting* dan *bioassay-guided bioprospecting*.

Berpijak pada realitas tersebut, metabologenomik perlu diintegrasikan dengan strategi lain, yaitu: (1) eksplorasi mikroba dari relung ekologis yang belum terjamah (*unexplored niches*), seperti lingkungan ekstrem, guna meningkatkan peluang penemuan keragaman BGCs sehingga dapat menghasilkan bahan alam baru; serta (2) penerapan strategi OSMAC untuk menginduksi ekspresi BGCs yang berbeda pada strain yang sama. Sinergi dari kedua pendekatan inilah yang menjadi

kunci untuk mengungkap potensi bahan alam aktif yang masih tersembunyi.

C. Strategi Implementasi

Untuk merealisasikan peluang sekaligus menjawab tantangan yang telah diuraikan, diperlukan sebuah strategi implementasi yang bersifat konkret, terstruktur, dan terintegrasi. Strategi ini ditempuh melalui dua jalur utama yang saling bersinergi (Gambar 5.2).

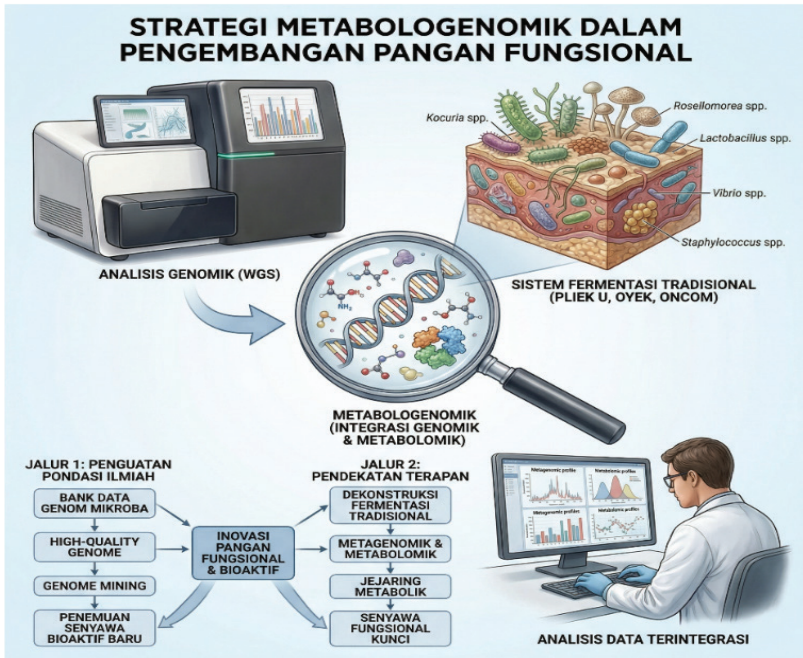
Jalur pertama diarahkan pada penguatan fondasi keilmuan melalui pembangunan bank data genom mikroba unggulan. Kegiatan inti dari jalur ini adalah WGS terhadap koleksi mikroba potensial yang berasal dari berbagai ekspedisi ekologi. Beberapa genera prioritas yang saat ini sedang dalam proses sekuensing dan karakterisasi lanjutan di Laboratorium Genomik BRIN Cibinong mencakup *Bacillus* sp., *Rossellomorea* sp., *Lactobacillus* sp., *Staphylococcus* sp., dan *Vibrio* sp. Tujuan strategis jalur ini bersifat ganda: memperoleh genom berkualitas tinggi sebagai prasyarat analisis penambangan genom dan prediksi BGCs, serta membangun kompetensi sumber daya manusia melalui kolaborasi dengan berbagai universitas seperti Universitas Jenderal Soedirman, Universitas Gadjah Mada (UGM), dan Universitas Tübingen, Jerman.

Jalur kedua berorientasi pada aspek terapan dan kontekstual, dengan penekanan pada penerapan metabologenomik pada ekosistem mikroba kompleks dalam pangan fermentasi tradisional. Saat ini, tiga sistem fermentasi unik tengah menjadi model kajian, yaitu: pliek U dari Aceh melalui kolaborasi program magister dengan Universitas Syiah Kuala; oyek dari Jawa Tengah dalam program doktoral bersama UGM; serta oncom dari Jawa Barat yang menjadi subjek penelitian

kolaboratif multi-level bersama UGM, Universitas Hasanuddin, dan Universitas Padjadjaran. Pendekatan ini memungkinkan pemetaan interaksi mikroba dan kandidat bahan alam aktif secara sistematis, sehingga membuka peluang bagi standardisasi proses, peningkatan nilai gizi, serta penemuan bahan alam fungsional baru yang bersumber dari warisan kuliner Nusantara.

Pendekatan metabologenomik dapat diterapkan dengan penekanan berbeda pada masing-masing jalur. Jalur 1 mengintegrasikan data WGS dengan profil metabolomik untuk menyingkap BGCs *cryptic* dari koleksi mikroba murni bagi penemuan bahan alam aktif baru. Jalur 2 berfokus pada ekosistem pangan fermentasi tradisional dengan mengintegrasikan metagenomik dan metabolomik guna mengungkap jejaring metabolik serta menciptakan kultur starter baru, baik tunggal maupun konsorsium, untuk standardisasi produk dan pengembangan pangan fungsional.

Kedua jalur ini membentuk siklus yang saling memperkuat. Data genom dari Jalur 1 memperkaya interpretasi data kompleks dari Jalur 2, sementara temuan bahan alam fungsional dari pangan tradisional dapat ditelusuri hingga ke mikroba produsennya. Strategi ini tidak hanya menjawab kebutuhan saintifik, tetapi juga berkontribusi pada pelestarian berbasis bukti serta pengembangan ilmu dari warisan kuliner Indonesia, sekaligus membuka jalan bagi inovasi pangan fungsional yang autentik dan berdaya saing.



Sumber: Dokumentasi pribadi.

Gambar 5.2 Strategi metabologenomik dalam penemuan dan produksi bahan alam dan pengembangan pangan fungsional.

VI. KESIMPULAN

Keanekaragaman hayati mikroba Indonesia merupakan aset strategis yang belum tergali optimal. Mikroba indigenous dari ekosistem unik, seperti Danau Kakaban, dan fermentasi tradisional menyimpan potensi biosintetik besar, termasuk BGCs *cryptic* yang belum teraktivasi. Namun, dikotomi antara fermentasi spontan tradisional yang inkonsisten dan bioteknologi modern yang mengabaikan mikroba lokal menghambat pemanfaatan potensi ini bagi kemandirian kesehatan dan pangan.

Sebagai solusi, pendekatan metabologenomik dalam fermentasi terkontrol hadir sebagai lompatan paradigma dengan mengonvergensi data genomik dan metabolomik. Pendekatan ini memungkinkan aktivasi BGCs *cryptic* melalui strategi OSMAC, menghasilkan bahan alam aktif baru seperti massiliamide, trinickiabactin, dan terpenibactins, serta meningkatkan produksi bahan alam yang telah dikenal, seperti violacein, deoxyviolacein, karotenoid, dan ektoin. Secara simultan, pendekatan ini mentransformasi fermentasi tradisional, seperti tempe, menjadi proses terkontrol yang terstandarisasi dengan profil metabolit fungsional yang lebih unggul.

Dengan demikian, pendekatan metabologenomik menjembatani kearifan lokal dan inovasi industri, sekaligus mendukung pengembangan dua pilar produk bernilai tambah: bahan alam aktif murni untuk farmasetikal dan nutrasetikal, serta pangan fungsional berbasis bukti dan pangan fermentasi tradisional yang terstandarisasi, sebagai fondasi kokoh bagi kemandirian dan daya saing bangsa.

VII. PENUTUP

Indonesia sebagai negara megabiodiversitas memiliki tanggung jawab dan peluang besar membangun kemandirian nasional melalui pemanfaatan kekayaan mikroba secara cerdas dan berkelanjutan. Bioprospeksi mikroba indigenous merupakan strategi nasional untuk mendorong ekonomi bioteknologi yang berdaya saing global. Visi ini menuntut transformasi dari praktik tradisional menuju industri terstandarisasi, terukur, dan berkelanjutan.

Pendekatan metabologenomik dalam fermentasi terkontrol menempati posisi sentral dalam transformasi tersebut. Pendekatan ini memadukan penghormatan pada keanekaragaman hayati dengan teknologi tanpa rekayasa genetika. Melalui integrasi data genomik dan metabolomik, pendekatan ini memungkinkan pengungkapan potensi metabolik mikroba, optimasi proses produksi, dan jaminan kualitas produk akhir, baik untuk bahan alam aktif murni maupun pangan fungsional. Pendekatan ini juga berfungsi sebagai alat saintifikasi yang mengangkat kearifan lokal fermentasi tradisional, seperti tempe, oncom, tauco, dan tape, menjadi produk industri modern berbasis bukti ilmiah, tanpa mengorbankan keaslian dan keberlanjutan ekologis.

Namun, diperlukan komitmen nasional yang konkret dan berkesinambungan dalam bentuk kebijakan serta investasi strategis terintegrasi. Pertama, penguatan infrastruktur riset merata di seluruh Indonesia, termasuk akses terhadap teknologi sekuensing terkini dan platform metabolomik resolusi tinggi. Kedua, pembangunan kapasitas sumber daya manusia unggul lintas disiplin serta penguatan kolaborasi antar universitas,

lembaga riset, dan industri. Ketiga, pembangunan bank data genom mikroba Indonesia yang terpusat dan mudah diakses, dengan prinsip *open science* atau sains terbuka. Keempat, penyusunan regulasi yang mendukung hilirisasi inovasi, melindungi kekayaan intelektual dan sumber daya genetik, serta memberikan insentif investasi.

Dengan fondasi ini, pendekatan metabologenomik akan menjadi penggerak utama (*engine of growth*) bioekonomi Indonesia. Pendekatan ini berpotensi melahirkan industri bernilai tambah tinggi, menciptakan lapangan kerja berkualitas, mengurangi ketergantungan impor, serta meningkatkan ketahanan dan kedaulatan nasional. Pada skala global, Indonesia akan menjadi salah satu pemain utama dan inovator dalam bioteknologi dunia, khususnya pangan fungsional berbasis biodiversitas lokal. Masa depan kemandirian pangan dan kesehatan Indonesia dimulai dari langkah strategis hari ini: komitmen memahami, melestarikan, dan mendayagunakan setiap mikroba sebagai anugerah bumi pertiwi, demi kesejahteraan bangsa yang berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang tulus kepada Presiden Bapak Prabowo Subianto, Presiden Republik Indonesia yang ketujuh, Bapak Joko Widodo; Kepala BRIN Prof. Dr. Arif Satria, S.P., M.Si., Wakil Kepala BRIN Prof. Dr. Amarulla Octavian, serta Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset BRIN, Prof. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, M.Sc.E., Ph.D.; Sekretaris Pengukuhan Profesor Riset BRIN, Prof. Dr. Ir. Zainal Arifin, M. Sc. Para penelaah naskah orasi ilmiah : Prof. Dr. Ocky Karna Radjasa, M.Sc., Ph.D., Prof. Dr. Ir. Dwi Eny Djoko Setyono, M. Sc., dan Prof. Dr. Endah Retnaningrum, S.Si., M.Eng., Sekretaris Utama BRIN Ibu Nur Tri Aries Suestiningtyas, Kepala ORPP Puji Lestari, Ph.D., Kepala Biro Organisasi dan Sumber Daya Manusia Ratih Retno Wulandari, dan Kepala Pusat Riset Teknologi dan Proses Pangan Satriyo Krido Wahono, Ph.D. telah memberikan dukungan luar biasa.

Terima kasih kepada Kepala BRIN 2021-2025 Dr. Laksana Tri Handoko, Ketua Kelompok Riset Dr. Ema Damayanti serta kolega pembimbing: S1: Prof. Dra. A. Endang Sutariningsih Soetarto, M.Sc., Ph.D. (Alm.) dan Prof. Dr. I Made Suidiana; S2: Panida Navasumrit, Ph.D.; S3: Prof. Dr. Harald Gross & PD Dr. Bertolt Gust; kolaborator internasional dan nasional antara lain Dr. Sandra Loesgen, Dr. Eka Sunarwidhi, Ph.D., Dr. Anggit L. Sunarwidhi, Prof. Dr. Atit Kanti, Prof. Dr. Ekowati Chasanah, Prof. Dr. rer. nat. Andhika Puspito Nugroho, Dr. rer. nat. Abdul Rahman Siregar, Dr. Tri Rini Nuringtyas, Dr. Ali Budi Kusuma, Dr. Fajar Sofyantoro, Dr. Firzan Nainu, Dr. Harapan, Sdr. Fahrul Nurkolis, Dr. Ali Rabaan, Dr. Lucia Dhiantika Sari, Dr. Ajeng Kusumaningtyas Pramono, Prof.

Dr. Maria Dyah Nur Meinita, Dr. rer. nat. Riyanti, Prof. Budi Setiadi Daryono, Prof. Eko Agus S., Dr. Anjar Twi Wibowo, Dr. Arif Luqman, Dr. rer. nat. Saefuddin Aziz, Dr. Gemilang Lara Utama, Prof. Irfan Prijambada, Dr. Muhammad Saifur, Prof. Dr. Suhartono, Dr. Dinar Mindrati Fardhani, Dr. Hartiwi, serta tim Pusat Kolaborasi Riset Fermentasi Tradisional: Dr. R. Haryo B. Setiarto, Dr. Ahmad Fathoni, Dr. Dandy Yusuf, Dr. Fera R. Dewi, Dr. Sulistiani, Dr. Muhammad Z. Zaman, Prof. Dr. Danar Praseptiangga, Dr. Choiroel Anam, Dr. Dimas R. A. Muhammad, Prof. Dr. Abdul Rohman, Dr. Bara Yudhistira, Prof. Dr. Dalia Sukmawati.

Keluarga tercinta: istri Winda Adipuri Ramadaningrum, M. Sc.; ayah (Alm.) Aiptu Amyah; ibu (Alm.) Tri Wahyuning Astuti; adik Linda Puspitasari, S.E.I.; mertua Hadwi Prihatanta, M. Sc. & Her Lestari, S.Pd.; adik ipar Briptu Yosi, dr. Pritha, dr. Jaya; serta bude Cici, bude Emi, Pakde Agus, Bulek Ana, Om Dul, Om Goh dan istri, Mang Maman, Bik Neneng, Bude Titin, Om Salamun, Mang Edy, Bik Yuli, Tuti, Bude Titin, Arsy, Ilal, dan keluarga besar lainnya.

Tak lupa panitia pelaksana pengukuhan (Bu Yuli, Bu Uchi, Bu Putri, dll.), teman masa kecil hingga kuliah (Bram, Sigit, Satrio, Budi, Yolanda, Yusfi, Sefi, Senlie, Tino, Dika, Arya, Yoski, dll.), rekan Tübingen (Kunio, Bahran, Ojik, Awik, Jejen, Karlina, Aziz, dll.), Tim Kelris Probiotik dan Bioproses Pangan PRTTP BRIN (Pak Anto, Dr. Vika, Dr. Mahara, Pak Nico, Dr. Rofiq, Bu Vita, Bu Dyah, Bu Lusty) , kolega kerja, para mahasiswa, postdoc, serta RA saya (Ami, Dhea, Salfa, Nufus, Fida, Ika, Afif, Roi, Siti, Nunung, Angga, Aldi, Dara, Salsa, Dedy, Jasmadi, dll.), serta para guru dari TK hingga SMA. Dukungan semua pihak telah menjadikan penelitian ini bermakna dan berdampak.

