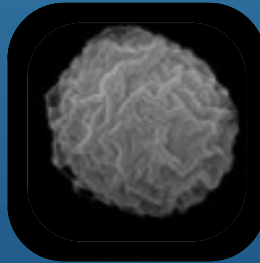




## **ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET BIDANG MIKROBIOLOGI**

# **DIVERSITAS KHAMIR INDONESIA UNTUK PENGEMBANGAN BIOFUEL DAN BIOINDUSTRI**



**OLEH:  
ATIT KANTI**

**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL  
JAKARTA, 8 DESEMBER 2022**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

**DIVERSITAS KHAMIR INDONESIA  
UNTUK PENGEMBANGAN BIOFUEL  
DAN BIOINDUSTRI**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Diterbitkan pertama pada 2022 oleh Penerbit BRIN

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



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

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

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



**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET  
BIDANG MIKROBIOLOGI**

**DIVERSITAS KHAMIR INDONESIA  
UNTUK PENGEMBANGAN BIOFUEL  
DAN BIOINDUSTRI**

OLEH:  
**ATIT KANTI**

**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL  
JAKARTA, 8 DESEMBER 2022**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2022 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)  
Pusat Riset Biosistemika dan Evolusi

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Diversitas Khamir Indonesia untuk Pengembangan Biofuel dan Bioindustri/Atit Kanti–Jakarta:  
Penerbit BRIN, 2022.

xi + 64 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-623-8052-43-1 (cetak)  
978-623-8052-44-8 (e-book)

- |                   |            |
|-------------------|------------|
| 1. Mikroorganisme | 2. Khamir  |
| 3. Jamur          | 4. Biofuel |
| 5. Bioindustri    |            |

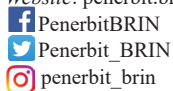
571.2

*Copy editor* : Apriwi Zulfitri  
*Proofreader* : Mayasuri Presilla  
Penata Isi : Rahma Hilma Taslima  
Desainer Sampul : S. Imam Setyawan

Cetakan : Desember 2022



Diterbitkan oleh:  
Penerbit BRIN, Anggota Ikapi  
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah  
Gedung B. J. Habibie, Jl. M. H. Thamrin No.8,  
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,  
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340  
Whatsapp: 0811-8612-369  
*E-mail*: penerbit@brin.go.id  
*Website*: penerbit.brin.go.id



Buku ini tidak diperjualbelikan.

## BIODATA RINGKAS



**Atit Kanti**, lahir di Bandung, 2 November 1968 merupakan anak keenam dari tujuh bersaudara. Terlahir dari pasangan Bapak Drs. H. Iswara (alm.) dan Ibu H. Ketut Subakti. Menikah dengan Prof. Dr. I Made Suidiana, M.Sc, dan dikaruniai dua orang anak, yaitu Ni Luh Putu Jiesta Padmi Suidantari dan Made Padma Wianantha.

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

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor : 299/I/HK/2022 tanggal 6 Oktober 2022 tentang Pembentukan Majelis Pengukuhan Profesor riset, yang bersangkutan dapat melakukan pidato pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar (SD) Negeri Karang Pamulang Bandung tahun 1981, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 13 Bandung tahun 1984, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 8 Bandung tahun 1987. Memperoleh gelar Sarjana (S1) Bidang Biologi dari Universitas Padjadjaran Bandung tahun 1993; gelar Master of Science (MSc) bidang Taksonomi khamir dari Tokyo University of Agriculture, Tokyo-Jepang tahun 2000; dan gelar Doktor di bidang Mikrobiologi dari Institut Pertanian Bogor tahun 2014.

Beberapa pelatihan yang pernah diikuti dan terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain pelatihan bidang mikro-

biologi di AIST Tsukuba Jepang tahun 1997, Biosistematika Mikroorganisme Training di Tsukuba-Jepang tahun 2004, pelatihan Biosistematika oleh Japan Society Promotion for Science (JSPS) tahun 2005, CSIRO Training Bioassay Mikroorganisme tahun 2005, pelatihan Laboratory Good Practical tahun 2006, pelatihan Microbial Bsystematic and Conservation oleh JSPS di Tokyo University tahun 2006, Chemotaxonomy Training di Tokyo tahun 2007, Biosistematika Mikroorganisme Training di NBRC tahun 2008, Penyimpanan Mikroorganisme Training di MAFF Tokyo-Jepang tahun 2009, ISO 9001 Kultur Koleksi Mikroorganisme Training di NBRC di Jepang tahun 2011, Training Penyimpanan Mikroorganisme Dengan Sistem Beku di Vietnam Culture Collection, Vietnam tahun 2012, Access Benefit Sharing Training di NBRC-Jepang tahun 2012, Training Data Base Management di China tahun 2012; Training Aplikasi Khamir Untuk Biodiesel, University California, Davis, 2012, 2014; dan Training Pengelolaan Kultur Koleksi Mikroorganisme di NBRC-Jepang, tahun 2013, 2015, dan 2016. Selain itu, sebagai pembicara tamu mengenai Access Benefit Sharing, Universitas Gottingen, Jerman, 2017. Pembicara tamu pada pertemuan Konsorsium Kultur Koleksi Asia, Taiwan, 2017. Pembicara tamu pada Workshop Academia-Access Benefit Sharing, Jepang, 2018. Pembicara tamu pada Konsorsia Kultur Koleksi Asia, Mongolia, 2018. Pembicara tamu pada wokrshop Culture Collection Management di Malaysia, 2019.

Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Bidang Mikrobiologi Pusat Penelitian Biologi-LIPI (2015–2018) dan Kepala Pusat Penelitian Biologi-LIPI (2019–2021).

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Pertama, tahun 1998; Peneliti Ahli Muda, tahun 1999; Peneliti Ahli Madya, tahun 2007; dan Peneliti Ahli Utama, tahun 2019.

Sejumlah karya tulis ilmiah, baik yang ditulis sendiri maupun dengan penulis lain telah diterbitkan sebanyak 86 karya

tulis ilmiah terdiri dari 9 dalam bentuk buku, 74 jurnal, prosiding, dan makalah, yang 62 di antaranya dalam bahasa Inggris. Penulis memperoleh dua buah paten Indonesia tersertifikasi dan satu paten terdaftar.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing jabatan fungsional peneliti pada bidang Mikrobiologi, Pusat Penelitian Biologi, pembimbing S-1, S-2, dan S-3, serta penguji disertasi S-3.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu sebagai ketua Forum Komunikasi Kurator Mikroorganisme-FORKOMIKRO (2017-2022), wakil ketua Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia Pusat (2018-sekarang), Komite IP, PATEN, dan Komersialisasi pada Federasi Kultur Koleksi Internasional-WFCC (2016-sekarang).

Sejumlah penghargaan telah diperoleh, yaitu penghargaan mahasiswi teladan Fakultas MIPA, Universitas Padjajaran tahun 1992; Best Graduate Student Award dari Tokyo University of Agriculture tahun 2000; peneliti dengan publikasi jenis baru Mikroorganisme terbanyak tahun 2018 di Pusat Penelitian Biologi-LIPI; Satyalancana Karya Satya X Tahun (2006); X Tahun (2007); dan XX Tahun 2014 dari Presiden Republik Indonesia.

Buku ini tidak diperjualbelikan.





## DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS .....	v
PRAKATA PENGUKUHAN .....	xi
I. PENDAHULUAN.....	1
II. PERKEMBANGAN PENELITIAN KHAMIR.....	4
III. KERAGAMAN KHAMIR INDONESIA.....	9
3.1 Keragaman Khamir Ascomycetous.....	10
3.2 Keragaman Khamir Basidiomycetes.....	11
3.3 Pengungkapan Taksa Baru.....	13
IV. KHAMIR UNTUK BIOPROSPEKSI .....	16
4.1 Khamir penghasil etanol.....	16
4.2 Khamir pengakumulasi lipid <i>oleaginous</i> .....	17
4.3 Peluang penggunaan khamir untuk produksi bahan obat.....	19
4.4 Peluang bioprospeksi mikroorganisme lain .....	20
4.5 Praperlakuan untuk substrat kompleks .....	20
V. KETERSEDIAAN KHAMIR UNTUK PENGEMBANGAN BIOFUEL DAN BIOINDUSTRI.....	22
5.1 Peran kultur koleksi .....	22
5.2 Teknologi penapisan.....	23
5.3 Pentingnya kerjasama.....	23
VI. KESIMPULAN.....	25
VII. PENUTUP.....	26
UCAPAN TERIMA KASIH .....	27
DAFTAR PUSTAKA.....	30
LAMPIRAN.....	39
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	42
DAFTAR PATEN .....	53
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA.....	54
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	55



## PRAKATA PENGUKUHAN

*Bismillaahirrahmaanirrahiim.*

*Assalamu 'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.*

Salam sejahtera untuk kita semua.

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

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

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

**“DIVERSITAS KHAMIR INDONESIA UNTUK  
PENGEMBANGAN BIOFUEL DAN BIOINDUSTRI”**

Buku ini tidak diperjualbelikan.



## I. PENDAHULUAN

Khamir atau *yeast* adalah organisme uniseluler (bersel tunggal) eukariotik diklasifikasikan sebagai anggota kerajaan jamur. Khamir memegang peran penting dalam berbagai aspek kehidupan manusia<sup>1</sup>. Khamir berperan sangat sentral pada bioindustri, namun penelitian tentang taksonomi, keragaman jenis, dan pengembangannya untuk kesejahteraan masih perlu ditingkatkan. Sampai sekarang dikenal sekitar 2000 jenis khamir. Belum banyak laporan mengungkapkan keragaman khamir dan penggunaannya dalam pengembangan bioprospeksi di Indonesia. Penelitian khamir diharapkan mampu memberikan dampak signifikan terhadap kehidupan manusia. Kegiatan bioprospeksi yang makin signifikan pada awal abad ke-20 tidak terlepas dari hasil penelitian mikroorganisme, terutama khamir yang sudah dimulai sejak beberapa ratus tahun lalu<sup>2</sup>.

Bukti arkeologi keberhasilan pengembangan bioindustri berbasis khamir dalam proses pembuatan minuman beralkohol dimulai dari tahun 6000–5800 SM<sup>3</sup>. Awal pemanfaatan khamir secara modern adalah untuk produksi minuman anggur dari buah anggur. Selanjutnya berkembang budaya *viticulture*, yaitu pembukaan perladangan anggur di wilayah Southern Caucasus (meliputi Armenia, Georgia, dan Azerbaijan) yang kemudian menyebar ke Asia Barat, terutama Turki dan Iran bagian utara<sup>4</sup>. Teknologi fermentasi untuk produksi anggur terus berkembang ditandai dengan variasi bahan dasar berupa beras yang dicampur dengan anggur sudah dilakukan di Tiongkok pada awal abad ke-7<sup>5</sup>. Saat ini pemanfaatan khamir tidak hanya terbatas pada memfermentasi makanan dan minuman, tetapi mulai dikembangkan untuk produksi obat, biopestisida, biofungisida, dan bahkan untuk pembuatan biofuel, seperti etanol dan

biodiesel<sup>6</sup>. Bioindustri tersebut memerlukan variasi jenis khamir atau mikroorganisme lain sebagai kultur campuran sesuai target produk yang akan dikembangkan.

Peneliti dalam bidang bioindustri berbasis *bioresources* selalu berlomba mendapatkan variasi jenis mikroorganisme termasuk khamir yang mempunyai sifat fisiologi dan ketahanan hidup sehingga dapat dikembangkan untuk berbagai keperluan industri. Saat ini kontribusi bioindustri berbasis pemanfaatan mikroorganisme mencapai 15% dari *total global market*<sup>7</sup>. Sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki keragaman jenis mikroorganisme yang sangat penting dipelajari dan dikembangkan untuk menunjang kegiatan bioprospeksi demi kesejahteraan bangsa. Namun, hanya sebagian kecil (< 1%) dari jutaan jenis telah berhasil diisolasi dan dimanfaatkan untuk bioindustri. Dalam hal ini, taksonom mempunyai peran penting dalam melakukan proses seleksi awal terhadap takson-takson potensial untuk produk tertentu, misalnya marga *Saccharomyces* yang berperan dalam produksi etanol.

Pusat Penelitian Biologi LIPI yang sekarang menjadi Pusat Riset dan Biosistematika BRIN berkontribusi besar terhadap telaah kekayaan jenis dan kajian taksonomi flora<sup>8,9</sup>, fauna, dan mikroorganisme<sup>10</sup>. Upaya tersebut perlu dilanjutkan secara optimal untuk mendukung pembangunan nasional berbasis pemanfaatan keanekaragaman hayati<sup>11,12</sup>. Orasi ini memberikan argumen tentang pentingnya telaah taksonomi kekayaan hayati khamir Indonesia untuk dapat dimanfaatkan secara lebih optimal, terencana, dan terorganisasi dengan baik. Di samping itu, memberikan solusi dalam penyediaan sumber energi terbarukan

yang ramah lingkungan dan menstimulasi perkembangan bioindustri nasional berbasis mikroorganismenya unggul.

Fokus orasi ini akan menguraikan telaah taksonomi keragaman jenis khamir Indonesia untuk mendukung kegiatan bioprospeksi berbasis mikroorganismenya. Telaah meliputi 4 bagian, yaitu (1) pengungkapan keragaman dan keunikan fisiologi jenis khamir Indonesia termasuk pengungkapan taksonomi baru, (2) perlunya deponitori mikroorganismenya untuk menjamin viabilitas yang tinggi, (3) pentingnya distribusi khamir untuk mendukung kegiatan penelitian dan pengembangan biofuel dan bioindustri, dan (4) kerjasama kultur koleksi dalam pengelolaan mikroorganismenya dan peluang pemanfaatannya untuk keuntungan ekonomi.