DAFTAR PUSTAKA

- Agolino, G., Cristofolini, M., Vaccalluzzo, A., Tagliazucchi, D., Cattivelli, A., Pino, A., Caggia, C., Solieri, L., & Randazzo, C. L. (2025). Genome mining and characterization of two novel *Lacticaseibacillus rhamnosus* probiotic candidates with bile salt hydrolase activity. *Biomolecules*, 15(1), 86. <https://doi.org/10.3390/biom15010086>
- Amaral, E. de P., Entringer, T. L., Veloso, T. G. R., da Luz, J. M. R., Pimenta, L. H. B., Moreli, A. P., Pereira, L. L., & da Silva, M. de C. S. (2026). Microbial dynamics and impact of controlled fermentation in *Coffea arabica* over 288 h. *Food Bioscience*, 75, 108081. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.108081>
- Andrade-Espinoza, B. A., Arratia-Quijada, J., Nuño, K., Ruíz-Santoyo, V., & Contreras, L. F. (2025). Metabolomics in food fermentation and designing functional foods. In *Microbial Metabolomics* (pp. 235–247). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-4824-5_11
- Anshory, L., Setiarto, R., Andrianto, D., & **Frediansyah, A.** (2026). Microbiological dimensions symbiotic culture of bacteria and yeast (SCOBY) and functional properties of kombucha tea fermented drink. *Review in Agricultural Sciences*, 14(1), 68–91. https://doi.org/10.7831/ras.14.1_68
- Ariantari, N. P., Putra, I. P. Y. A., Wiprayoga, I. P. P., **Frediansyah, A.**, Putri, N. W. P. S., Suari, A. A. I. P., ... & Pharmawati, M. (2026). Draft genome sequence of endophytic fungus *Fusarium proliferatum* ZO-L2-4 and analysis of its secondary metabolite biosynthetic potential. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 16(4), 275–287. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2026.234783>

- Anwar, M., Damayanti, E., Sofyan, A., **Frediansyah, A.**, & Romadhoni, F. (2021). *Metode untuk memproduksi kitosan dengan media tumbuh jamur* (Patent No. IDP000074797). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
- Basuki, W., Sunaryanto, R., **Frediansyah, A.**, Layly, I. R., Yusnitati, Giarni, R., & Shodiq, A. W. (2023). Isolation and characterization of *Thraustochytrium* Trk-23 producing docosahexaenoic acid from North Kalimantan, Indonesia. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 26(11), 567–575. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2023.567.575>
- Biofin. (2025). *Indonesia*. BIOFIN: The Biodiversity Finance Initiative. <https://www.biofin.org/indonesia>
- Bode, H. B., Bethe, B., Höfs, R., & Zeeck, A. (2002). Big effects from small changes: Possible ways to explore nature's chemical diversity. *ChemBioChem*, 3(7), 619–627. [https://doi.org/10.1002/1439-7633\(20020703\)3:7<619::AID-CBIC619>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/1439-7633(20020703)3:7<619::AID-CBIC619>3.0.CO;2-9)
- Boer, R., Dewi, R. G., Siagian, U. W. R., Ardiansyah, M., Sunkar, A., & Ratnasari, B. (2021). *Indonesia: Third Biennial Update Report* (No. 1). Minister of Environment and Forestry.
- Buchmann, A., Eitel, M., Koch, P., Schwarz, P. N., Stegmann, E., Wohlleben, W., Wolański, M., Krawiec, M., Zakrzewska-Czerwińska, J., Méndez, C., Botas, A., Núñez, L. E., Morís, F., Cortés, J., & Gross, H. (2016). High-quality draft genome sequence of the actinobacterium *Nocardia terpenica* IFM 0406, producer of the immunosuppressant brasilicardins, using illumina and PacBio technologies. *Genome Announcements*, 4(6), e01391-16. <https://doi.org/10.1128/genomeA.01391-16>
- Chen, J., **Frediansyah, A.**, Männle, D., Straetener, J., Brötz-Oesterhelt, H., Ziemert, N., Kaysser, L., & Gross, H. (2020). New nocobactin derivatives with antimuscarinic activity, terpenibactins A–C, revealed by genome mining of *Nocardia terpenica* IFM 0406.

ChemBioChem, 21(15), 2205–2213. <https://doi.org/10.1002/cbic.202000062>

- Chiang, Y.-M., Chang, S.-L., Oakley, B. R., & Wang, C. C. C. (2011). Recent advances in awakening silent biosynthetic gene clusters and linking orphan clusters to natural products in microorganisms. *Current Opinion in Chemical Biology*, 15(1), 137–143. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.10.011>
- Cimermancic, P., Medema, M. H., Claesen, J., Kurita, K., Wieland Brown, L. C., Mavrommatis, K., Pati, A., Godfrey, P. A., Koehrsen, M., Clardy, J., Birren, B. W., Takano, E., Sali, A., Linington, R. G., & Fischbach, M. A. (2014). Insights into secondary metabolism from a global analysis of prokaryotic biosynthetic gene clusters. *Cell*, 158(2), 412–421. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.06.034>
- Dhama, K., Nainu, F., **Frediansyah, A.**, Yattoo, M. I., Mohapatra, R. K., Chakraborty, S., Zhou, H., Islam, M. R., Mamada, S. S., Kusuma, H. I., Rabaan, A. A., Alhumaid, S., Mutair, A. Al, Iqhrammullah, M., Al-Tawfiq, J. A., Mohaini, M. Al, Alsalman, A. J., Tuli, H. S., Chakraborty, C., & Harapan, H. (2023). Global emerging Omicron variant of SARS-CoV-2: Impacts, challenges and strategies. *Journal of Infection and Public Health*, 16(1), 4–14. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2022.11.024>
- Fahriani, M., Ilmawan, M., Fajar, J. K., Maliga, H. A., **Frediansyah, A.**, Masyeni, S., Yusuf, H., Nainu, F., Rosiello, F., Sirinam, S., Keam, S., & Ophinni, Y. (2021). Persistence of long COVID symptoms in COVID-19 survivors worldwide and its potential pathogenesis—A systematic review and meta-analysis. *Narra J*, 1(2). <https://doi.org/10.52225/narra.v1i2.36>
- Fitrianto, N., Nufus, H., **Frediansyah, A.**, Aziz, S. A. A., Damayanti, E., Fauzan, I. A., Rosyida, V. T., Safitri, I. O., Suryani, R., Sunaryanto, R., Wibowo, N. A., & Palindung, L. S. (2025). Free radical scavenging and antimicrobial activities of lactic acid bacteria isolated from Indonesian traditional fermented soy food against food-borne pathogens. *IOP Conference Series:*

Earth and Environmental Science, 1476(1), 012052. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1476/1/012052>

FMI. (2025). *Bioactive ingredient market growth – Functional nutrition & industry trends 2025 to 2035*. Future Market Insights. <https://www.futuremarketinsights.com/reports/bioactive-ingredient-market>

Frediansyah, A. (2012). Studi komparatif anggota *Aspergillus* kelompok *Flavi* pada bioproses kecap kedelai. In I. Ratnaningtyas, A. Mumpuni, U. Dwiputranto, N. Ekowati, J. Safitri, Gratiana, A. Nuryanto, R. S. Dewi, & U. Susilo (Eds.), *Seminar Nasional Mikologi: Biodiversitas dan Bioteknologi Sumberdaya Hayati Fungi*. Universitas Jendral Soedirman.

Frediansyah, A. (2014). Infant botulism effect of *Clostridium* and the involvement of sudden infant death syndrome (SIDS): Review. *European Academic Research*, 1(10), 3248–3257.

Frediansyah, A. (2018). Microbial fermentation as means of improving cassava production in Indonesia. In *Cassava*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71966>

Frediansyah, A. (2020). Food fermentation: From traditional to scientific communities. In M. Mahendradatta, W. P. Rahayu, U. Santoso, G. Giyatmi, A. Ardiansyah, D. L. N. Fibri, F. Kusnandar, & Y. Witono (Eds.), *Current issues of food in Indonesia* (1st ed., Vol. 1, pp. 97–99). Interlude.

Frediansyah, A. (2021). The antiviral activity of iota-, kappa-, and lambda-carrageenan against COVID-19: A critical review. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 12, 100826. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2021.100826>

Frediansyah, A. (2021). The microbiome of cassava (*Manihot esculenta*). In *Cassava - Biology, production, and use*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97818>

- Fredihsnyah, A.** (2024). Growth in traditional fermented soybeans-related research (tempeh, natto, doenjang, chungkookjang, douchi, meju, kinema, oncom, and tauco) from 1928 to 2024, following the omics emergence and trend in functional food. *Process Biochemistry*, 147, 600–624. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2024.11.008>
- Fredihsnyah, A.** (2025). *Bir jawa*: History, gastrodiplomacy, and health benefits of a Javanese non-alcoholic beverage. *Journal of Ethnic Foods*, 12(38). <https://doi.org/10.1186/s42779-025-00300-7>
- Fredihsnyah, A., & Aziz, S. A. A.** (2024). Phytochemical properties of *Medinilla speciosa* leaf extract and its antibacterial activity against *Burkholderia* sp. *AIP Conference Proceedings*, 2957(1). <https://doi.org/10.1063/5.0183974>
- Fredihsnyah, A., Aziz, S., Ramadaningrum, W. A., & Sunarwidhi, A. A. L.** (2021). Mass spectrometry analysis revealed the production of siderophore from *Klebsiella oxytoca* strain STA01 isolated from sago palm field in Tulehu, Maluku, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 712(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/712/1/012011>
- Fredihsnyah, A., Azzahra, F. L., & Fitrianto, N.** (2023). Antioxidant properties of *Syzygium polycephalum* leaf extract and its antibacterial activity against *Serratia marcescens* and *Burkholderia* sp. *AIP Conference Proceedings*, 2972(1). <https://doi.org/10.1063/5.0182735>
- Fredihsnyah, A., & Fitriany, D. S.** (2025). *Halobacillus* as source of natural products and enzyme factories. *Extremophiles*, 29(3), 34. <https://doi.org/10.1007/s00792-025-01400-7>
- Fredihsnyah, A., Kurniadi, M., Helmi, R. L., Nurhikmat, A., & Susanto, A.** (2018). *Formula starter mengandung Lactobacillus plantarum untuk pembuatan mokaf dan proses pembuatannya*

(Patent No. IDP000053695). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

- Frediansyah, A.,** Kurniadi, M., Putri, N. N. N., & Prasedya, E. S. (2019). The kinetics of enzymes that involved in cassava fermentation produce by co-culture starter of two lactic acid bacteria. *AIP Conference Proceedings*, 2194(1). <https://doi.org/10.1063/1.5141280>
- Frediansyah, A.,** Kurniadi, M., Susanto, A., Restuti, A., & Angwar, M. (2018). *Kecap organik dan proses pembuatannya* (Patent No. P00201810175). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
- Frediansyah, A.,** & Kurniadi, M. (2016). Comparative influence of salinity and temperature on cassava flour product by *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus acidophilus* during single culture fermentation. *Nusantara Bioscience*, 8(2), 207–214. <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n080212>
- Frediansyah, A.,** & Kurniadi, M. (2017). Michaelis kinetic analysis of extracellular cellulase and amylase excreted by *Lactobacillus plantarum* during cassava fermentation. *AIP Conference Proceedings*, 1868(1). <https://doi.org/10.1063/1.4968364>
- Frediansyah, A.,** Nurhayati, R., & Romadhoni, F. (2017). Enhancement of antioxidant activity, α -glucosidase and α -amylase inhibitory activities by spontaneous and bacterial monoculture fermentation of Indonesian black grape juices. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1803, Article 020036). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.4973149>
- Frediansyah, A.,** Manuhara, Y. S. W., Kristanti, A. N., Luqman, A., & Wibowo, A. T. (2022). Fermentation in minimal media and fungal elicitation enhance violacein and deoxyviolacein production in two *Janthinobacterium* strains. *Fermentation*, 8(12), 714. <https://doi.org/10.3390/fermentation8120714>
- Frediansyah, A.,** Miess, H., Cleenwerck, I., & Gross, H. (2023). Genome sequences of the two *Telluria* type strains, *Telluria*

chitinolytica ACM 3522^T and *Telluria mixta* DSM 29330^T.
Microbiology Resource Announcements, 12(7), e00215-23.
<https://doi.org/10.1128/mra.00215-23>

- Frediensyah, A.,** Miftakhussolikhah, Kurniadi, M., Susanto, A., & Poelongasih, C. D. (2014). Determinasi kandungan folat tepung tempe kedelai varietas Baluran pada berbagai variasi proses. In M. Yudiarti, E. Soekarti, S. Muslimatun, Purwanto, M. Ariani, Hardinayah, Y. Egayanti, & L. B. Kardono (Eds.), *Widyakarya Nasional Pangan dan Gizi X*. LIPI Press.
- Frediensyah, A.,** Nainu, F., Dhama, K., Mudatsir, M., & Harapan, H. (2021). Remdesivir and its antiviral activity against COVID-19: A systematic review. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 9, 123–127. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2020.07.011>
- Frediensyah, A.,** Nufus, H., Nugroho, I. B., & Gross, H. (2026). Complete genome sequence of *Halobacillus* sp. strain 12SKB, a carotenoid-producing bacterium isolated from Kakaban Lake, an anchialine lagoon within a raised atoll in East Kalimantan, Indonesia. *Microbiology Resource Announcements*. e01139-25. <https://doi.org/10.1128/mra.01139-25>
- Frediensyah, A.,** Aziz, S.A.A., Diastuti H., Azzahra F.L., Setiarto, H.B. (2026). Comparative mono- and co-culture fermentation of Parijoto (*Medinilla speciosa* Blume) juice: strain-specific metabolomic signatures and functional profiles of an underutilized Indonesian fruit. *Food Bioscience*. 109043. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2026.109043>
- Frediensyah, A.,** Nufus, H., Pramono, A. K., Siregar, A. R., & Gross, H. (2026). Whole-genome sequence of *Kocuria rhizophila* 01AKB, an endophyte from the green macroalga *Halimeda* sp. in Kakaban Lake, Borneo, Indonesia. *Microbiology Resource Announcements*. <https://doi.org/10.1128/mra.00284-26>
- Frediensyah, A.,** Romadhoni, F., Suryani, Nurhayati, R., & Wibowo, A. T. (2021). Fermentation of Jamaican cherries

juice using *Lactobacillus plantarum* elevates antioxidant potential and inhibitory activity against type II diabetes-related enzymes. *Molecules*, 26(10), 2868. <https://doi.org/10.3390/molecules26102868>

Frediansyah, A., Sallam, M., Sallam, M., Sallam, M., Yufika, A., Sharun, K., Iqhrammullah, M., Chandran, D., Mamada, S. S., Sallam, D. E., Khader, Y., Lemu, Y. K., Yusuf, F., Kretchy, J. P., Abdeen, Z., Torres-Roman, J. S., Acharya, Y., Bondarenko, A., Ikram, A., ... Harapan, H. (2022). Acute severe hepatitis of unknown etiology in children: A mini review. *Narra J*, 2(2), e83. <https://doi.org/10.52225/narra.v2i2.83>