Orasi diakhiri dengan peluang dan tantangan dalam pengelolaan berbasis khamir untuk mendukung pengembangan kegiatan penelitian biofuel dan bioindustri.



## II. PERKEMBANGAN PENELITIAN KHAMIR

Khamir telah ditemukan sejak ratusan juta tahun lalu. Saat ini telah diidentifikasi sekitar 1.500 jenis dari 149 marga khamir atau 1% dari semua jenis jamur yang telah dideskripsikan<sup>5,13</sup>. Khamir berevolusi dari nenek moyang multisel, beberapa jenis di antaranya memiliki kemampuan untuk mengembangkan karakteristik multiseluler dengan membentuk sel tunas yang terhubung dikenal sebagai hifa palsu. Ukuran khamir sangat bervariasi tergantung pada jenis dan habitatnya biasanya antara 3–4  $\mu\text{m}$ , namun ada beberapa khamir yang dapat tumbuh hingga 40  $\mu\text{m}$ . Sebagian besar jenis khamir berkembang biak secara asexual melalui mitosis dan sebagian melakukannya dengan proses pembelahan asimetris yang dikenal sebagai tunas<sup>2</sup>.

Khamir merupakan jamur bersel tunggal, dapat dikontraskan dengan jamur multisel, yang membentuk hifa. Khamir tidak membentuk pengelompokan taksonomi atau filogenetik tunggal. Istilah "*yeast*" sering digunakan sebagai sinonim dari *Saccharomyces cerevisiae*, tetapi keragaman filogenetik khamir ditunjukkan oleh penempatannya dalam dua filum terpisah, yaitu *Ascomycota* dan *Basidiomycota*<sup>4</sup>.

Perkembangan penelitian taksonomi khamir dimulai sekitar tahun 1836, yaitu pada saat Charles Cagniard-Latour, Friedrich Ku tzing, dan Theodor Schwann melaporkan untuk pertama kalinya bahwa khamir merupakan organisme hidup<sup>4</sup>. Pada saat itu telah dikenal penamaan nama jenis mengikuti aturan binomial (*Latinized binomial system of Carolus Linnaeus*). Selanjutnya pada tahun 1838 Julius Meyen menemukan tiga jenis *Saccharomyces* (*a Latin form of Schwann's Zuckerpilz*), yaitu *S. cerevisiae*, *S. pomorum*, dan *S. vini*. Nama yang diberikan mewakili sampel yang diisolasi dari bir, fermentasi jus apel, serta

*wine* (anggur). Penemuan ini merupakan titik awal verifikasi pentingnya *S. cerevisiae* untuk mengubah karbohidrat menjadi karbon dioksida dan alkohol yang telah mengakar selama ratusan tahun. *S. cerevisiae* juga merupakan model organisme sentral dan penting dalam penelitian biologi sel modern, dan merupakan salah satu mikroorganisme eukariotik yang paling banyak diteliti.

Kuřzin sebenarnya telah mendeskripsikan marga *Cryptococcus* pada tahun 1833 untuk jasad renik dengan ciri bentuk *globular*, mikroskopik, tidak berwarna, *hyaline* sebagai fungi dan memberikan nama 16 jenis *Cryptococcus* pada tahun 1849. Namun, penelitian lebih lanjut membuktikan bahwa sebagian dari jenis tersebut merupakan mikroalga<sup>2,4,5</sup>. Selanjutnya, empat tahun berikutnya Jacomina Lodder melakukan revisi penamaan terhadap *Cryptococcus* karena tidak dibenarkan secara taksonomi, karena termasuk *nomen dubium* (nama tidak pasti) dan *nomen confusum* (nama tidak jelas). Setelah itu, penelitian tentang taksonomi marga *Cryptococcus* banyak dilakukan oleh peneliti barat, seperti Charles Skinner, Nelly Kreger-van Rij, dan Jules de Seynes. Pada tahun 1836–1899 ada sekitar 205 khamir yang berhasil diisolasi, tetapi hanya 94 jenis saja yang masih bisa ditelusuri<sup>5</sup>. Di antaranya *Zygosaccharomyces rouxii* diisolasi dari jahe tahun 1901; *S. capsularis* diisolasi dari tanah pegunungan Alpen di Swiss tahun 1903; *Pichia membranifaciens* dari eksudat tanaman dan *P. anomala* diisolasi dari *brewer* di Bavaria tahun 1904; *S. selenospora* diisolasi dari eksudat tanaman Oak tahun 1928; dan *Scistobalastoporion starkeyi-henrichii* diisolasi dari tanah tahun 1930. Pada tahun 1990-an Kurtzman mulai mengintroduksi analisis filogeni molekuler yang akhirnya mengubah diversitas

dan kedudukan takson khamir dan polanya masih diikuti sampai sekarang<sup>1</sup>.

Para peneliti juga telah menggunakan khamir untuk mengumpulkan informasi tentang biologi sel eukariotik. Secara medis *Candida albicans* adalah salah satu khamir patogen oportunistik dan dapat menyebabkan infeksi pada manusia<sup>1</sup>.

Teknologi pemanfaatan khamir dalam industri mulai diperkenalkan pada tahun 1867, yaitu awal pemanfaatan produksi inokulan khamir untuk mempercepat laju fermentasi alkohol dan menghasilkan aroma dengan teknologi *filter press*. Kemudian pada tahun 1872, Baron Max de Springer mengembangkan proses khamir granul untuk pembuatan roti, proses ini digunakan hingga Perang Dunia I<sup>5</sup>. Bahkan baru-baru ini khamir juga digunakan untuk menghasilkan listrik dalam sel bahan bakar mikroorganisme, dan menghasilkan etanol untuk industri biofuel<sup>14</sup>.

Rangkaian penelitian taksonomi telah memberikan kontribusi nyata dari para peneliti taksonomi, sebagai suatu ilmu dasar, terhadap awal perkembangan penelitian khamir untuk telaah kajian diversitas dan eksplorasi potensinya untuk kesejahteraan umat manusia<sup>3</sup>. Tanpa ilmu dasar tersebut, tidak akan ada industri berbasis khamir yang berkembang pesat seperti saat ini. Penelitian khamir secara intensif telah dilakukan oleh Dr. Susono Saono dan Dr. Jenny Kristiatiy, di Laboratorium Mikrobiologi, Puslitbang Biologi. Mereka menggunakan ragi dan makanan fermentasi sebagai sumber utama sampel<sup>15</sup>. Kemudian isolat tersebut dipelajari karakter fisiologinya oleh penulis.