Frediansyah, A., Sofyantoro, F., Alhumaid, S., Al Mutair, A., Albayat, H., Altaweil, H. I., Al-Afghani, H. M., AlRamadhan, A. A., AlGhazal, M. R., Turkistani, S. A., Abuzaid, A. A., & Rabaan, A. A. (2022). Microbial natural products with antiviral activities, including anti-SARS-CoV-2: A review. *Molecules*, 27(13), 4305. <https://doi.org/10.3390/molecules27134305>

Frediansyah, A., Straetener, J., Brötz-Oesterhelt, H., & Gross, H. (2021). Massiliamide, a cyclic tetrapeptide with potent tyrosinase inhibitory properties from the gram-negative bacterium *Massilia albidiflava* DSM 17472^{^T^}. *The Journal of Antibiotics*, 74(4), 269–272. <https://doi.org/10.1038/s41429-020-00394-y>

Frediansyah, A., & Sudiana, I. M. (2013). The potential of *Paenibacillus* spp. as a plant growth promoter in tropical peat ecosystems. *Widyariset*, 16(2). https://www.researchgate.net/profile/Andri_Frediansyah/publication/259849308_The_Potential_of_Paenibacillus_spp_as_Plant_Growth_Promoter_in_Tropical_Peat_Ecosystem/links/58aaa7e7a6fdcc0e07983e92/The-Potential-of-Paenibacillus-spp-as-Plant-Growth-Promoter-in-Tropical-Peat-Ecosystem.pdf

Frediansyah, A., Suryani, Nurhayati, R., Miftakhussolikah, & Sholihah, J. (2019). *Lactobacillus pentosus* isolated from *Muntingia calabura* shows inhibition activity toward alpha-

glucosidase and alpha-amylase in intra and extracellular level. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 251(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/251/1/012003>

Frediansyah, A., Tiwari, R., Sharun, K., Dhama, K., & Harapan, H. (2021). Antivirals for COVID-19: A critical review. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 9, 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2020.07.011>

Gumulya, Y., Peng, H., Ebert, B. E., Johnson, H., van der Pols, J. C., Bansal, N., Marcellin, E., & Turner, M. S. (2025). Advancing Australia's food future: Opportunities and challenges in precision fermentation. *Future Foods*, 11(100630), 100630. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100630>

Guo, Q., Chen, P., & Chen, X. (2023). Bioactive peptides derived from fermented foods: Preparation and biological activities. *Journal of Functional Foods*, 101(105422), 105422. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105422>

Hadinata, E., Harbuwono, D. S., Soegondo, S., Prajitno, J. H., Mudjanarko, S. W., Taslim, N. A., Hasyiyati, E. Y., **Frediansyah, A.**, Surya, R., Cahyono, M. B. A., & Santini, A. (2025). Marine nutraceuticals as a source of SIRT1 and NRF2 activators for diabetes and aging-related metabolic disorders. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 17(1), 1–31. <https://doi.org/10.1186/s13098-025-01981-5>

Hussain, M. H., Mohsin, M. Z., Zaman, W. Q., Yu, J., Zhao, X., Wei, Y., Zhuang, Y., Mohsin, A., & Guo, M. (2022). Multiscale engineering of microbial cell factories: A step forward towards sustainable natural products industry. *Synthetic and Systems Biotechnology*, 7(1), 586–601. <https://doi.org/10.1016/j.synbio.2021.12.012>

Ikhsanudin, A., Habibie, A., Pratiwi, S. U. T., Pujianto, D. A., **Frediansyah, A.**, & Retnaningrum, E. (2025). Metabolite profiling and anti-multidrug-resistant activity of *Streptomyces anulatus* ACSAN21-05 isolated from Indonesian mangrove

rhizosphere. *Trends in Sciences*, 22(11), 10533. <https://doi.org/10.48048/tis.2025.10533>

- INDEF. (2025). *Ketahanan pangan dan energi Indonesia di tengah perang tarif*. Institute for Development of Economics and Finance, Center of Food, Energy and Sustainable Development.
- Jiao, J., Du, J., **Frediansyah, A.**, Jahanshah, G., & Gross, H. (2020). Structure elucidation and biosynthetic locus of trinickiabactin from the plant pathogenic bacterium *Trinickia caryophylli*. *The Journal of Antibiotics*, 73(1), 28–34. <https://doi.org/10.1038/s41429-019-0246-0>
- Kawamoto, M., Jouraku, A., Toyoda, A., Yokoi, K., Minakuchi, Y., Katsuma, S., Fujiyama, A., Kiuchi, T., Yamamoto, K., & Shimada, T. (2019). High-quality genome assembly of the silkworm, *Bombyx mori*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 107, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2019.02.002>
- Kim, G. B., Kim, H. R., & Lee, S. Y. (2025). Comprehensive evaluation of the capacities of microbial cell factories. *Nature Communications*, 16(1), 2869. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-58227-1>
- Künili, İ. E., Akdeniz, V., Akpınar, A., Budak, Ş. Ö., Curiel, J. A., Guzel, M., Karagözlü, C., Berkel Kasikci, M., Caruana, G. P. M., Starowicz, M., Humblot, C., Keyvan, E., Chassard, C., Pracer, S., Vergères, G., & Kesenkaş, H. (2025). Bioactive compounds in fermented foods: A systematic narrative review. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1625816. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1625816>
- Kurniadi, M., Afuw, H. A., Sari, A. M., Wiyono, T., Nurhayati, R., & **Frediansyah, A.** (2021). Effect of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation on the quality of Samurai 2, a mutant sorghum flour. *International Food Research Journal*, 28(3), 603–611. <https://doi.org/10.47836/ifrj.28.3.20>

- Marcellin, E., Bansal, N., Ebert, B., Gumulya, Y., Johnson, H., Peng, H., Turner, M., & Van Der Pols, J. (2024). *Precision fermentation: A future of food in Australia, white paper*. Innovative Ingredients Program, Australia's Food and Beverage Accelerator (FaBA).
- Mamada, S. S., Nainu, F., Masyita, A., **Frediansyah, A.**, Utami, R. N., Salampe, M., Emran, T. Bin, Lima, C. M. G., Chopra, H., & Simal-Gandara, J. (2022). Marine macrolides to tackle antimicrobial resistance of *Mycobacterium tuberculosis*. *Marine Drugs*, 20(11), 691. <https://doi.org/10.3390/md20110691>
- Miess, H., **Frediansyah, A.**, Göker, M., & Gross, H. (2020). Draft genome sequences of six type strains of the genus *Massilia*. *Microbiology Resource Announcements*, 9(18), e00226-20. <https://doi.org/10.1128/mra.00226-20>
- Miller, A. L., Renye, J. A., Jr, Oest, A. M., Liang, C., Garcia, R. A., Plumier, B. M., & Tomasula, P. M. (2024). Bacteriocin production by lactic acid bacteria using ice cream co-product as the fermentation substrate. *Journal of Dairy Science*, 107(6), 3468–3477. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24249>
- Mudondo, J., Happy, K., Gang, R., Ban, Y., & Kang, Y. (2025). From nature to nutrition: Exploring the synergistic benefits of functional foods and herbal medicines for holistic health. *Applied Biological Chemistry*, 68(1). <https://doi.org/10.1186/s13765-025-00985-z>
- Nainu, F., Abidin, R. S., Bahar, M. A., **Frediansyah, A.**, Emran, T. B., Rabaan, A. A., Dhama, K., & Harapan, H. (2020). SARS-CoV-2 reinfection and implications for vaccine development. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, 16(12), 3061–3073. <https://doi.org/10.1080/21645515.2020.1830683>
- Ndraha, N., Damayanti, E., **Frediansyah, A.**, Ndraha, V., & Aditya, S. (2026). Enhancing microbial food safety in Indonesia's artisanal cheese sector: A strategic framework for consumer protection. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s00003-025-01592-2>

- NSF. (2024, April 24). *Corrections: Seven degrees from one trillion species of microbes*. U.S. National Science Foundation. <https://www.nsf.gov/news/seven-degrees-one-trillion-species-microbes>
- Nurhayati, R., **Frediansyah, A.**, Rahmawati, F., & Retnaningrum, E. (2015, October 30–31). *Screening of α -glucosidase inhibitor-producing lactic acid bacteria from Ganoderma lucidum as functional food candidate for diabetic* [Paper presentation]. 1st International Conference on Appropriate Technology Development (ICATDEV), Bandung, Indonesia.
- Nurhayati, R., Miftakhussolikah, **Frediansyah, A.**, & Rachmah, D. L. (2017). Lactic acid bacteria producing inhibitor of alpha glucosidase isolated from ganyong (*Canna edulis*) and kimpul (*Xanthosoma sagittifolium*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 101(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/101/1/012009>
- Nurkolis, F., Nishani, F., Daliu, P., Aziziy, Y. N., Aziz, S. A. A., Simanjuntak, A. M. T., Nufus, H., Prasedya, E. S., Santini, A., & **Frediansyah, A.** (2025). *Sargassum polycystum* as natural source of antioxidant and antidiabetic compounds: A solvent-driven metabolomic profiling study. *Journal of Agriculture and Food Research*, 102549. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102549>
- Nurkolis, F., Aldian, F. M., Alfaray, R. I., Johan, A. R. D., **Frediansyah, A.**, Permatasari, H. K., Taslim, N. A., Tjandrawinata, R. R., Mustika, A., Kim, B., & Santini, A. (2025). Integrative pharmacoinformatic and experimental validation of Indonesian red algae as novel functional food for anti-gastric cancer agents. *Molecular Nutrition & Food Research*, 69(23), e70282. <https://doi.org/10.1002/mnfr.70282>
- Nurmilah, S., **Frediansyah, A.**, Cahyana, Y., & Utama, G. L. (2024). Biotransformation and health potential of isoflavones by microorganisms in Indonesian traditional fermented soy products: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101365. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101365>

- Nurmilah, S., **Frediansyah, A.**, Cahyana, Y., Balia, R. L., Andriana, B. B., & Utama, G. L. (2025). Exploring microbial dynamics and metabolomic profiling of isoflavone transformation in black and yellow soybean tempe for sustainable functional foods. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, *11*, 100279. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2025.100279>
- Pal, G. (2025). Mitigating the effects of climate change on indigenous fermented foods: Strategies for the future. In *Disaster resilience and green growth* (pp. 79–102). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-9286-6_4
- Prihanto, A. A., Umam, N. I., & Bangun, J. D. G. (2024). Unveiling the secrets of Indonesian fermented fish: Characteristics of lactic acid bacteria, roles, and potential in product development. *Food Bioscience*, *61*, 104629. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104629>
- Prasedya, E. S., Syafitri, S. M., Geraldine, B. A. F. D., Hamdin, C. D., **Frediansyah, A.**, Miyake, M., Kobayashi, D., Hazama, A., & Sunarpi, H. (2019). UVA photoprotective activity of brown macroalgae *Sargassum cristafolium*. *Biomedicines*, *7*(4), 77. <https://doi.org/10.3390/biomedicines7040077>
- Prasedya, E. S., Martyasari, N. W. R., Abidin, A. S., Pebriani, S. A., Ilhami, B. T. K., **Frediansyah, A.**, Sunarwidhi, A. L., Widyastuti, S., & Sunarpi, H. (2020). Macroalgae *Sargassum cristaeifolium* extract inhibits proinflammatory cytokine expression in BALB/C Mice. *Scientifica*, *2020*, 9769454. <https://doi.org/10.1155/2020/9769454>
- Prasedya, E. S., Ardiana, N., Padmi, H., Ilhami, B. T. K., Martyasari, N. W. R., Sunarwidhi, A. L., Nikmatullah, A., Widyastuti, S., Sunarpi, H., & **Frediansyah, A.** (2021). The antiproliferative and apoptosis-inducing effects of the red macroalgae *Gelidium latifolium* extract against melanoma cells. *Molecules*, *26*(21), 6568. <https://doi.org/10.3390/molecules26216568>

- Prasedya, E. S., **Frediansyah, A.**, Martyasari, N. W. R., Ilhami, B. K., Abidin, A. S., Padmi, H., Fahrurrozi, Juanssilfero, A. B., Widyastuti, S., & Sunarwidhi, A. L. (2021). Effect of particle size on phytochemical composition and antioxidant properties of *Sargassum cristaefolium* ethanol extract. *Scientific Reports*, *11*(1), 17874. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95769-y>
- Prasedya, E. S., Padmi, H., Ilhami, B. T. K., Martyasari, N. W. R., Sunarwidhi, A. L., Widyastuti, S., Khairinisa, M. A., Cokrowati, N., Simangunsong, E. E., & **Frediansyah, A.** (2022). Brown macroalgae *Sargassum cristaefolium* extract inhibits melanin production and cellular oxygen stress in B16F10 melanoma cells. *Molecules*, *27*(23), 8585. <https://doi.org/10.3390/molecules27238585>
- Prasedya, E. S., Saraswati, P. B. A., Martyasari, N. W. R., **Frediansyah, A.**, Khalil, M., & Widyastuti, S. (2025). Ethyl acetate extract from red coralline macroalgae *Mastophora rosea*, rich in polyphenolic catechins, induces apoptosis and inhibits metastasis in melanoma cell line. **Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, *14*(1), 77. <https://doi.org/10.1186/s43088-025-00621-1>
- Purwanto, E. H., **Frediansyah, A.**, Fitrianto, N., Palindung, L. S., Marwati, T., Santoso, T. J., Susilawati, L., Khodija, S., Rachmawati, F., & Wibowo, N. A. (2024). Partial purification and pectinase activity of lactic acid bacteria and pectinolytic bacteria consortium. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1377, Article 012048). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1377/1/012048>
- Rappuoli, R., Young, P., Ron, E., Pecetta, S., & Pizza, M. (2023). Save the microbes to save the planet. A call to action of the International Union of the Microbiological Societies (IUMS). *One Health Outlook*, *5*(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s42522-023-00077-2>
- Rivaldi, M., **Frediansyah, A.**, Aziz, S. A. A., & Nugroho, A. P. (2025). Active biomonitoring of stream ecosystems: Untargeted

metabolomic and proteomic responses and free radical scavenging activities in mussels. *Ecotoxicology*, 34(3), 425–443. <https://doi.org/10.1007/s10646-024-02846-9>

- Rohman, A., Maritha, V., Windarsih, A., Budikafa, M. J., Riswanto, F. D. O., Munir, M. A., & Rahmania, H. (2025). The use of metabolomics approach in the combination with multivariate data analysis for the identification of non-halal meats: A narrative review. *Food Science of Animal Resources*, 45(6), 1553–1569. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2025.e36>
- Saad, H., Aziz, S., Gehringer, M., Kramer, M., Straetener, J., Berscheid, A., Brötz-Oesterhelt, H., & Gross, H. (2021). Nocathioamides, uncovered by a tunable metabologenomic approach, define a novel class of chimeric lanthipeptides. *Angewandte Chemie International Edition*, 60(30), 16472–16479. <https://doi.org/10.1002/anie.202102571>
- Safitri, I. O., Agnesty, D., Sihombing, J., Ramadanigrum, W. A., Harsanto, B. W., Leliana, L., & **Frediansyah, A.** (2025). Naniura: A traditional Batak fermented fish as a source of lactic acid bacteria and functional bioactives—A comprehensive review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 101402. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2025.101402>
- Safrienda, A. R., Kurnianto, D., Jasmadi, J., & **Frediansyah, A.** (2023). Cassava and microalgae use in the food industry: Challenges and prospects. In A. Frediansyah (Ed.), *Cassava - Recent updates on food, feed, and industry* (pp. 1–22). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.110518>
- Sampsell, K., Marcolla, C. S., Tapping, S., Fan, Y., Sánchez-Lafuente, C. L., Willing, B. P., Reimer, R. A., & Burton, J. P. (2025). Current research in fermented foods: Bridging tradition and science. *Advances in Nutrition*, 16(12), 100554. <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2025.100554>