Secara umum berdasarkan karakter fisiologinya, khamir pada ragi dibagi menjadi tiga kelompok besar, yaitu khamir dengan kemampuan daya fermentasi menghasilkan etanol,

khamir amilolitik, dan khamir yang mempunyai kemampuan amilolitik dengan daya fermentasi yang rendah<sup>10</sup>.

Diversitas khamir pada ragi di Indonesia sangat beragam, berdasarkan hasil penelitian penulis terkait *microflora* yang terkandung dalam ragi, kualitas produk sangat tergantung kepada pengrajin ragi di masing-masing daerah. Standardisasi pembuatan ragi di Indonesia belum dilakukan sehingga kualitas produk fermentasi berbasis ragi sangat dipengaruhi oleh kualitas ragi. Penelitian diversitas khamir pada ragi dapat menjadi basis pengembangan industri ragi yang terstandar sehingga dapat memacu perkembangan industri makanan tradisional Indonesia.

Ditinjau dari sejarah taksonominya, khamir tidak hanya berasal dari minuman dan makanan tradisional, tetapi juga dari alam. Oleh karena itu, dilakukan eksplorasi khamir tidak hanya dari makanan fermentasi tetapi juga yang berasal dari alam. Hasil-hasil penelitian khamir sudah mulai banyak ditinjau dari sudut keragaman jenis, taksonomi, dan keperluan bioindustri untuk menunjang penelitian biofuel masa depan<sup>16, 17, 18</sup>.

Baru-baru ini para peneliti juga mengkaji diversitas khamir yang hidup di laut untuk dipelajari sifat-sifat unggulnya agar dapat digunakan untuk berbagai keperluan<sup>19</sup>. Misalnya, untuk produksi senyawa bioaktif, seperti *glutathione*, enzim, dan *phytase* yang diaplikasikan dalam industri makanan, farmasi, dan kimia serta untuk budidaya laut dan perlindungan lingkungan. Kegiatan penggunaan khamir untuk pengembangan produk harus diawali dengan pemahaman karakter fisiologi, kelanggengan genetik, tingkat viabilitas, dan validitas identifikasi<sup>20, 21, 22</sup>.

Khamir merupakan organisme *chemoorganotrophs* yang pertumbuhannya menggunakan senyawa organik, seperti glukosa dan fruktosa, atau disakarida, seperti sukrosa dan maltosa sebagai sumber energi. Beberapa jenis khamir dapat

melakukan metabolisme gula pentosa, seperti ribosa, alkohol, dan asam organik. Namun, beberapa jenis lainnya membutuhkan oksigen untuk respirasi seluler aerob (aerob obligat) atau bersifat anaerob, tetapi juga memiliki metode aerobik dalam produksi energi (anaerob fakultatif). Sebagian besar khamir tumbuh paling baik di lingkungan pH 7,0 atau sedikit asam<sup>13,23,24,25</sup>.

Khamir dapat tumbuh pada rentang suhu cukup luas, misalnya *Leucosporidium frigidum* tumbuh pada  $-2-20^{\circ}\text{C}$ , *S. telluris* pada  $5-35^{\circ}\text{C}$ , dan *C. slooffi* pada  $28-45^{\circ}\text{C}$ . Sel-sel dapat bertahan beku pada kondisi tertentu namun viabilitas akan menurun dari waktu ke waktu. Dengan demikian, pemahaman terhadap karakter fisiologis khamir sangat diperlukan untuk menunjang kegiatan bioprospeksi yang efektif<sup>13,14,23</sup>.

### III. KERAGAMAN KHAMIR INDONESIA

Indonesia sebagai negara tropis diperkirakan mempunyai keragaman jenis khamir dengan variasi tinggi<sup>12,26,27,28</sup>. Namun, telaah kekayaan jenis khamir yang berasal dari makanan fermentasi dan lingkungan alami masih terbatas<sup>10,29,30</sup>. Identifikasi kekayaan jenis khamir berdasarkan karakter morfologi dan khemo taksonomi digunakan sebagai dasar untuk mengulas keragaman jenisnya. Adapun kriteria pengelompokan taksa meliputi (a) ukuran dan bentuk dari sel; (b) struktur dinding sel; (c) cara perkembangan vegetatif; (d) kemampuan berkembang secara seksual; dan (e) kemampuan menggunakan variasi sumber karbon dan nitrogen. Namun, sejak tahun 1970-an karakteristik dari DNA dan RNA juga menjadi salah satu kriteria untuk identifikasi yang akurat<sup>1,2,4,13</sup>.

Khamir mempunyai distribusi ekologi yang sangat luas dan dapat tumbuh pada berbagai jenis substrat. Sangat sulit untuk menjawab apakah khamir bersifat endofitik<sup>13</sup> atau tidak. Oleh karena itu, untuk memahami rentang hidup khamir, sumber sampel yang diperkirakan mengandung khamir harus diambil dari berbagai jenis material hidup atau mati (tanah, serasah, kayu, tanaman, tumbuhan, serangga, dll)<sup>12,31</sup>. Jenis khamir yang hidup pada masing-masing sumber sampel sangat bervariasi<sup>32,33,34</sup>. Seperti diketahui banyak mikroorganisme hidup di tanah, tetapi jumlah jenis khamir yang dapat diisolasi dari tanah lebih sedikit dari serasah. Marga *Candida* adalah khamir yang dominan di isolasi tanah, sedangkan khamir yang diisolasi dari tanaman, seperti siri sangat beragam jenisnya<sup>35,36,37</sup>.

Distribusi dan keragaman jenis khamir dari setiap jenis sampel sulit diungkapkan karena pengungkapannya tergantung pada teknik isolasi yang digunakan. Teknik pengembangan pe-

nelitian khamir telah dilakukan secara sangat intensif pada tahun 2003-2016. Dari penelitian berhasil diungkapkan kekayaan jenis khamir asal Liwa (Sumatera), Kutai (Kalimantan), Enrekang (Sulawesi), Bali, Kupang (NTT), Cibodas, dan Cibinong (Jawa Barat). Dari 515 isolat dapat diverifikasi 306 isolat dari 48 jenis dari 18 marga, sedangkan 209 di antaranya merupakan isolat yang belum terdeskripsi sehingga merupakan kandidat taksa baru dan diperlukan verifikasi lebih dalam<sup>28,38</sup>. Pada umumnya, marga khamir yang ditemukan dari semua jenis sampel adalah *Aureobasidium*, *Cryptococcus*, *Pseudozyma*, *Rhodotorula*, dan *Sporodiobolus*.

Proses identifikasi telah mengalami proses perkembangan dengan menggunakan kit-kit yang mampu secara cepat mengidentifikasi kelompok dari khamir yang sedang diteliti. Sebagai contoh, beberapa perusahaan telah mengembangkan teknik *analyses profile index* (API). Kelebihan teknik ini adalah dapat digunakan dengan cepat untuk proses identifikasi khamir, tetapi diperlukan latihan secara berulang kali dan ulangan yang memadai untuk mendapatkan hasil akurat. Pada akhirnya, peneliti memilih mengembangkan analisis molekuler, yaitu analisis D1/D2, 18S rDNA, dan 26S rDNA<sup>13</sup>.