- Setiarto, R. H. B., Octaviana, S., Perwitasari, U., Juanssilfero, A. B., & Suprapedi, S. (2024). Development of functional bioflavor based on Indonesian indigenous microbial fermentation products. *Journal of Ethnic Foods*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s42779-024-00242-6>
- Siddiqui, S. A., Erol, Z., Rugji, J., Taşçı, F., Kahraman, H. A., Toppi, V., Musa, L., Di Giacinto, G., Bahmid, N. A., Mehdizadeh, M., & Castro-Muñoz, R. (2023). An overview of fermentation in the food industry - looking back from a new perspective. *Bioresources and Bioprocessing*, 10(1), 85. <https://doi.org/10.1186/s40643-023-00702-y>
- Sofyantoro, F., & **Frediannyah, A.** (2025). Isoflavone aglycones: Sources, bioavailability enhancement strategies, and health benefits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 148, 108613. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.108613>
- Sofyantoro, F., Prasedya, E. S., Nurkolis, F., & **Frediannyah, A.** (2025). Exploring the nutritional and bioactive potential of microalgal sulfated polysaccharides for functional food applications. *Food Science and Biotechnology*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10068-025-02031-6>
- Sunarwidhi, A. L., Hernawan, A., **Frediannyah, A.**, Widyastuti, S., Martyasari, N. W. R., Abidin, A. S., Padmi, H., Handayani, E., Utami, N. W. P., Maulana, F. A., Ichfa, M. S. M., & Prasedya, E. S. (2022). Multivariate analysis revealed ultrasonic-assisted extraction improves anti-melanoma activity of non-flavonoid compounds in Indonesian brown algae ethanol extract. *Molecules*, 27(21), 7509. <https://doi.org/10.3390/molecules27217509>
- Sunaryanto, R., Basuki, W., **Frediannyah, A.**, Perdana, E. G., Lentaya, H. O., & Andriana, Y. (2024). *Formulasi minuman jamu beras kencur yang mengandung probiotik dan proses pembuatannya* (Patent No. P00202408719). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

- Szutowska, J., Gwiazdowska, D., Rybicka, I., Pawlak-Lemańska, K., Biegańska-Marecik, R., & Gliszczyńska-Świąło, A. (2021). Controlled fermentation of curly kale juice with the use of autochthonous starter cultures. *Food Research International*, *149*, 110674. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110674>
- Temple, N. J. (2022). A rational definition for functional foods: A perspective. *Frontiers in Nutrition*, *9*, 957516. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.957516>
- Verma, K., Duhan, P., Pal, D., Verma, P., & Bansal, P. (2025). Precision fermentation for the next generation of food ingredients: Opportunities and challenges. *Future Foods*, *12*, 100750. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100750>
- Wahyudi, D. N., Lara Utama, G., & **Frediansyah, A.** (2024). Tofu wastewater recovery for mannoprotein production from yeast and mold cell walls. *International Journal of Food Properties*, *27*(1), 1247–1264. <https://doi.org/10.1080/10942912.2024.2398006>
- Wahyudi, D. N., Utama, G. L., & **Frediansyah, A.** (2025). Tofu wastewater recovery for β -glucan production by *Pichia norvegensis* and *Candida tropicalis*. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, *10*, 100445. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2025.100445>
- Wiyono, T., **Frediansyah, A.**, Sholikhah, E. N., & Pratiwi, W. R. (2022). UHPLC-ESI-MS analysis of Javanese *Tamarindus indica* leaves from various tropical zones and their beneficial properties in relation to antiobesity. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, *12*(8), 137–147. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2022.120814>
- Wu, Q., Zhu, Y., Fang, C., Wijffels, R. H., & Xu, Y. (2021). Can we control microbiota in spontaneous food fermentation? – Chinese liquor as a case example. *Trends in Food Science & Technology*, *110*, 321–331. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.011>
- Yee, C. S., Zahia-Azizan, N. A., Abd Rahim, M. H., Mohd Zaini, N. A., Raja-Razali, R. B., Ushidee-Radzi, M. A., Ilham, Z.,

- & Wan-Mohtar, W. A. A. Q. I. (2025). Smart fermentation technologies: Microbial process control in traditional fermented foods. *Fermentation*, *11*(6), 323. <https://doi.org/10.3390/fermentation11060323>
- Zdouc, M. M., Blin, K., Louwen, N. L. L., Navarro, J., Loureiro, C., Bader, C. D., Bailey, C. B., Barra, L., Booth, T. J., Bozhüyük, K. A. J., Cediél-Becerra, J. D. D., Charlop-Powers, Z., Chevrette, M. G., Chooi, Y. H., D'Agostino, P. M., de Rond, T., Del Pup, E., Duncan, K. R., Gu, W., ... **Frediansyah, A.**, ... Medema, M. H. (2025). MIBiG 4.0: Advancing biosynthetic gene cluster curation through global collaboration. *Nucleic Acids Research*, *53*(D1), D678–D690. <https://doi.org/10.1093/nar/gkae1115>
- Zhu, S., Xu, H., Liu, Y., Hong, Y., Yang, H., Zhou, C., & Tao, L. (2025). Computational advances in biosynthetic gene cluster discovery and prediction. *Biotechnology Advances*, *79*, 108532. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2025.108532>

DAFTAR CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET, DAN INOVASI

Karya Tulis Ilmiah

1. Buku Internasional	0 buah
2. Buku Nasional	0 buah
3. Bagian dari Buku Internasional	5 buah
4. Bagian dari Buku Nasional	1 buah
5. Jurnal Internasional	74 buah
6. Jurnal Nasional	8 buah
7. Prosiding Internasional	25 buah
8. Prosiding Nasional	7 buah

Kekayaan Intelektual

9. Paten Internasional	
a. Terdaftar	0 buah
b. Tersertifikasi	0 buah
10. Paten Nasional	
a. Terdaftar	8 buah
b. Tersertifikasi	8 buah
11. Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)	0 buah
12. Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/Benih Unggul Tanaman Hutan	0 buah
13. Hak Cipta	1 buah
14. Desain Industri	0 buah
15. Desain dan Tata Letak Sirkuit Terpadu	0 buah

Kerja sama

Transaksi Lisensi	0 buah
-------------------	--------

Karya Tulis Ilmiah

Bagian dari Buku Internasional

1. **Frediansyah, A.** (2018). Microbial fermentation as means of improving cassava production in Indonesia. In V. Waisundara (Ed.), *Cassava* (1st ed., pp. 123–127). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71966>
2. **Frediansyah, A.** (2021). The microbiome of cassava (*Manihot esculenta*). In A. Frediansyah (Ed.), *Cassava - Biology, production, and use* (1st ed., pp. 1–18). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97818>
3. Hafif, B., Pujiharti, Y., Yani, A., Sjafrina, N., Asnawi, R., Wibowo, N. A., **Frediansyah, A.**, Nurida, N. L., & Dariah, A. (2023). Improving cassava cultivation as an industrial raw material on acid soil in Indonesia. In A. Frediansyah (Ed.), *Cassava - Recent updates on food, feed, and industry* (1st ed., pp. 1–19). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.110518>
4. Safrienda, A. R., Kurnianto, D., Jasmadi, J., & **Frediansyah, A.** (2023). Cassava and microalgae use in the food industry: Challenges and prospects. In A. Frediansyah (Ed.), *Cassava - Recent updates on food, feed, and industry* (1st ed., pp. 1–22). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.110518>
5. Sofyantoro, F., **Frediansyah, A.**, Putri, W. A., Ramadaningrum, W. A., Nainu, F., & Sharma, R. (2024). Herbal medicines: A boon for a healthy brain. In K. A. Singh, V. K. Chaturvedi, & J. Singh (Eds.), *Nanoarchitectonics for brain drug delivery* (1st ed., pp. 210–248). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781032661964-10>

Bagian dari Buku Nasional

6. **Fredihsnyah, A.** (2020). Food fermentation: From traditional to scientific communities. In M. Mahendradatta, W. P. Rahayu, U. Santoso, G. Giyatmi, A. Ardiansyah, D. L. N. Fibri, F. Kusnandar, & Y. Witono (Eds.), *Current issues of food in Indonesia* (1st ed., Vol. 1, pp. 97–99). Interlude.

Jurnal Internasional

7. **Fredihsnyah, A.** (2026). *Pediococcus* species in plant-based beverage fermentation: A review. *Trend In Food Science and Technology*. 105833. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2026.109043>
8. **Fredihsnyah, A.**, Nufus, H., Nugroho, I. B., & Gross, H. (2026). Complete genome sequence of *Halobacillus* sp. strain 12SKB, a carotenoid-producing bacterium isolated from Kakaban Lake, an anchialine lagoon within a raised atoll in East Kalimantan, Indonesia. *Microbiology Resource Announcements*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1128/mra.01139-25>
9. Ndraha, N., Damayanti, E., **Fredihsnyah, A.**, Ndraha, V., & Aditya, S. (2026). Enhancing microbial food safety in Indonesia's artisanal cheese sector: A strategic framework for consumer protection. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s00003-025-01592-2>
10. **Fredihsnyah, A.** (2025). *Bir jawa*: History, gastrodiplomacy, and health benefits of a Javanese non-alcoholic beverage. *Journal of Ethnic Foods*, 12(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s42779-025-00300-7>
11. Nabillah, S. A. A., Wati, R. C., Nurmilah, S., Fitrianto, N., Ningsih, D. R., & **Fredihsnyah, A.** (2026). Integrated metabolite profiling and in silico screening reveal the cholesterol-modulating potential of tauco, an Indonesian fermented soybean paste. *Indonesian Journal of Biotechnology*, 31(1), 26–38. <https://doi.org/10.22146/ijbiotech.110562>

12. Nurmilah, S., **Fredihsyah, A.**, Cahyana, Y., Andriana, B. B., & Utama, G. L. (2026). Computational evaluation of soy-derived isoflavones, polyamines, and anthocyanins as multi-target modulators in anti-aging pathways. *International Journal of Food Properties*, 29(1), 2637288. <https://doi.org/10.1080/10942912.2026.2637288>
13. Safitri, I. O., Agnesty, D., Sihombing, J., Ramadanigrum, W. A., Harsanto, B. W., Leliana, L., & **Fredihsyah, A.** (2025). Naniura: A traditional Batak fermented fish as a source of lactic acid bacteria and functional bioactives – A comprehensive review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 33, 101402. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2025.101402>
14. **Fredihsyah, A.**, Aziz, S.A.A., Diastuti H., Azzahra F.L., Setiarto, H.B. (2026). Comparative mono- and co-culture fermentation of Parijoto (*Medinilla speciosa* Blume) juice: strain-specific metabolomic signatures and functional profiles of an underutilized Indonesian fruit. *Food Bioscience*. 109043. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2026.109043>
15. **Fredihsyah, A.**, Ramadanigrum, W. A., Safitri, I. O., Nabillah, S. A. A., Aziz, S. A. A., & Utomo, A. R. P. (2026). Phytochemical composition, health benefits and potential food applications of Indonesian native parijoto (*Medinilla speciosa*) fruits. *Food and Humanity*, 101096. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2026.101096>
16. Anshory, L., Setiarto, R. H. B., Andrianto, D., & **Fredihsyah, A.** (2026). Microbiological dimensions of symbiotic culture of bacteria and yeast (SCOBY) and functional properties of kombucha tea fermented drink. *Reviews in Agricultural Science*, 14(1), 68–91. https://doi.org/10.7831/ras.14.1_68
17. Anshory, L., Setiarto, R. H. B., Andrianto, D., Khusniati, T., Yusuf, D., Fathoni, A., & **Fredihsyah, A.** (2026). Effects of physicochemical, fermentation, and enzymatic modifications on the microstructural and chemical properties of barley (*Hordeum*

vulgare) flour. *Letters in Applied NanoBioScience*, 15(1), 4. <https://doi.org/10.33263/LIANBS151.004>

18. **Frediansyah, A.**, Nufus, H., Pramono, A. K., Siregar, A. R., & Gross, H. (2026). Whole-genome sequence of *Kocuria rhizophila* 01AKB, an endophyte from the green macroalga *Halimeda* sp. in Kakaban Lake, Borneo, Indonesia. *Microbiology Resource Announcements*. <https://doi.org/10.1128/mra.00284-26>
19. **Frediansyah, A.**, Nurkolis, F., Taslim, N. A., Ali, M. F., Millotti, G., Buršić, M., ... & Santini, A. (2026). Climate-driven metabolic reprogramming in medicinal plants: Implications for phytochemical composition, therapeutic efficacy, and safety. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 36(1), 45. <https://doi.org/10.1007/s43450-026-00762-z>
20. **Frediansyah, A.**, & Fitriany, D. S. (2025). *Halobacillus* as source of natural products and enzyme factories. *Extremophiles*, 29(3), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s00792-025-01400-7>
21. Darwel, D., Suhardono, S., **Frediansyah, A.**, & Firmansyah, Y. W. (2026). Risk quotient analysis of ozone pollutants on the occupational health of scavengers at Sarimukti Landfill, West Bandung Regency, Indonesia. *International Journal of Environmental Impacts*, 9(1), 53–61. <https://doi.org/10.56578/ije090105>
22. Sofyantoro, F., & **Frediansyah, A.** (2025). Isoflavone aglycones: Sources, bioavailability enhancement strategies, and health benefits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 141, 108613. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.108613>
23. Nurmilah, S., **Frediansyah, A.**, Cahyana, Y., Balia, R. L., Andriana, B. B., & Utama, G. L. (2025). Exploring microbial dynamics and metabolomic profiling of isoflavone transformation in black and yellow soybean tempe for sustainable functional foods. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 11, 100279. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2025.100279>

24. Anshory, L., Setiarto, R., Andrianto, D., & **Frediannyah, A.** (2026). Microbiological dimensions symbiotic culture of bacteria and yeast (SCOBY) and functional properties of kombucha tea fermented drink. *Review in Agricultural Sciences*, 14(1), 68–91. https://doi.org/10.7831/ras.14.1_68
25. Mudjahid, M., **Frediannyah, A.**, Ophinni, Y., & Nainu, F. (2025). *Drosophila melanogaster* as a prospective model organism for monkeypox virus research. *Frontiers in Microbiology*, 16, 1696236. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1696236>
26. Nurkolis, F., Nishani, F., Daliu, P., Aziziy, Y. N., Aziz, S. A. A., Simanjuntak, A. M. T., Nufus, H., Prasedya, E. S., Santini, A., & **Frediannyah, A.** (2025). *Sargassum polycystum* as natural source of antioxidant and antidiabetic compounds: A solvent-driven metabolomic profiling study. *Journal of Agriculture and Food Research*, 25, 102549. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102549>
27. Hadinata, E., Harbuwono, D. S., Soegondo, S., Prajitno, J. H., Mudjanarko, S. W., Taslim, N. A., Hasyyati, E. Y., **Frediannyah, A.**, Surya, R., Cahyono, M. B. A., & Santini, A. (2025). Marine nutraceuticals as a source of SIRT1 and NRF2 activators for diabetes and aging-related metabolic disorders. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 17(1), 31. <https://doi.org/10.1186/s13098-025-01981-5>
28. Nurkolis, F., Aldian, F. M., Alfaray, R. I., Johan, A. R. D., **Frediannyah, A.**, Permatasari, H. K., Taslim, N. A., Tjandrawinata, R. R., Mustika, A., Kim, B., & Santini, A. (2025). Integrative pharmacoinformatic and experimental validation of Indonesian red algae as novel functional food for anti-gastric cancer agents. *Molecular Nutrition & Food Research*, 69(23), e70282. <https://doi.org/10.1002/mnfr.70282>
29. **Frediannyah, A.** (2024). Growth in traditional fermented soybeans-related research (*tempeh*, *natto*, *doenjang*, *chungkookjang*, *douchi*, *meju*, *kinema*, *oncom*, and *tauco*) from 1928 to 2024, following the omics emergence and trend in functional food.