### 3.1 Keragaman Khamir Ascomycetous

Khamir yang tergolong dalam kelas Ascomycetous merupakan khamir yang membentuk askospora sehingga pengenalannya didahului dengan analisis morfologi, yaitu pembentukan askospora. Pengamatan dapat diketahui dengan observasi spora menggunakan beberapa jenis media khusus untuk memacu pembentukan spora<sup>2,4,11,13</sup>. Identifikasi lebih lanjut dilakukan dengan analisis asimilasi dan fermentasi sumber karbon tertentu, seperti glukosa, fruktosa, dan lain-lain. Selanjutnya, untuk karakterisasi jenis dan anak jenis digunakan sekitar 42 sumber karbon.

Penggunaan sumber nitrogen dan aseptor elektron menjadi patokan dasar untuk identifikasi jenis.

Seperti telah disebutkan, khamir mempunyai distribusi ekologi yang luas. Khamir *Ascomycetes* termasuk dalam kelompok monofiletik dengan satu urutan anesor dari sekitar 1.000 jenis yang telah diketahui. Khamir hidup sebagai saprob, sering hidup dalam hubungan dengan tanaman maupun hewan, dan terkandung dalam makanan fermentasi. Khamir sangat terkait dengan proses industri dan rekayasa bioteknologi penting. Khamir yang populer adalah ragi pembuat roti, bir, dan sintesis protein rekombinan<sup>13</sup>.

Khamir biasanya bereproduksi secara aseksual dengan tunas, dan secara seksual menggunakan tubuh buah<sup>2</sup>. Khamir dari kelompok *Ascomycetes* diisolasi dari berbagai jenis sampel, seperti makanan fermentasi, tanah, serasah, bunga, daun, serta telah diidentifikasi secara molekuler. Isolat khamir yang berhasil dikoleksi oleh penulis berasal dari Bengkulu, Sumatera Barat, Lampung, Kalimantan Timur, Bali, Jawa Barat, Sulawesi Tenggara, Nusa Tenggara Timur, dan Papua. Hasil dari kegiatan tersebut adalah terseleksinya 1.198 isolat yang terdiri dari 85 jenis yang termasuk dalam 51 marga yang didominasi oleh *Pichia*, *Candida*, *Saccharomyces*, *Sprobolomyces*, dan *Debaryomyces*,<sup>22,26,27,31-34,39</sup> sedangkan beberapa isolat merupakan kandidat jenis baru (Gambar 1).

### 3.2 Keragaman Khamir Basidiomycetes

Secara taksonomi, khamir Basidiomycetous dibagi dalam tiga kelas Basidiomycota, yaitu Ustilaginomycetes, Urediniomycetes, dan Hymenomycetes<sup>1</sup>. Khamir Basidiomycetous memiliki nilai ekonomi tinggi untuk bidang pertanian dan medis. Kelompok ini mewakili sekitar 1% hingga 5% dari jenis khamir di alam. Pros-



es eksplorasi terhadap khamir dari kelompok ini banyak dilakukan untuk kepentingan pengembangan agroindustri biokontrol sehingga banyak dilakukan kajian diversitas dari distribusi ekologiannya.

Khamir Basidiomycetous banyak diisolasi dari tanaman hidup, marga yang banyak ditemukan adalah marga *Sporobolomyces* dan *Phaffia*. Kelompok ini beranggotakan sekitar 250 jenis dari 50 marga. Sampai tahun 2019, Pusat Penelitian Biologi LIPI telah berhasil mengisolasi sebanyak 901 isolat Basidiomycetes dari seluruh Indonesia yang terdiri dari 56 jenis dari 25 marga diisolasi dari kepulauan Sumatera, Kalimantan, Jawa, Bali, Sulawesi, Nusa Tenggara Timur, dan Papua<sup>26,28,34,35,40-42</sup>. Beberapa jenis yang ditemukan berperan penting dalam biokontrol penyakit tanaman, sedangkan jenis lainnya memiliki aplikasi dalam industri berbasis agro<sup>43,44</sup>. Sebagai contoh, *Phaffia rhodozyma* mampu memproduksi pigmen astaxanthin dan memiliki pasar yang cukup besar dalam industri akuakultur. Di sisi lain, beberapa jenis menghasilkan polisakarida dan dapat menyimpan lipid dalam jumlah yang mencapai hingga 65% dari biomassa. Beberapa jenis *Cryptococcus*, *Rhodotorula*, *Lipomyces*, dan *Trichosporon* (Gambar 2) telah berhasil diisolasi dari serasah dan tanah di Papalia dan Mekongga di Sulawesi Tenggara, Kebun Raya Cibodas, Kebun Raya Ekakarya Bali, Pulau Enggano, dan Sulawesi Barat<sup>45-50</sup>. Beberapa jenis dari kelompok ini dapat mendegradasi senyawa aromatik yang bervariasi sehingga merupakan kandidat potensial dalam bioremediasi. Identifikasi dan penempatan filogenetik dari basidiomycetous tidak selalu mudah karena sebagian kelompok ini bersifat *polyphyletic* yang dikelompokkan bersama, tetapi tidak memiliki nenek moyang yang sama. Karakteristik pemersatu dari khamir ini adalah fase pertumbuhan uniseluler yang dominan. Kelompok

ini mempunyai kesamaan fisiologis, yaitu asimilasi inositol atau asam D-glukuronat dan produksi senyawa ekstraseluler polisakarida<sup>5,13</sup>. Beberapa isolat Basidiomycetes merupakan kandidat jenis baru<sup>28</sup>.

### 3.3 Pengungkapan Taksa Baru

Sebagaimana telah dikemukakan di atas, khamir memiliki kemampuan tumbuh pada berbagai jenis substrat. Selain itu, kekayaan jenis khamir Indonesia terus meningkat melalui pengungkapan jenis baru. Di samping memiliki keunikan genetik, jenis baru tersebut juga memiliki keragaman fisiologi. Proses pengungkapan jenis baru khamir sangat rumit karena harus menyertakan data morfologi, fisiologi, dan genetik yang dibandingkan taksa acuan untuk mendukung pengusulan sebagai taksa baru<sup>38,49,51-54</sup>.

Analisis taksonomi dilakukan menggunakan metode profil penggunaan senyawa karbon, asimilasi, dan fermentasi; penggunaan sumber nitrogen; kemampuan oksidasi reduksi; kemampuan tumbuh pada berbagai tingkat salinitas; tipe pertumbuhan di samping karakter genetik D1/D2 region atau analisis pada level *cluster*; *internal transcribed spacer* (ITS) termasuk 5.8S rDNA; *mitochondrial small-subunit rRNA gene* (MtSm), dan *translation elongation factor-1 $\alpha$*  (EF-1 $\alpha$ ). Hasil analisis menunjukkan bahwa sekitar 41% dari 964 khamir yang dipelajari merupakan kandidat taksa baru<sup>28,38,54</sup>. Di antara 385 kandidat taksa baru, sembilan jenis khamir berhasil dideskripsi sebagai jenis baru, misalnya *Citeromyces cibodasensis* NBRC 110244<sup>T</sup> (= CBS 14272<sup>T</sup> = InaCCY703<sup>T</sup> = AK01). Khamir pada Gambar 2 diisolasi dari daun tanaman *Macropanax dispermus* di Kebun Raya (KR) Cibodas, Jawa Barat. Dua kandidat isolat baru terdeteksi memiliki sekuen D1/D2 dari subunit (LSU) rDNA, ITS termasuk 5.8S rDNA, MtSm, dan EF-1 $\alpha$  yang berbeda

dengan marga *Citeromyces*. Keunikan fisiologi dari jenis ini adalah kemampuannya untuk tumbuh pada konsentrasi glukosa yang lebih tinggi dibandingkan dengan kerabat dekatnya<sup>51</sup>.

Jenis baru dari lokasi yang sama adalah *Pichia chibodasensis* sp. nov. sebanyak tiga isolat (InaCCY260<sup>T</sup>, InaCCY268 dan InaCCY276) diisolasi dari kayu lapuk dan tanah. Keunikan fisiologi dari khamir ini adalah kemampuannya menggunakan xilosa dengan baik. Ketiga isolat tersebut juga memiliki keunikan urutan sekuen D1/D2 dari domain LSU, SSU dan EF-1 $\alpha$ , dan termasuk dalam marga *Pichia*<sup>52</sup>.

Sebanyak delapan isolat *Metschnikowia cibodasensis* sp. nov. (ID03-0093T, ID03-0094, ID03-0095, ID03-0096, ID03-0097, ID03-0098, ID03-0099, dan ID03-0109) dari bunga *Saurauia pendula*, *Berberis nepalensis*, dan *Brunfelsia americana* juga berhasil diisolasi dari KR Cibodas. Data-data di atas mampu merepresentasikan bahwa KR Cibodas merupakan salah satu pusat jenis khamir baru<sup>38,51,52</sup>.

Kegiatan eksplorasi pada KR Eka Karya Bali KR Bung Hatta Sumatera Barat, dan KR Cibodas berhasil mengisolasi tiga jenis baru khamir dari serasah yang mampu menggunakan xilosa<sup>49</sup>. Ketiganya termasuk dalam marga *Barnettozyma* atau *Wickerhamomyces*. Dua jenis baru dari marga *Lipomyces*, yaitu *L. tropicalis* (type strain: NBRC 110265<sup>T</sup> ; InaCC Y730<sup>T</sup> ; JSAT12-2-Y012<sup>T</sup>; MycoBank no. MB 816186) dan *L. kalimantanensis* f.a. (type strain: NBRC 110267<sup>T</sup> ; InaCC Y721<sup>T</sup> ; JSAT12-2-Y029<sup>T</sup>; Myco Bank no. MB 816187) dari Kalimantan mempunyai fisiologi unik, yaitu mampu mengakumulasi lipid lebih dari 20% berat kering sel<sup>53</sup>.

Hasil tersebut memacu untuk melakukan eksplorasi khamir dengan kemampuan memfermentasi xilosa. Khamir ini banyak dicari karena potensinya untuk produksi biofuel, terutama

etanol menggunakan substrat hemiselulosa. Jenis sampel tanah, serasah, kayu lapuk, dan sedimen Pulau Enggano merupakan sumber 200 isolat khamir dan 38% di antaranya mampu mengasimilasi xilosa. Kebanyakan khamir dari P. Enggano adalah dari marga *Candida*, seperti *C. insectorum*, *C. tropicalis*, *C. boidinii*, *C. pseudolambica*, *C. yuanshanica*, *C. sylvae*; jenis lain, seperti *Cyberlindnera saturnus*, *Williopsis saturnus*; dan *Sporobolomyces poonsookiae* (Gambar 3). Satu isolat dari marga *Candida* diduga sebagai jenis baru<sup>39</sup>. Pengungkapan jenis baru sangat penting sebagai sumber daya genetik baru karena memiliki sifat fisiologi dan karakter genetik berbeda dengan jenis yang telah diungkap. Juga akan menjadi landasan awal dalam pengembangan potensinya di kemudian hari yang menunjukkan asal suatu negara.

## IV. KHAMIR UNTUK BIOPROSPEKSI

Pertambahan penduduk dan berkembangnya industri dan gaya hidup memerlukan sumber energi yang berkelanjutan. Terbatasnya ketersediaan minyak bumi dan dampak negatif akibat penggunaannya menyebabkan Indonesia sudah tidak mampu bergantung pada hasil alamnya sendiri. Kajian awal terkait potensi mikroorganisme yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan pangan, kesehatan, lingkungan, dan kepentingan pengembangan sumber energi terus dilakukan. Fungi endofit asal Indonesia mempunyai potensi untuk digunakan sebagai sumber bahan obat<sup>55,56,57,58</sup> dan produksi enzim untuk pakan ternak, seperti enzim fitase<sup>59,60</sup>. Produksi enzim hidrolisis berbasis mikroorganisme perlu dikembangkan lebih lanjut<sup>61,62,63,64</sup>. Semua masalah ini salah satunya dapat ditanggulangi melalui pemanfaatan khamir.

### 4.1 Khamir Penghasil Etanol

Para peneliti berkeyakinan bahwa khamir merupakan sumber daya yang dapat dimanfaatkan untuk produksi energi dalam bentuk etanol dan biodiesel. Pusat Riset Biosistematika dan Evolusi BRIN secara rutin melakukan kegiatan eksplorasi untuk mendapatkan khamir yang mampu memproduksi etanol tinggi. Hasil kajian terhadap 900 isolat khamir yang mampu melakukan fermentasi menggunakan berbagai jenis sumber karbo didapatkan lima isolat dengan kemampuan produksi etanol cukup tinggi<sup>48</sup> (Gambar 4). Selanjutnya isolat tersebut digunakan untuk penelitian rekayasa genetika untuk menghasilkan “*super microbe*” yang mampu memproduksi etanol dari bahan karbohidrat kompleks<sup>48</sup>. Dalam bidang biofuel sebenarnya ada kelompok lain yang mampu mengakumulasi lipid melebihi yang diperlukan

untuk metabolisme kehidupan. Sel khamir tersebut dikenal sebagai khamir *oleaginous*<sup>35,65</sup>.