Process Biochemistry, 147, 600–624. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2024.11.008>

30. Sofyantoro, F., Prasedya, E. S., Nurkolis, F., & **Fredihsyah, A.** (2025). Exploring the nutritional and bioactive potential of microalgal sulfated polysaccharides for functional food applications. *Food Science and Biotechnology*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10068-025-02031-6>
31. Ikhsanudin, A., Habibie, A., Pratiwi, S. U. T., Pujiyanto, D. A., **Fredihsyah, A.**, & Retnaningrum, E. (2025). Metabolite profiling and anti-multidrug-resistant activity of *Streptomyces anulatus* ACSAN21-05 isolated from Indonesian mangrove rhizosphere. *Trends in Sciences*, 22(11), 10533. <https://doi.org/10.48048/tis.2025.10533>
32. **Fredihsyah, A.**, Romadhoni, F., Suryani, Nurhayati, R., & Wibowo, A. T. (2021). Fermentation of Jamaican cherries juice using *Lactobacillus plantarum* elevates antioxidant potential and inhibitory activity against type II diabetes-related enzymes. *Molecules*, 26(10), 2868. <https://doi.org/10.3390/molecules26102868>
33. **Fredihsyah, A.**, Manuhara, Y. S. W., Kristanti, A. N., Luqman, A., & Wibowo, A. T. (2022). Fermentation in minimal media and fungal elicitation enhance violacein and deoxyviolacein production in two *Janthinobacterium* strains. *Fermentation*, 8(12), 714. <https://doi.org/10.3390/fermentation8120714>
34. Nurmilah, S., **Fredihsyah, A.**, Cahyana, Y., & Utama, G. L. (2024). Biotransformation and health potential of isoflavones by microorganisms in Indonesian traditional fermented soy products: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101365. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101365>
35. Wahyudi, D. N., Utama, G. L., & **Fredihsyah, A.** (2025). Tofu wastewater recovery for β -glucan production by *Pichia norvegensis* and *Candida tropicalis*. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 10, 100445. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2025.100445>

36. Wahyudi, D. N., Utama, G. L., & **Frediansyah, A.** (2024). Tofu wastewater recovery for mannoprotein production from yeast and mold cell walls. *International Journal of Food Properties*, 27(1), 1247–1264. <https://doi.org/10.1080/10942912.2024.2398006>
37. Miftakhussolikah, Kurniadi, M., Poeloengasih, C. D., **Frediansyah, A.**, & Susanto, A. (2015). Folate content of mung bean flour prepared by various heat-treatments. *Procedia Food Science*, 3, 69–73. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.01.006>
38. **Frediansyah, A.**, Straetener, J., Brötz-Oesterhelt, H., & Gross, H. (2021). Massiliamide, a cyclic tetrapeptide with potent tyrosinase inhibitory properties from the Gram-negative bacterium *Massilia albidiflava* DSM 17472T. *Journal of Antibiotics*, 74(4), 269–272. <https://doi.org/10.1038/s41429-020-00394-y>
39. Kurniadi, M., Afuw, H. A., Sari, A. M., Wiyono, T., Nurhayati, R., & **Frediansyah, A.** (2021). Effect of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation on the quality of Samurai 2, a mutant sorghum flour. *International Food Research Journal*, 28(3), 603–611. <https://doi.org/10.47836/ifrj.28.3.20>
40. Ariantari, N. P., Putra, I. P. Y. A., Wiprayoga, I. P. P., **Frediansyah, A.**, Putri, N. W. P. S., Suari, A. A. I. P., ... & Pharmawati, M. (2026). Draft genome sequence of endophytic fungus *Fusarium proliferatum* ZO-L2-4 and analysis of its secondary metabolite biosynthetic potential. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 16(4), 275–287. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2026.234783>
41. Kurniadi, M., Parnanto, N. H. R., Saputri, M. W., Sari, A. M., Indrianingsih, A. W., Herawati, E. R. N., Ariani, D., Juligani, B., Kusumaningrum, A., & **Frediansyah, A.** (2022). The effect of kappa-carrageenan and gum Arabic on the production of guava-banana fruit leather. *Journal of Food Science and Technology*, 59(11), 4415–4426. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05521-1>

42. Basuki, W., Sunaryanto, R., **Frediansyah, A.**, Layly, I. R., Yusnitati, Giarni, R., & Shodiq, A. W. (2023). Isolation and characterization of *Thraustochytrium* Trk-23 producing docosaehaenoic acid from North Kalimantan, Indonesia. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 26(11), 567–575. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2023.567.575>
43. Jiao, J., Du, J., **Frediansyah, A.**, Jahanshah, G., & Gross, H. (2020). Structure elucidation and biosynthetic locus of trinickiabactin from the plant pathogenic bacterium *Trinickia caryophylli*. *Journal of Antibiotics*, 73(1), 28–34. <https://doi.org/10.1038/s41429-019-0246-0>
44. Chen, J., **Frediansyah, A.**, Männle, D., Straetener, J., Brötz-Oesterhelt, H., Ziemert, N., Kaysser, L., & Gross, H. (2020). New nocobactin derivatives with antimuscarinic activity, terpenibactins A–C, revealed by genome mining of *Nocardia terpenica* IFM 0406. *ChemBioChem*, 21(15), 2205–2213. <https://doi.org/10.1002/cbic.202000062>
45. **Frediansyah, A.**, Miess, H., Cleenwerck, I., & Gross, H. (2023). Genome sequences of the two *Telluria* type strains, *Telluria chitinolytica* ACM 3522T and *Telluria mixta* DSM 29330T. *Microbiology Resource Announcements*, 12(7), e00215-23. <https://doi.org/10.1128/mra.00215-23>
46. Rivaldi, M., **Frediansyah, A.**, Aziz, S. A. A., & Nugroho, A. P. (2025). Active biomonitoring of stream ecosystems: Untargeted metabolomic and proteomic responses and free radical scavenging activities in mussels. *Ecotoxicology*, 34(3), 425–443. <https://doi.org/10.1007/s10646-024-02846-9>
47. Miess, H., **Frediansyah, A.**, Göker, M., & Gross, H. (2020). Draft genome sequences of six type strains of the genus *Massilia*. *Microbiology Resource Announcements*, 9(18), e00226-20. <https://doi.org/10.1128/mra.00226-20>

48. Zdouc, M. M., Blin, K., Louwen, N. L. L., Navarro, J., Loureiro, C., Bader, C. D., Bailey, C. B., Barra, L., Booth, T. J., Bozhüyük, K. A. J., Cediel-Becerra, J. D. D., Charlop-Powers, Z., Chevrette, M. G., Chooi, Y. H., D'Agostino, P. M., ... **Frediansyah, A.**, ... Medema, M. H. (2024). MIBiG 4.0: Advancing biosynthetic gene cluster curation through global collaboration. *Nucleic Acids Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1093/nar/gkac1115>
49. Nisa, K., Hasanah, A. U., Damayanti, E., **Frediansyah, A.**, Anwar, M., Khumaira, A., & Anindita, N. S. (2024). *In vitro* antibacterial activity and phytochemical profiling of Indonesian *Anacardium occidentale* L. leaf extract and fractions. *Journal of Pharmacy and Pharmacognosy Research*, *12*(1), 50–72. https://doi.org/10.56499/jppres23.1714_12.1.50
50. Wiyono, T., **Frediansyah, A.**, Sholikhah, E. N., & Pratiwi, W. R. (2022). UHPLC-ESI-MS analysis of Javanese *Tamarindus indica* leaves from various tropical zones and their beneficial properties in relation to antiobesity. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, *12*(8), 137–147. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2022.120814>
51. Prasedya, E. S., Ardiana, N., Padmi, H., Ilhami, B. T. K., Martyasari, N. W. R., Sunarwidhi, A. L., Nikmatullah, A., Widyastuti, S., Sunarpi, H., & **Frediansyah, A.** (2021). The antiproliferative and apoptosis-inducing effects of the red macroalgae *Gelidium latifolium* extract against melanoma cells. *Molecules*, *26*(21), 6568. <https://doi.org/10.3390/molecules26216568>
52. Prasedya, E. S., **Frediansyah, A.**, Martyasari, N. W. R., Ilhami, B. K., Abidin, A. S., Padmi, H., Fahrurrozi, Juanssilfero, A. B., Widyastuti, S., & Sunarwidhi, A. L. (2021). Effect of particle size on phytochemical composition and antioxidant properties of *Sargassum cristaefolium* ethanol extract. *Scientific Reports*, *11*(1), 17876. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95769-y>

53. Prasedya, E. S., Martyasari, N. W. R., Abidin, A. S., Pebriani, S. A., Ilhami, B. T. K., **Frediannyah, A.**, Sunarwidhi, A. L., Widyastuti, S., & Sunarpi, H. (2020). Macroalgae *Sargassum cristaefolium* extract inhibits proinflammatory cytokine expression in BALB/C mice. *Scientifica*, 2020, Article 9769454. <https://doi.org/10.1155/2020/9769454>
54. Prasedya, E. S., Padi, H., Ilhami, B. T. K., Martyasari, N. W. R., Sunarwidhi, A. L., Widyastuti, S., Khairinisa, M. A., Cokrowati, N., Simangunsong, E. E., & **Frediannyah, A.** (2022). Brown macroalgae *Sargassum cristaefolium* extract inhibits melanin production and cellular oxygen stress in B16F10 melanoma cells. *Molecules*, 27(23), 8585. <https://doi.org/10.3390/molecules27238585>
55. Prasedya, E. S., Syafitri, S. M., Geraldine, B. A. F. D., Hamdin, C. D., **Frediannyah, A.**, Miyake, M., Kobayashi, D., Hazama, A., & Sunarpi, H. (2019). UVA photoprotective activity of brown macroalgae *Sargassum cristaefolium*. *Biomedicines*, 7(4), 77. <https://doi.org/10.3390/biomedicines7040077>
56. Sunarwidhi, A. L., Hernawan, A., **Frediannyah, A.**, Widyastuti, S., Martyasari, N. W. R., Abidin, A. S., Padi, H., Handayani, E., Utami, N. W. P., Maulana, F. A., Ichfa, M. S. M., & Prasedya, E. S. (2022). Multivariate analysis revealed ultrasonic-assisted extraction improves anti-melanoma activity of non-flavonoid compounds in Indonesian brown algae ethanol extract. *Molecules*, 27(21), 7509. <https://doi.org/10.3390/molecules27217509>
57. Prasedya, E. S., Saraswati, P. B. A., Martyasari, N. W. R., **Frediannyah, A.**, Khalil, M., & Widyastuti, S. (2025). Ethyl acetate extract from red coralline macroalgae *Mastophora rosea*, rich in polyphenolic catechins, induces apoptosis and inhibits metastasis in melanoma cell line. **Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 14*(1), 77. <https://doi.org/10.1186/s43088-025-00600-w>

58. **Frediensyah, A.**, Sofyantoro, F., Alhumaid, S., Al Mutair, A., Albayat, H., Altaweil, H. I., Al-Afghani, H. M., Alramadhan, A. A., Alghazal, M. R., Turkistani, S. A., Abuzaid, A. A., & Rabaan, A. A. (2022). Microbial natural products with antiviral activities, including anti-SARS-CoV-2: A review. *Molecules*, 27(13), 4305. <https://doi.org/10.3390/molecules27134305>
59. Dhama, K., Nainu, F., **Frediensyah, A.**, Yatoo, M. I., Mohapatra, R. K., Chakraborty, S., Zhou, H., Islam, M. R., Mamada, S. S., Kusuma, H. I., Rabaan, A. A., Alhumaid, S., Al Mutair, A., Iqhrammullah, M., Al-Tawfiq, J. A., Al Mohaini, M., Alsalman, A. J., Tuli, H. S., Chakraborty, C., & Harapan, H. (2023). Global emerging Omicron variant of SARS-CoV-2: Impacts, challenges and strategies. *Journal of Infection and Public Health*, 16(1), 4–14. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2022.11.024>
60. **Frediensyah, A.** (2021). The antiviral activity of iota-, kappa-, and lambda-carrageenan against COVID-19: A critical review. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 12, 100826. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2021.100826>
61. Fahriani, M., Ilmawan, M., Fajar, J. K., Maliga, H. A., **Frediensyah, A.**, Masyeni, S., Yusuf, H., Nainu, F., Rosiello, F., Sirinam, S., Keam, S., & Ophinni, Y. (2021). Persistence of long COVID symptoms in COVID-19 survivors worldwide and its potential pathogenesis – A systematic review and meta-analysis. *Narra J*, 1(2), e36. <https://doi.org/10.52225/narraj.v1i2.36>
62. Sofyantoro, F., Priyono, D. S., Septriani, N. I., Putri, W. A., Mamada, S. S., Ramadaningrum, W. A., Wijayanti, N., **Frediensyah, A.**, & Nainu, F. (2024). Zebrafish as a model organism for virus disease research: Current status and future directions. *Heliyon*, 10(13), e33865. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33865>
63. **Frediensyah, A.** (2014). Infant botulism effect of *Clostridium* and the involvement of sudden infant death syndrome (SIDS): Review. *European Academic Research*, 1(10), 3248–3257. <http://www.euacademic.org/UploadArticle/757.pdf>