## 4.2 Khamir Pengakumulasi Lipid *Oleaginous*

Khamir pengakumulasi lipid (*oleaginous*) telah dipelajari selama beberapa dekade, namun baru dalam beberapa tahun terakhir ini pencarian strain khamir *oleaginous* semakin meningkat<sup>66,67,68</sup>. Hal ini disebabkan kesadaran global yang semakin meningkat akan bahaya lingkungan, sosial, dan politik dari mengandalkan bahan bakar fosil. Alternatif sumber energi terbarukan, seperti biofuel sedang dalam pengembangan. Khamir *oleaginous* adalah kandidat kuat karena beberapa di antaranya memiliki kapasitas untuk mengakumulasi lipid sangat tinggi, terutama triasilgliserida. Penelitian penggunaan khamir *oleaginous* sebagai bahan baku biodiesel dimulai dengan isolasi mikroorganisme yang diduga potensial dari berbagai sumber termasuk tanah, serasah, dan biota laut. Telaah yang sangat intensif telah dilakukan terhadap 439 isolat khamir asal tanah, serasah, dan sirih yang potensial mengakumulasi lipid<sup>65, 66,67</sup>.

Secara filogeni, khamir *oleaginous* bersifat polifiletik. Sebanyak 964 isolat khamir yang dipelajari kemampuan akumulasi lipidnya, dengan metode terbaru dan terstandar terungkap bahwa khamir Basidiomycetous yang terdiri dari *Cryptococcus albidus*, *C. curvatus*, *C. magnus*, *C. terreus*, *Guehomyces pullulans*, *Rhodospiridium diobovatum*, *Rhodotorula toruloides*, *R. colostri*, *R. glutinis*, *R. gramins*, *R. mucilaginoso*, *Trichosporon guehoa*, dan khamir ascomycetous yeast spesies *Lipomyces lipofer*, *L. starkeyi*, *L. tetrasporus*, dan *Yarrowia lipotica* merupakan khamir potensial pengakumulasi lipid<sup>7,66,68</sup>. Sebanyak 34 isolat khamir dilaporkan memiliki kemampuan untuk mengakumulasi lipid lebih dari 20% (b/b) dari berat sel kering. Beberapa di antaranya bahkan dapat terakumulasi lebih

dari 40%. Akumulasi lipid bervariasi di antara marga dan di antara strain dalam kelompok jenis. Kisaran akumulasi lipid adalah dari 5,4% (*Rhodosporidium paludigenum* InaCC Y-249) hingga lebih dari 42,80% untuk *Cryptococcus luteolus* InaCC Y-265<sup>35</sup>.

Kandungan lipid dari strain dari jenis atau marga yang sama cukup bervariasi. Dua dari sepuluh strain *Candida* mampu mengakumulasi lipid lebih dari 40% dari berat sel kering, yaitu *C. azyma* InaCC Y-296 dan *C. oleophila* InaCC Y-306. Di antara 13 jenis *Cryptococcus* hanya satu jenis, *Cryptococcus luteolus* InaCC Y-265 dapat mengakumulasi lebih dari 40% lipid. Enam dari tujuh strain *Debaryomyces* mampu mengakumulasi lipid antara 27% sampai 33%<sup>45</sup>. Produksi lipid jelas terkait dengan pertumbuhan. Total biomassa yang dihasilkan sangat bervariasi dari 2,5 g/L (*Debaryomyces subglobosus* InaCC Y-297) hingga 10,9 g/L (*Candida oleophila* InaCC Y-306). Produksi biomassa dan akumulasi lipid beragam di antara jenis dari marga yang sama dan bahkan strain dari jenis yang sama<sup>66,67</sup>.

Selain khamir *oleaginous* dilaporkan juga kelompok khamir yang mampu menghidrolisis selulosa dan memanfaatkannya untuk memproduksi lipid (triasil gliserol). Kelompok ini dinamakan selulo-oleaginous. Sebanyak 78 isolat mampu menghidrolisis selulosa dan beberapa di antaranya merupakan kandidat untuk jenis baru *Yamadazyma aff. scolyti*, *Candida aff. tenuis*, *Candida aff. silvatica*, dan *Yamadazyma aff. Mexicana*<sup>54</sup>. Hal ini menegaskan bahwa khamir Indonesia memiliki keunikan jenis dan keragaman fisiologi yang tinggi. Tanaman sirih merupakan salah satu sumber khamir. Tanaman sirih tidak hanya merupakan sum-

ber obat akan tetapi juga sebagai sumber khamir yang mampu mengakumulasi lipid<sup>35</sup>.

*Candida intermedia* InaCC Y-167, *C. orthosilopsis* InaCC Y-302, *C. oleophila* InaCC Y-306, *Cryptococcus flavescens* InaCC Y-306, dan *Rhodotorula minuta* InaCC Y-1508 dilaporkan mampu mengasimilasi xilosa dan mengakumulasi lipid (Gambar 5).

Karboksimetil selulosa juga diasimilasi oleh khamir pengakumulasi lipid *Candida intermedia* InaCC Y-167, *C. orthosilopsis* InaCC Y-302, *C. oleophila* InaCC Y-306, dan *Cryptococcus flavescens* InaCC Y-161. Akumulasi lipid dan hidrolisis selulosa yang dilakukan oleh strain terpilih apabila ditumbuhkan pada limbah pertanian *pretreated* untuk sumber makanan biofuel mengindikasikan bahwa isolat khamir adalah kandidat yang baik untuk khamir *oleaginous*, hal ini menyiratkan bahwa *Candida orthosilopsis* (InaCC Y-302) dapat memanfaatkan selulosa sebagai sumber karbon untuk akumulasi lipid<sup>36,37</sup>. Dengan demikian, penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa selulosa dapat digunakan sebagai sumber karbon untuk akumulasi lipid oleh khamir *oleaginous* dan *C. orthosilopsis* InaCC Y-302 memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan penelitian sistem anaerobik-aerobik dan telah didaftarkan sebagai paten. Keunikan karakter fisiologi tersebut selanjutnya digunakan untuk pengolahan limbah kelapa sawit dan telah didaftarkan untuk paten dengan nomor P00201404542.

### 4.3 Peluang Penggunaan Khamir Untuk Produksi Bahan Obat

Di samping untuk fermentasi etanol dan biodiesel, khamir juga telah dimanfaatkan untuk produksi senyawa bahan baku obat, seperti biosurfaktan. *Mannosylerythritol Lipids* (MEL's) adalah biosurfaktan glikolipid yang mengandung 4-O- $\beta$ -D-mannopyra-



nosyl-meso-erythritol sebagai gugus hidrofilik dan asam lemak sebagai gugus hidrofobik. MEL banyak diproduksi oleh beberapa jenis mikroorganisme dan merupakan salah satu biosurfaktan paling menjanjikan untuk diproduksi secara massal. Pencarian untuk produser endogen novel MEL dilakukan berdasarkan koleksi strain khamir Indonesia yang tersedia di InaCC, terutama dari marga *Pseudozyma*.