64. **Frediansyah, A.**, Nainu, F., Dhama, K., Mudatsir, M., & Harapan, H. (2021). Remdesivir and its antiviral activity against COVID-19: A systematic review. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 9, 123–127. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2020.07.011>
65. **Frediansyah, A.**, Sallam, M., Yufika, A., Sharun, K., Iqhrammullah, M., Chandran, D., Mamada, S. S., Sallam, D. E., Khader, Y., Lemu, Y. K., Yusuf, F., Kretchy, J. P., Abdeen, Z., Torres-Roman, J. S., Acharya, Y., Bondarenko, A., Ikram, A., ... Harapan, H. (2022). Acute severe hepatitis of unknown etiology in children: A mini-review. *Narra J*, 2(2), e83. <https://doi.org/10.52225/narra.v2i2.83>
66. **Frediansyah, A.**, Tiwari, R., Sharun, K., Dhama, K., & Harapan, H. (2021). Antivirals for COVID-19: A critical review. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 9, 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2020.07.006>
67. Mamada, S. S., Nainu, F., Masyita, A., **Frediansyah, A.**, Utami, R. N., Salampe, M., Emran, T. B., Lima, C. M. G., Chopra, H., & Simal-Gandara, J. (2022). Marine macrolides to tackle antimicrobial resistance of *Mycobacterium tuberculosis*. *Marine Drugs*, 20(11), 691. <https://doi.org/10.3390/md20110691>
68. Masyeni, S., Iqhrammullah, M., **Frediansyah, A.**, Nainu, F., Tallei, T., Emran, T. B., Ophinni, Y., Dhama, K., & Harapan, H. (2022). Molnupiravir: A lethal mutagenic drug against rapidly mutating severe acute respiratory syndrome coronavirus 2—A narrative review. *Journal of Medical Virology*, 94(7), 3006–3016. <https://doi.org/10.1002/jmv.27730>
69. Mudatsir, M., Yufika, A., Nainu, F., **Frediansyah, A.**, Megawati, D., Pranata, A., Mahdani, W., Ichsan, I., Dhama, K., & Harapan, H. (2020). Antiviral activity of ivermectin against SARS-CoV-2: An old-fashioned dog with a new trick—A literature review. *Scientia Pharmaceutica*, 88(3), 36. <https://doi.org/10.3390/scipharm88030036>

70. Mutiawati, E., Fahriani, M., Mamada, S. S., Fajar, J. K., **Frediansyah, A.**, Maliga, H. A., Ilmawan, M., Emran, T. B., Ophinni, Y., Ichsan, I., Musadir, N., Rabaan, A. A., Dhama, K., Syahrul, S., Nainu, F., & Harapan, H. (2021). Anosmia and dysgeusia in SARS-CoV-2 infection: Incidence and effects on COVID-19 severity and mortality, and the possible pathobiology mechanisms – A systematic review and meta-analysis. *F1000Research*, *10*, 40. <https://doi.org/10.12688/f1000research.28393.1>
71. Nainu, F., Abidin, R. S., Bahar, M. A., **Frediansyah, A.**, Emran, T. B., Rabaan, A. A., Dhama, K., & Harapan, H. (2020). SARS-CoV-2 reinfection and implications for vaccine development. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, *16*(12), 3061–3073. <https://doi.org/10.1080/21645515.2020.1830683>
72. Nainu, F., **Frediansyah, A.**, Mamada, S. S., Permana, A. D., Salampe, M., Chandran, D., Emran, T. B., & Simal-Gandara, J. (2023). Natural products targeting inflammation-related metabolic disorders: A comprehensive review. *Heliyon*, *9*(6), e16919. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16919>
73. Nainu, F., **Frediansyah, A.**, Salim, E., Chandran, D., Dhama, K., Rabaan, A. A., Harapan, H., & Emran, T. B. (2023). Immunopharmacological considerations of general anaesthetics for surgical procedures in the times of COVID-19: Correspondence. *Annals of Medicine & Surgery*, *85*(5), 2232–2236. <https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000000555>
74. Ophinni, Y., **Frediansyah, A.**, Sirinam, S., Megawati, D., Stoian, A. M., Enitan, S. S., Akele, R. Y., Sah, R., Pongpirul, K., Abdeen, Z., Aghayeva, S., Ikram, A., Kebede, Y., Wollina, U., Subbaram, K., Koyanagi, A., Al Serouri, A., Nguendo-Yongsi, H. B., Edwards, J., ... Sallam, M. (2022). Monkeypox: Immune response, vaccination and preventive efforts. *Narra J*, *2*(3), e90. <https://doi.org/10.52225/narra.v2i3.90>

75. Rumata, N. R., Djide, N. J. N., **Frediansyah, A.**, Fitri, A. M. N., Asfa, N., Mu'arif, A., Chandran, D., Dhama, K., Al Mutair, A., Alhumaid, S., Rabaan, A. A., Emran, T. B., & Nainu, F. (2023). Progress and challenges in antimicrobial resistance and bacterial vaccines. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 13(5), 489. <https://doi.org/10.33263/BRIAC135.489>
76. Sofyantoro, F., **Frediansyah, A.**, Priyono, D. S., Putri, W. A., Septriani, N. I., Wijayanti, N., Ramadanigrum, W. A., Turkistani, S. A., Garout, M., Aljeldah, M., Al Shammari, B. R., Alwashmi, A. S. S., Alfaraj, A. H., Alawfi, A., Alshengeti, A., Aljohani, M. H., Aldossary, S., & Rabaan, A. A. (2023). Growth in chikungunya virus-related research in ASEAN and South Asian countries from 1967 to 2022 following disease emergence: A bibliometric and graphical analysis. *Globalization and Health*, 19(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s12992-023-00906-z>
77. Sofyantoro, F., Kusuma, H. I., Vento, S., Rademaker, M., & **Frediansyah, A.** (2022). Global research profile on monkeypox-related literature (1962–2022): A bibliometric analysis. *Narra J*, 2(3), e96. <https://doi.org/10.52225/narra.v2i3.96>
78. Syahrul, S., Maliga, H. A., Ilmawan, M., Fahriani, M., Mamada, S. S., Fajar, J. K., **Frediansyah, A.**, Syahrul, F. N., Imran, I., Haris, S., Rambe, A. S., Emran, T. B., Rabaan, A. A., Tiwari, R., Dhama, K., Nainu, F., Mutiawati, E., & Harapan, H. (2021). Hemorrhagic and ischemic stroke in patients with coronavirus disease 2019: Incidence, risk factors, and pathogenesis – A systematic review and meta-analysis. *F1000Research*, 10, 746. <https://doi.org/10.12688/f1000research.42308.1>
79. Yusuf, F., Fahriani, M., Mamada, S. S., **Frediansyah, A.**, Abubakar, A., Maghfirah, D., Fajar, J. K., Maliga, H. A., Ilmawan, M., Emran, T. B., Ophinni, Y., Innayah, M. R., Masyeni, S., Ghouth, A. S. B., Yusuf, H., Dhama, K., Nainu, F., & Harapan, H. (2021). Global prevalence of prolonged gastrointestinal symptoms in COVID-19 survivors and potential pathogenesis: A systematic

review and meta-analysis. *F1000Research*, 10, 909. <https://doi.org/10.12688/f1000research.52216.1>

80. Widyastuti, S., Abidin, A. S., Hikmaturohmi, H., Ilhami, B. T. K., Kurniawan, N. S. H., Jupri, A., Candri, D. A., **Fredihsyah, A.**, & Prasedya, E. S. (2023). Microplastic contamination in different marine species of Bintaro fish market, Indonesia. *Sustainability*, 15(12), 9836. <https://doi.org/10.3390/su15129836>

Jurnal Nasional

81. **Fredihsyah, A.**, & Kurniadi, M. (2016). Comparative influence of salinity and temperature on cassava flour product by *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus acidophilus* during single culture fermentation. *Nusantara Bioscience*, 8(2), 207–214. <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n080212>
82. Kurniadi, M., & **Fredihsyah, A.** (2017). Halal perspective of microbial bioprocess based-food products. *Reaktor*, 16(3), 147–160. <https://doi.org/10.14710/reaktor.16.3.147-160>
83. Kurniadi, M., **Fredihsyah, A.**, Poeloengasih, C. D., & Miftakhusolikhah. (2014). Pemanfaatan kacang kedelai (*Glycine max*) sebagai produk olahan pangan sumber asam folat. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan*, 6(10), 181–188.
84. **Fredihsyah, A.**, Nugroho, I. B., Rahmani, T. P. D., Hadi, R., & Aminjoyo, N. (2017). Chitosan from *Rhizopus oryzae*: Extraction, toxicity examination, and its application on meatballs. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan*, 9(1), 106–122.
85. **Fredihsyah, A.**, & Sudiana, I. M. (2013). The potential of *Paenibacillus* spp. as plant growth promoter in tropical peat ecosystem. *Widyariset*, 16(2), 201–210.
86. Handayani, S., Aprilia, D., Nisa, K., Rosyida, V. T., Wulanjati, M. P., Windarsih, A., Darsih, C., **Fredihsyah, A.**, & Haryanti, S. (2021). A mini-review: Possible mechanisms of hepatoprotective

effect of *Aloe vera* gel. *Indonesian Journal of Cancer Chemoprevention*, 12(3), 183–189. <https://doi.org/10.14499/indonesianjcanchemoprev12iss3pp183-189>

87. Khasanah, Y., Herawati, E. R. N., Praharasti, A. S., Kusumaningrum, A., & **Frediansyah, A.** (2019). Penggunaan tepung pada pembuatan bawang merah goreng Enrekang: Kajian tingkat rendemen dan nilai gizinya. *Journal of Food and Culinary*, 2(1), 33–42. <https://doi.org/10.12928/jfc.v2i1.1701>
88. Qoriasmadillah, W., Haqiqi, N., Iman, Z., Setyaningrum, T. W., Candri, D. A., **Frediansyah, A.**, & Prasedya, E. S. (2024). Kandungan ekstrak daun banten (*Lannea coromandelica* (Houtt.) Merr.) obat tradisional Lombok sebagai antipiretik pada mencit (*Mus musculus*). *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(4), 1855–1862. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i4.6756>

Prosiding Internasional

89. Fitrianto, N., Damayanti, E., Rahmawati, L., **Frediansyah, A.**, & Ikhsani, A. Y. (2026). Mycoprotein production from mixed cultures of *Rhizopus oligosporus* and *Neurospora intermedia*: Nutritional and biological activity for sustainable biomass. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1584, No. 1, p. 012075). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1584/1/012075>
90. Fitrianto, N., Nufus, H., **Frediansyah, A.**, Aziz, S. A. A., Damayanti, E., Fauzan, I. A., Rosyida, V. T., Safitri, I. O., Suryani, R., Sunaryanto, R., & Wibowo, N. A. (2025). Radical scavenging and antimicrobial activities of lactic acid bacteria isolated from Indonesian traditional fermented soy food against food-borne pathogens. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1476, No. 1, p. 012052). IOP Publishing.
91. Fitrianto, N., Mutmainah, S., Zaman, M. Z., Palindung, L. S., Damayanti, E., Rosyida, V. T., **Frediansyah, A.**, & Husen, F.

- (2025). Novel tamarillo-red ginger kombucha: Impact of carbon source variations on physicochemical characteristics, antioxidant potential, and sensory acceptance. *Carpathian Journal of Food Science & Technology*, 17(1), 91–101. <https://doi.org/10.34302/crpfst/2025.17.1.10>
92. **Frediansyah, A.**, & Kurniadi, M. (2017). Michaelis kinetic analysis of extracellular cellulase and amylase excreted by *Lactobacillus plantarum* during cassava fermentation. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1788, Article 030035). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.4968364>
93. **Frediansyah, A.**, Kurniadi, M., Hikmat, A. N., & Susanto, A. (2012). Improving quality of mocaf (modified cassava flour) by bioprocess using *Lactobacillus plantarum* and its utility for foodstuff. In A. C. Iwansyah (Ed.), *Proceeding of International Seminar Enhancing Grassroots Innovation Competitiveness for Poverty Alleviation (EGICPA)* (pp. 140–145). UPT BPPTK LIPI. <http://bpptk.lipi.go.id/gri/>
94. **Frediansyah, A.**, Kurniadi, M., Putri, N. N. N., & Prasedya, E. S. (2019). The kinetics of enzymes that involved in cassava fermentation produce by co-culture starter of two lactic acid bacteria. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2199, Article 040005). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.5141280>
95. Damayanti, E., Kurniadi, M., Helmi, R. L., & **Frediansyah, A.** (2020). Single starter *Lactobacillus plantarum* for modified cassava flour (mocaf) fermentation. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 462, Article 012021). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/462/1/012021>
96. **Frediansyah, A.**, Suryani, Nurhayati, R., Miftakhussolikah, & Sholihah, J. (2019). *Lactobacillus pentosus* isolated from *Muntingia calabura* shows inhibition activity toward alpha-glucosidase and alpha-amylase in intra and extracellular level. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental*

Science (Vol. 251, Article 012045). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/251/1/012045>

97. **Frediansyah, A.**, Nurhayati, R., & Romadhoni, F. (2017). Enhancement of antioxidant activity, α -glucosidase and α -amylase inhibitory activities by spontaneous and bacterial monoculture fermentation of Indonesian black grape juices. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1803, Article 020036). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.4973149>
98. Nurhayati, R., **Frediansyah, A.**, Rahmawati, F., Retnaningrum, E., & Sembiring, L. (2015). Screening of α -glucosidase inhibitor-producing lactic acid bacteria from *Ganoderma lucidum* as functional food candidate for diabetic. In *Proceeding of the 1st International Conference on Appropriate Technology Development (ICATDEV) 2015* (pp. 76–81). UGM.
99. Nurhayati, R., Miftakhussolikhah, **Frediansyah, A.**, & Rachmah, D. L. (2017). Lactic acid bacteria producing inhibitor of alpha glucosidase isolated from ganyong (*Canna edulis*) and kimpul (*Xanthosoma sagittifolium*). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 101, Article 012009). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/101/1/012009>
100. Fitrianto, N., Samiyarsih, S., Fajar, H., **Frediansyah, A.**, & Hidayat, G. A. (2024). Effect of gamma irradiation on the microbiological properties, phenolic content, and antioxidant activity of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) flesh during storage. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3215, Article 040001). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0245678>
101. **Frediansyah, A.**, Navasumrit, P., Promvijit, J., Compoobut, C., & Ruchirawat, M. (2014). Determination of toxin produced by *Aspergillus* sp. in peanut products and cancer risk estimates of dietary exposure in Indonesia and Thai population. In *International Conference of Asian Environmental Chemistry 2014* (pp. 321–324). Chulabhorn Research Institute.

102. **Frediansyah, A.** (2011). Detection of methanotrophic bacteria in Borneo-peatland soil. In *Proceeding - Advances in Biological Science* (pp. 259–267). Gadjah Mada University.
103. **Frediansyah, A., & Aziz, S. A. A.** (2024). Phytochemical properties of *Medinilla speciosa* leaf extract and its antibacterial activity against *Burkholderia* sp. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2957, Article 040001). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0183974>
104. **Frediansyah, A., Aziz, S. A. A., Ramadaningrum, W. A., & Sunarwidhi, A. L.** (2021). Mass spectrometry analysis revealed the production of siderophore from *Klebsiella oxytoca* strain STA01 isolated from sago palm field in Tulehu, Maluku, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 712, Article 012011). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/712/1/012011>
105. **Frediansyah, A., Azzahra, F. L., & Fitrianto, N.** (2023). Antioxidant properties of *Syzygium polycephalum* leaf extract and its antibacterial activity against *Serratia marcescens* and *Burkholderia* sp. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2972, Article 040002). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0182735>
106. **Frediansyah, A., Praharasti, A. S., Kusumaningrum, A., Nurhikmat, A., Susanto, A., Khasanah, Y., & Nurhayati, R.** (2017). Application of static retort thermal processing technology for dried beef Rendang production: Evaluation of its post-processing on microbiological and physicochemical properties. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1788, Article 030032). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.4968362>
107. **Kurniadi, M., Bintang, R., Kusumaningrum, A., Nursiwi, A., Nurhikmat, A., Susanto, A., Angwar, M., Triwiyono, & Frediansyah, A.** (2017). Shelf life prediction of canned fried-rice using accelerated shelf life testing (ASLT) arrhenius method. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental*

Science (Vol. 101, Article 012029). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/101/1/012029>

108. Kurniadi, M., Salam, N., Kusumaningrum, A., Nursiwi, A., Angwar, M., Susanto, A., Nurhikmat, A., Triwiyono, & **Frediansyah, A.** (2017). Shelf-life prediction of canned “nasi uduk” using accelerated shelf-life test (ASLT) – Arrhenius model. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1788, Article 030029). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.4968349>
109. Praharasti, A. S., Kusumaningrum, A., **Frediansyah, A.**, Nurhikmat, A., Khasanah, Y., & Suprapedi. (2017). Lethality of Rendang packaged in multilayer retortable pouch with sterilization process. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1788, Article 030031). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.4968332>
110. Purwanto, E. H., **Frediansyah, A.**, Fitrianto, N., Palindung, L. S., Marwati, T., Santoso, T. J., Susilawati, L., Khodija, S., Rachmawati, F., & Wibowo, N. A. (2024). Partial purification and pectinase activity of lactic acid bacteria and pectinolytic bacteria consortium. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1377, Article 012048). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1377/1/012048>
111. Sunaryanto, R., Pramisandi, A., Rudiyo, Putra, I. G. E. P., **Frediansyah, A.**, Damayanti, E., Basuki, W., Achnafani, D., Andriana, Y., Fitrianto, N., & Mustofa. (2024). Isolation and screening of actinomycetes producing antimicrobial substances from Pulau Seribu. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1377, Article 012084). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1377/1/012084>
112. Umam, A. H., Maryanto, S. D., **Frediansyah, A.**, Shalihattunnisa, M., Hulwani, R. I., Rona, Y., & Handayani, M. T. (2011). Sustainable coral reefs conservation after tsunami with mooring buoy installation in Weh Island. In *Proceeding of the 6th Annual International Workshop & Expo on Sumatra Tsunami Disaster & Recovery in Conjunction with 4th South China Sea*

Tsunami Workshop. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/249010261>

113. Wahono, S. K., Rosyida, V. T., Darsih, C., Pratiwi, D., **Frediansyah, A.**, & Hernawan. (2015). Optimization of simultaneous saccharification and fermentation incubation time using cellulose enzyme for sugarcane bagasse on the second-generation bioethanol production technology. *Energy Procedia*, 65, 331–336. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.01.061>

Prosiding Nasional

114. **Frediansyah, A.**, & Sentana, S. (2012). Studi pustaka: Pemanfaatan mikroba lokal sebagai agen bioproses kecap kedelai. In *Seminar Nasional Teknik Kimia: Inovasi Teknologi Proses dan Produk Berbasis Sumber Daya Alam Indonesia* (pp. 153–158). Universitas Katolik Parahyangan. <https://tk.unpar.ac.id/seminar/>
115. **Frediansyah, A.** (2012). Studi komparatif anggota *Aspergillus* kelompok *flavi* pada bioproses kecap kedelai. In N. I. Ratnaningtyas, A. Mumpuni, U. Dwiputranto, N. Ekowati, J. Safitri, Gratiana, A. Nuryanto, R. S. Dewi, & U. Susilo (Eds.), *Seminar Nasional Mikologi: Biodiversitas dan Bioteknologi Sumberdaya Hayati Fungi* (pp. 175–183). Percetakan Kanisius.
116. **Frediansyah, A.**, Miftakhussolikhah, Kurniadi, M., Susanto, A., & Poeloengasih, C. D. (2014). Determinasi kandungan folat tepung tempe kedelai varietas Baluran pada berbagai variasi proses. In M. Yudiarti, E. Soekatri, S. Muslimatun, Purwanto, M. Ariani, Hardinsyah, Y. Egayanti, & L. B. Kardono (Eds.), *Widyakarya Nasional Pangan dan Gizi X* (pp. 773–780). LIPI Press.
117. Kurniadi, M., Angwar, M., **Frediansyah, A.**, Kusumaningrum, A., Rachmawati, D., & Garnis, M. (2019). The characteristics of fiber-rich cookies from modified cassava flour (Mocaf) as basic ingredients for emergency food. In A. B. Sitanggang, D. Herawati, & L. Nuraida (Eds.), *Proceeding of PATPI-SEAFast*

International Conference “Science Based Ingredients: The Future for Food in Asia” (pp. 137–147). Southeast Asian Food & Agricultural Science and Technology (SEAFAST) Center. <http://www.seafast.ipb.ac.id>

118. Kurniadi, M., Nurhikmat, A., Herawati, E. R. N., Susanto, A., **Frediansyah, A.**, & Purwadi, T. (2013). Uji coba pengolahan keong laut usal (*Turbo argyrostomus*) dalam kemasan kaleng. In *Prosiding Seminar Nasional PATPI 2013* (pp. 118–126). Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI).
119. Kurniadi, M., Poeloengasih, C. D., Miftakhussolikhhah, **Frediansyah, A.**, & Susanto, A. (2013). Karakteristik kimia dan sensoris tepung kacang-kacangan pada berbagai proses penepungan. In *Prosiding Nasional PATPI 2013* (pp. 365–372). Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI).
120. Kurniadi, M., Susanto, A., Laila, U., **Frediansyah, A.**, Raharjo, S., & Nurainy, F. (2014). Diversifikasi pengolahan keong laut (Mollusca) dalam berbagai ragam produk inovatif di Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta. In S. Hadi, N. Sa’diyah, Mulyono, N. Susanto, Erwanto, S. G. Saputro, D. Asmi, Subekti, K. Muludi, A. Lubis, Muhartono, Warsono, Yusnita, S. B. Yuwono, A. Sukohar, & Tugiyono (Eds.), *Prosiding Seminar Nasional Sains & Teknologi V* (pp. 1521–1533). Universitas Muhammadiyah Jakarta.

Kekayaan Intelektual

Paten Nasional Terdaftar

121. Istiqomah, L., **Frediansyah, A.**, Amdani, R. Z., Puspitasari, D. A., Rahmani, N., & Andriani, A. (2025). *Sediaan inokulum mutan jamur *Aspergillus niger* FNCC 6114 penghasil xilanase dan proses pembuatannya menggunakan iradiasi gamma* (Patent No. P00202514534). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

122. Fitrianto, N., Damayanti, E., Wanita, Y. P., **Frediansyah, A.**, Rosyida, V. T., Rahmawati, L., Aditya, S., Yulianti, Wahyono, T., Ekariyani, N. Y., Pamungkas, A. P., & Palindung, L. S. (2025). *Formulasi sediaan nanoselulosa bakteri resisten patogen pangan dari kultur campuran fermentasi kaskara dan proses pembuatannya* (Patent No. P00202513965). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
123. Sunaryanto, R., Basuki, W., **Frediansyah, A.**, Perdana, E. G., Lentaya, H. O., & Andriana, Y. (2024). *Formulasi minuman jamu beras kencur yang mengandung probiotik dan proses pembuatannya* (Patent No. P00202408719). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
124. **Frediansyah, A.**, Kurniadi, M., Susanto, A., Restuti, A., & Angwar, M. (2018). *Kecap organik dan proses pembuatannya* (Patent No. P00201810175). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
125. Prasedya, E. S., Cokrowati, N., Sunarwidhi, A. L., Khairinisa, M. A., **Frediansyah, A.**, Simangunsong, E. E., Ilhami, B. T. K., Astuti, N. K. P., & Widyastuti, S. (2022). *Proses pembuatan krim tabir surya Sargassum cristaefolium dengan penambahan kosolven propanediol (pra-formulasi)* (Patent No. S002002212699). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
126. **Frediansyah, A.**, Fitrianto, N., Sunaryanto, R., Pramono, A.K., Siregar, A.R., Utomo, A.R., Aziz, S.S.A. (2026). *Formula dan Proses Pembuatan Oncom Merah Kaya Antosianin* (Patent No. P00202604920). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
127. Sunaryanto, R., Pramisandi, A., Damayanti, E., Chaidir, Basuki, W., Nurmahmudi, Andriana, Y., Ikasari, D., **Frediansyah, A.**, Fitrianto, N. (2026). *Proses Fermentasi Menggunakan Kultur Bakteri Weissella confuse BK10 Untuk Memperbaiki Nutrisi Sorgum (Sorghum bicolor L. Moench)*. Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

128. Fitrianto, N., Damayanti, E., Rosyida, V.T., **Frediansyah, A.**, Sunaryanto, R., Herlina, V.T., Wanita, Y.P., Permadi, S.N., Aditya, S., Saputri, D.S., Rahmawati, L., Krisnawati, R., Amaliyah, S. (2026). *Formulasi Minuman Fungsional Kombucha Kaskara Robusta Diperkaya Acetobacter Sp. Serta Metode Pembuatannya* (Patent No. P00202605194). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

Paten Tersertifikasi

129. **Frediansyah, A.**, Kurniadi, M., Helmi, R. L., Nurhikmat, A., & Susanto, A. (2018). *Formula starter mengandung Lactobacillus plantarum untuk pembuatan mokaf dan proses pembuatannya* (Patent No. IDP000053695). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
130. Angwar, M., **Frediansyah, A.**, & Suharso, E. (2019). *Formula nutrisi tambahan yang mengandung cincau hitam (Mesona palustris) dan proses pembuatannya* (Patent No. IDP00065895). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
131. Angwar, M., Suharso, E., & **Frediansyah, A.** (2020). *Cincau hitam seduh dan proses pembuatannya* (Patent No. IDP000069712). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
132. Anwar, M., Damayanti, E., Sofyan, A., **Frediansyah, A.**, & Romadhoni, F. (2021). *Metode untuk memproduksi kitosan dengan media tumbuh jamur* (Patent No. IDP00074797). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
133. Kurniadi, M., **Frediansyah, A.**, Susanto, A., Juligani, B., & Angwar, M. (2021). *Proses pembuatan kopi lingzhi dan produk yang dihasilkannya* (Patent No. IDP000076883). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
134. Kurniadi, M., Susanto, A., Widiastuti, W., Herawati, E. R. N., Laila, U., Julendra, H., **Frediansyah, A.**, & Nurhayati, R. (2021). *Formulasi dan proses pembuatan makanan fungsional*

kaya kalsium berbasis rumput laut Ulva (Ulva sp.) (Patent No. IDP000075922). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

135. Praharasti, A. S., Suprapedi, Nurhikmat, A., Susanto, A., Khasanah, Y., **Frediansyah, A.**, Nurhayati, R., & Kusumaningrum, A. (2020). *Metode sterilisasi makanan dalam kemasan fleksibel* (Patent No. IDP000070840). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
136. Sunarpi, S., Prasedya, E. S., & **Frediansyah, A.** (2022). *Metode pembuatan bahan baku tabir surya dari rumput laut coklat Sargassum cristaefolium* (Patent No. IDS000005120). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

Hak Cipta

137. **Frediansyah, A.**, Prasedya, E. S., Cokrowati, N., Sunarwidhi, A. L., Khairinisa, M. A., Simangunsong, E. E., Ilhami, B. T. K., & Astuti, N. K. P. (2022). *Teknologi budidaya Sargassum cristaefolium menggunakan rakit apung*. Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

1. **Frediansyah, A.** (2010). *Karakterisasi komunitas mikroba pada tanah gambut Kalampangan yang aktif dalam penurunan emisi gas metan* [Skripsi Sarjana, Universitas Gadjah Mada].
2. **Frediansyah, A.** (2015). *Determination of aflatoxin (*Aspergillus flavus* toxin) from peanuts and peanut product in Indonesia and Thailand and assessment of its genotoxic effect in vitro* [Tesis Magister, Chulabhorn Graduate Institute]
3. **Frediansyah, A.** (2020). *Genome-driven search of natural products from Gram-negative bacteria* [Disertasi Doktorat, University of Tuebingen] (Catatan: URL di atas adalah contoh. Gantilah dengan URL repositori institusi yang sebenarnya jika tersedia.)
4. **Frediansyah, A.** (2022, 13 Januari). Dari laut Indonesia kita mungkin mendapatkan benteng penangkal virus corona. *The Conversation*. <https://theconversation.com/dari-laut-indonesia-kita-mungkin-mendapatkan-benteng-penangkal-virus-corona-174471>

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. DATA PRIBADI

Nama : Dr. rer. nat. Andri Frediansyah, S.Si., M.Sc.
Tempat, Tanggal Lahir : Sleman, 15 Januari 1989
Anak ke : 1 dari 2 bersaudara
Jenis Kelamin : Laki laki
Nama Ayah Kandung : Aiptu Amyah
Nama Ibu Kandung : Tri Wahyuning Astuti
Nama Istri/Suami : Winda Adipuri Ramdaningrum, S.Si., M.Sc.
Jumlah Anak : -
Nama Anak : -
Nama Unit : Pusat Riset Teknologi dan Proses Pangan
Nama Organisasi : Organisasi Riset Pertanian dan Pangan
Nama Instansi : Badan Riset dan Inovasi Nasional
Judul Orasi : Pendekatan Metabologenomik dalam Fermentasi Terkontrol untuk Mendukung Kemandirian Bahan Alam dan Pangan Fungsional di Indonesia
Ilmu : Biologi
Bidang : Fermentasi
Kepakaran : Mikrobiologi Bahan Alam dan Pangan Fungsional
No. SK Pangkat Terakhir : Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Nomor 312/IL.2/KP/2024, tanggal 13 September 2024, TMT 1 Oktober 2024
No. SK Peneliti Ahli Utama : Keputusan Presiden Republik Indonesia, Nomor 38/M TH 2023 tanggal 18 September 2023, TMT 10 Oktober 2023
Tautan Scopus : <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56897210000&eid=2-s2.0-84943603855>
Tautan Google Scholar : <https://scholar.google.co.id/citations?user=IL3u35YAAAAAJ&hl=id>

B. PENDIDIKAN FORMAL

No	Jenjang	Nama Sekolah/ PT/Universitas	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1	SD	Negeri Tahunan II	Yogyakarta	2000
2	SMP	Negeri 13	Yogyakarta	2003
3	SMA	Negeri 6	Yogyakarta	2006
4	S1	Universitas Gadjah Mada	Yogyakarta	2010
5	S2	Chulabhorn Graduate Institute	Bangkok, Thailand	2015
6	S3	Eberhard Karls Universität Tübingen	Tübingen, Jerman	2020

C. PENDIDIKAN NONFORMAL

No	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1	Pelatihan Strategi Coaching dan Mentoring Aktualisasi Latsar CPNS BRIN	Online	2025
2	Pelatihan Reviewer Proposal Pendanaan Riset dan Inovasi Batch 1 oleh Direktorat Pengembangan Kompetensi BRIN	Online	2025
3	Workshop Culture Meat and Food Safety dari Merck Indonesia	PRTPP BRIN, Yogyakarta, Indonesia	2025
4	Training of Trainers (TOT) Teaching Style bagi Calon Fasilitator Pelatihan Teknis Penulisan Ilmiah	Online	2024

No	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
5	Visiting Researcher	University of Florida, Florida, USA.	2023
6	Fulbright Visiting Scholar Workshop on Scientific Manuscript Publishing & Peer Reviews oleh Grant Training Center	Online di Amerika Serikat	2023
7	Workshop & Training: Knowledge Sharing for Sustainable Development in Indonesia	Double Tree Hotel, Jakarta, Indonesia	2021
8	ASEAN Workshop on 4 th Industrial Revolution: AI Implementation in Energy Efficiency, Cyber Security and Agriculture	Shangri-La Hotel, Jakarta, Indonesia	2020
9	International VAAM (Vereinigung für Allgemeine und Angewandte Mikrobiologie) Workshop 2019	Leibniz Institute for Natural Product Research and Infection Biology -Hans Knoll Institute, Jena, Germany	2019
10	LC Praxisseminar Flüssigkeitschromatographie	University of Tuebingen, germany	2019

No	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
11	4th de.NBI Genomics Workshop	Justus-Liebig- University Giessen, Germany	2018
12	Genome-Mining for Natural Products Workshop.	DTU Biosustain, Center for Biosustainability, Lyngby, Denmark	2018
13	Instrumentelle Verfahren und deren Anwendungen	Eberhard Karls Universität Tübingen, Germany	2017
14	Bioanalytik -Workshop	Eberhard Karls Universität Tübingen, Germany	2017
15	Diklat Teknis Penulisan KTI Terindeks Global Gelombang II	Bumi Gumati Convention Resort, Bogor, Indonesia	2015
16	Workshop Research Ethic for Science Student: Plagiarism	CGI, Bangkok, Thailand	2013
17	Pelatihan Darfting Paten Tingkat Lanjut	Bandung, Indonesia	2012
18	Pelatihan Drafting Paten Tingkat Dasar	Pulau Pari, Jakarta, Indonesia	2012
19	Environmental Protection and Green Technology Workshop	National Tsing Hua University, Hsinchu,Taiwan	2012
20	Diklat Fungsional Peneliti TInggkat Pertama Gelombang II	Pusbindiklat LIPI, Cibinong, Indonesia	2012

No	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
21	Pendidikan dan Pelatihan Prajabatan Golongan III	Pusbindiklat LIPI, Cibinong, Indonesia	2011

D. JABATAN FUNGSIONAL

No	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Peneliti Ahli Pertama	1 Juni 2013
2.	Peneliti Ahli Muda	1 September 2016
3.	Peneliti Ahli Madya	1 Maret 2022
4.	Peneliti Ahli Utama	18 September 2023

E. PENUGASAN KHUSUS NASIONAL/ INTERNASIONAL

No	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1.	Komisi Etik Bidang Kimia BRIN	Kepala BRIN	2022– sekarang
2.	Tim Pakar Komisi Pengalihan Material BRIN	Ketua Komisi Pengalihan Material BRIN	2025– sekarang
3.	Tim Reviu Program DBR - Manajemen Talenta BRIN	Direktur Manajemen Talenta BRIN	2025– sekarang
4.	Tim Reviu Call untuk Proposal Pendanaan RIIM Platform Kolaborasi Biologi Struktur Biomolekul Kenakeragaman Hayati	Kepala OR Hayati dan Lingkungan BRIN	2025– sekarang
5.	TIM Reviewer RIIM BRIN	Deputi Bidang Fasilitasi Riset dan Inovasi BRIN	2025– sekarang

F. KEIKUTSERTAAN DALAM KEGIATAN ILMIAH

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1	International VAAM Workshop 2019	Presenter	Jena, Jerman	2019
2	16 th Copenhagen Bioscience Conference: Natural Product-Discovery, Biosynthesis, and Application	Presenter	Copenhagen, Denmark	2019
3	Inovasi Pangan Fungsional untuk Pencegahan Stunting di Masa Pandemi	Narasumber	Online, Indonesia	2020
4	6 th International Symposium on Applied Chemistry (ISAC) – bandung	Moderator Keynote Speaker	Bandung, Indonesia	2020
5	Penemuan Bioaktif Mikroba Melalui Metabolomik” pada 15 th Biolecture Series of Gadjah Mada University	Narasumber	Online, Indonesia	2021
6	The 4 th International Conference on Bioscience and Biotechnology, Mataram	Keynote Speaker	Online, Indonesia	2021
7	Metebologenic of natural products di Universitas Teknologi Sumbawa	Narasumber	Online, Indonesia	2021

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
8	Food Toxicology untuk Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM)	Expert Speaker	Online, Indonesia	2022
9	Aplikasi Metabolomic dalam Penemuan Senyawa Bioaktif Baru dari Mikrob pada Forum Metabolomik Indonesia	Speaker	Online, Indonesia	2022
10	<i>Marine Product Diversity</i> pada International Guest Lecture MBKM Marine Pharmaceutical	Guest Lecture	Onlin, Indonesia	2022
11	Kuliah Potensi Mikroba sebagai Sumber Bahan Baku Bioaktif” – Universitas Mataram	Speaker	Online, Indonesia	2023
12	Food Processing Using Microbes: From Lab to Industry pada 5th Summer Course: Innovative Technology for Agriculture Sector in Society 5.0 – Fakultas Teknologi Pertanian, UGM	Speaker	Yogyakarta, Indonesia	2023

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
13	Strategi Penulisan KTI Bereputasi Tinggi – Perhimpunan Periset Indonesia Cabang Yogyakarta	Narasumber	Yogyakarta, Indonesia	2024
14	Kuliah Microbes as Industrial Agents” – Teknologi Industri Pertanian UGM	Narasumber	Yogyakarta, Indonesia	2024
15	2025 Fulbright Awards Pre-Departure Orientation	Speaker	Jakarta, Indonesia	2025
16	Kuliah Teknologi Omik untuk Eksplorasi dan Identifikasi Senyawa Hasil Fermentasi di UNSOED	Narasumber	Purwokerto, Indonesia	2025
17	The 5 th International Conference on Food Science and Engineering (ICFSE) 2025.	Guest speaker	Solo, Indonesia	2025
18	Public lecture and training workshop on writing national and international proposals	Speaker	Purwokerto, Indonesia	2026

G. KETERLIBATAN DALAM PENGELOLAAN JURNAL ILMIAH

No	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1	Asian Journal of Natural Product Biochemistry	Smujo International	Editorial Advisory Board	2020–2025
2	Samota Journal of Biological Sciences	UNRAM	Editorial Board	2023–sekarang
3	Microbes, Infection and Chemotherapy	The Universidad Nacional Hermilio Valdizán of Huánuco	Reviewer Board	2022–sekarang
4	Bioactives	Elsppublishing	Associate Editors	2025–sekarang
5	Jurnal PERMI	PERMI	Editorial Board	2025–sekarang
6	Gene Reports	Elsevier	Editorial Board (sebelumnya Associate Editor)	2025
7	Narra thera	Narra Sains Indonesia	Editor in Chef	2026–sekarang

H. CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET, DAN INOVASI

1. Karya Tulis Ilmiah

a) Kualifikasi Karya

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1	Buku Internasional	0
2	Buku Nasional	0
3	Bagian dari Buku Internasional	5
4	Bagian dari Buku Nasional	1
5	Jurnal Internasional	74
6	Jurnal Nasional	8
7	Prosiding Internasional	25
8	Prosiding Nasional	7
9	Paten Internasional	0
	Terdaftar	0
	Tersertifikasi	0
10	Paten Nasional	16
	Terdaftar	5
	Tersertifikasi	11
11	Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)	0
12	Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/Benih Unggul Tanaman Hutan	0
13	Hak Cipta	1
14	Desain Industri	0
15	Desain dan Tata Letak Sirkuit Terpadu	0
16	Transaksi Lisensi	0

b) Kualifikasi Penulis

No	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1	Penulis Tunggal	7
2	Bersama Penulis Lainnya	113
	Total	120

c) Kualifikasi Bahasa

No	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1	Bahasa Indonesia	13
2	Bahasa Inggris	107
3	Bahasa Lainnya	0
	Total	120

2. Kekayaan Intelektual

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1	Paten Internasional	0
	Terdaftar	0
	Tersertifikasi	0
2	Paten Nasional	16
	Terdaftar	8
	Tersertifikasi	8
3	Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)	0
4	Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/Benih Unggul Tanaman Hutan	0
5	Hak Cipta	1
6	Desain Industri	0
7	Desain dan Tata Letak Sirkuit Terpadu	0

3. Kerjasama bersama Mitra

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1	Transaksi Lisensi	0

I. PEMBINAAN KADER ILMIAH

Pejabat Fungsional Peneliti atau Perekayasa

No	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1	Dedy Kurnianto	BRIN	Ko-promotor S-3	2023
2	Jasmadi	BRIN	Ko-promotor S-3	2025
3	M. Kurniadi	LIPI	Penulisan KTI	2023

No	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
4.	Ardiba Safrienda	BRIN	Penulisan KTI	2024
5	Dr. Nendyo Adhi Wibowo	BRIN	Penguji S-3	2023
6	Dr. Vika Tresnadiana	BRIN	Mentor CPNS BRIN	2025

Mahasiswa

No	Nama	Perguruan Tinggi/ Universitas	Peran/Tugas	Tahun
1	Rahayu Sri Rejeki	Universitas Sebelas Maret	Pembimbing II Skripsi	2016
2	Suryani	UIN Sunan Kalijaga	Pembimbing II Skripsi	2016
3	Fitrio Romadhoni	Universitas Islam Indonesia	Pembimbing PKL	2016
4	Faleria Sandra Puspita	Universitas Negeri Semarang	Pembimbing PKL	2021
5	Yaumi Nur Aziziy	Universitas Teknologi Sumbawa	Pembimbing II Skripsi	2021
6	Solihatun Amidan Amatul Aziz	Universitas Jendral Soedirman	Pembimbing II Skripsi	2021
7	Fida La'alia Azzahra	Universitas Jendral Soedirman	Pembimbing II Skripsi	2021
8	Laila Syarfina Salma	Universitas Brawijaya	Pembimbing II Skripsi	2022
9	La Arlan	Universitas Brawijaya	Pembimbing PKL	2022

No	Nama	Perguruan Tinggi/ Universitas	Peran/Tugas	Tahun
10	Yogi Aditya Mahardika	Universitas Gadjah Mada	Pembimbing II Skripsi	2022
11	Deidita Nafisa Wahyudi	Universitas Padjajaran	Ko-promotor Tesis S2	2022
12	Izzika Shafana	Universitas Syiah Kuala	Pembimbing PKL	2023
13	Marwah Amalia	Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta	Pembimbing II Skripsi	2023
14	Dhea Sandra Fitriany	Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta	Pembimbing II Skripsi	2023
15	Maria Abella	Universitas Mataram	Pembimbing II Skripsi	2023
16	Baiq Tina Apriana	Universitas Mataram	Pembimbing II Skripsi	2023
17	Wanda Qoriasmadillah	Universitas Mataram	Pembimbing II Skripsi	2023
18	Ervina Handayani	Universitas Mataram	Pembimbing II Skripsi	2024
19	Nur Azizah	Universitas Mataram	Pembimbing II Skripsi	2024
20	Muhammad Afif Pandy Putra	Universitas Jendral Soedirman	Pembimbing II Skripsi	2024
21	Roidah Cahya Wati	Universitas Jendral Soedirman	Pembimbing II Skripsi	2024
22	Hayatun Nufus	Universitas Jendral Soedirman	Pembimbing RA	2024

No	Nama	Perguruan Tinggi/ Universitas	Peran/Tugas	Tahun
23	Salfa Athala Agtari Nabilah	Universitas Gadjah Mada	Pembimbing RA	2024
24	Ika Octariyani Safitri	Universitas Gadjah Mada	Pembimbing <i>Postdoc</i>	2024
25	Siti Nurmilah	Universitas Padjajaran	Ko-promotor Disertasi S3	2025
26	Fitria Nurul Afifah	Universitas Jendral Soedirman	Co-promotor Tesis S2	2025
27	Aldi Pedriyan	Universitas Jendral Soedirman	Ko-promotor Tesis S2	2025
28	Dara Oktafaza Rosyad	Universitas Padjajaran	Ko-promotor Tesis S2	2025
29	Nunung Eni Elawati	Universitas Gadjah Mada	Ko-promotor Disertasi S3	2025
30	Salsabila Firdausa	Universitas Syiah Kuala	Ko-promotor Tesis S2	2025
31	Angga Rendyantoni Puji Utomo	Universitas Negeri Yogyakarta	Ko-promotor Disertasi S3	2025
32	Dini Safitri	Universitas Mataram	Pembimbing II Skripsi	2025
33	Syatira Anum Davi	Universitas Mataram	Pembimbing II Skripsi	2025
34	Solihatun Amidan Amatul Aziz	Universitas Gadjah Mada	Ko-promotor Tesis S2	2025
35	Rahmat Setiawan	Universitas Hasanuddin	Ko-promotor Tesis S2	2026

J. Organisasi Profesi Ilmiah

No	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1	Anggota	Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI)	2016–sekarang
2	Anggota	Perhimpunan Periset Indonesia (PPI)	2020–sekarang
3	Anggota	Asosiasi Metabolomik Indonesia	2020–sekarang
4	Anggota	American Society for Pharmacognosy	2018–sekarang
5	Anggota	American Society for Microbiology	2024–sekarang
6	Anggota	Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia	2025–sekarang

K. Tanda Penghargaan

No	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1	<i>Best Student Award</i>	Putera Sampoerna Foundation dan Standard Chartered Bank	2008
2	Beasiswa S1 (B.Sc. scholarship)	Tanoto Foundation	2008–2010
3	<i>Travel Award by Energy Carta to attend the Asian Youth Energy Summit (AYES) 2009 di National University of Singapore</i>	Energy Carta	2009

No	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
4	<i>Travel Award by Taiwan Gov. to attend Environmental Protection and Green Technology Workshop, National Tsing Hua University, Taiwan</i>	Pemerintah Taiwan	2012
5	<i>Third Winner of Poster Presenter at the 4th International Conference of Indonesian Society for Lactic Acid Bacteria (ISLAB)</i>	ISLAB	2013
6	Beasiswa S2 (M.Sc. scholarship)	ASEAN Foundation	2013–2015
7	<i>Best Student Research Award</i>	Japan Society for Environmental Chemistry	2014
8	Beasiswa S3 (PhD scholarship)	RISSET-Pro	2017–2020
9.	<i>Novo Nordisk Travel Award to attend the Copenhagen Bioscience Conference—Natural Products, Denmark</i>	Novo Nordisk Foundation	2019
10.	<i>First Winner of Poster Presenter at the 5th International Conference of Indonesian Society for Lactic Acid Bacteria and Gut Microbiota (5th IC-ISLAB-GM)</i>	ISLAB	2020

No	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
11	<i>Fellowship to attend the 9th edition of the Global Young Scientists Summit (Singapore)</i>	Global Young Scientists Summit	2021
12	Satyalancana Karya Satya X	Presiden Republik Indonesia	2021
13	<i>Fulbright Grant Award Recipient</i>	Fulbright	2023
14	<i>Returning Expert Recognition</i>	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH	2024
15	Finalis “ <i>Young Scientist Award</i> ” (Kategori Peneliti)	Perhimpunan Periset Indonesia	2025
16	<i>World’s Top 2% Scientist</i>	Elsevier / Stanford University	2023, 2024, 2025