*P. hubeiensis* InaCC Y-277 sangat potensial untuk memproduksi MEL dari minyak kedelai. Asam lemak utama MEL yang diproduksi oleh *P. hubeiensis* InaCC Y-277 adalah asam C-18, sangat berbeda dengan asam MEL-C yang diproduksi oleh galur *Pseudozyma* lain, seperti *P. antarctica* dan *P. shanxiensis*. Produk utama, MEL-C yang diproduksi oleh *P. hubeiensis* InaCC Y-277 menunjukkan aktivitas penurunan tegangan permukaan. Hasilnya menunjukkan bahwa *P. hubeiensis* InaCC Y-277 yang baru diisolasi memberikan efisiensi tinggi dalam produksi MEL dan karenanya akan sangat menguntungkan dalam produksi komersial biosurfaktan yang menjanjikan<sup>50,69</sup>.

#### 4.4 Peluang Bioprospeksi Mikroorganisme Lain

Selain khamir, kerabat dekatnya, yaitu fungi<sup>70,71</sup> dilaporkan mempunyai kemampuan untuk menghasilkan enzim fitase<sup>17,30</sup>, produksi enzim amilase<sup>45</sup> produksi asam sitrat<sup>20</sup>, produksi metabolit sekunder yang digunakan untuk pengembangan industri herbal terstandar<sup>72,73</sup>. Selain itu, Aktinomisetes digunakan untuk produksi enzim selulase<sup>44</sup>.

#### 4.5 Praperlakuan untuk Substrat Komplek

Indonesia sangat kaya akan limbah pertanian yang dapat dimanfaatkan sebagai substrat oleh khamir pengakumulasi lipid<sup>74,75</sup>. Umumnya khamir tidak mampu menggunakan sumber karbohidrat kompleks. Praperlakuan dengan cairan ionik, seperti

1-etil-3-methylimidazolium klorida dengan konsentrasi sekitar 4% atau asetat adalah metode efektif untuk menghidrolisis lignoselulosa. Penelitian telah dilakukan oleh Pusat Penelitian Biologi BRIN bekerjasama dengan *University California Davis*, USA menggunakan 46 jenis khamir *oleaginous* dari taksa yang beragam dengan menggunakan ionic liquid (IL) 1-ethyl-3-methylimidazolium asetat hingga 4% memberikan hasil enam strain khamir toleran terhadap senyawa purfural. Strain ini dapat digunakan sebagai kandidat untuk penelitian biofuel berbasis lignoselulosa<sup>9</sup>.

Telah dilakukan pada isolat khamir yang mampu menggunakan substrat karboksimetil selulosa, yaitu *Candida orthopsilosis* InaCC Y-302, *C. oleophila* InaCC Y-306, dan *Lipomyces* sp. InaCC Y-730. Selama masa inkubasi, aktivitas CMC-ase dipantau untuk menentukan aktivitas hidrolitik ragi *oleaginous*<sup>35</sup>. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas selulase dari semua strain yang diuji (Y09GS34, Y09GS48, dan 10381) lebih tinggi pada media terbatas N dengan CMC 2%, yaitu masing-masing 1,193; 0,633 dan 1,233 unit per jam. *C. orthopsilosis* InaCC Y-302 menunjukkan akumulasi lipid tertinggi (63,75% per berat kering sel). Komposisi lipid dari *C. orthopsilosis* (InaCC Y-302) termasuk asam palmitat, asam stearat, asam linoleat, dan asam oleat. Hasil ini menunjukkan khamir berpotensi sebagai sumber lipid untuk pembentukan biodiesel.

## V. KETERSEDIAAN KHAMIR UNTUK PENGEMBANGAN BIOFUEL DAN BIOINDUSTRI

Sumber daya mikroorganisme merupakan salah satu aset negara yang sangat penting untuk pengembangan bioindustri sebagai penunjang perkembangan ekonomi nasional. Sebagai perangkat pengaturan pengelolaan mikroorganisme diperlukan payung hukum yang selaras dengan *Convention on Biodiversity* (CBD) dan Protokol Nagoya. Sejalan dengan gagasan tersebut, LIPI menginisiasi penyusunan Peraturan Pemerintah tentang pengelolaan Mikroorganisme. Melalui kerjasama tim Peraturan Presiden, dukungan dari Sekretariat Negara, Kementerian Hukum dan HAM, Kementerian Kehutanan dan Lingkungan Hidup, Kementerian Pertanian, Kementerian Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kesehatan, dan Forum Komunikasi Kurator Mikroorganisme, Peraturan Pemerintah No. 1 tahun 2021 berhasil diterbitkan. Perpres ini mengatur akses legal pengelolaan mikroorganisme Indonesia, yang meliputi perlindungan dan pemanfaatannya untuk kemaslahatan bangsa. Payung hukum ini juga memuat ketersediaan biak yang valid dan berkualitas untuk mendukung kegiatan penelitian dan pengembangan biofuel dan bioindustri.

### 5.1 Peran kultur koleksi

Kultur koleksi mikroorganisme memegang peran sangat penting dalam menyimpan mikroorganisme Indonesia dan melakukan proses distribusi yang dapat dijadikan sebagai acuan dan material hidup penting untuk mendukung penelitian dan pengembangan. Kultur koleksi InaCC (Indonesian Culture Collection-BRIN) sampai saat ini telah menyimpan sekitar 4.500 isolat khamir yang dapat digunakan untuk penelitian dasar, bioprospeksi dalam bidang pangan, energi, kesehatan, dan lingkungan. Kultur

Buku ini tidak diperjualbelikan.

koleksi InaCC merupakan kultur koleksi nasional dan telah ditetapkan sebagai Pusat Unggulan IPTEK Sumberdaya Mikroorganisme Nasional oleh Kementerian Riset dan Teknologi. InaCC merupakan pusat penyimpanan dan distribusi mikroorganisme untuk keperluan pengembangan bioprospeksi.

## 5.2 Teknologi penapisan

Salah satu awal dari penelitian bioprospeksi adalah penapisan biak-biak potensial sehingga dapat lebih mengefisienkan penelitian selanjutnya<sup>76</sup>. Teknik kultivasi dan penapisan cepat mikroorganisme pengakumulasi lipid telah dikembangkan dengan menggunakan senyawa *nile red* sebagai titik awal pengembangan teknologi biofuel. Protokol determinasi cepat ini didasarkan atas penggunaan *fluorescent lipophilic dye* yang mampu secara akurat berinteraksi dengan triasilgliserol sebagai senyawa utama lipid droplet di dalam sel khamir dan optimasi pelarut yang dapat meningkatkan permeabilitas sel sehingga lebih mengefisienkan penggunaan senyawa pewarna lipid<sup>70</sup>. Sistem deteksi lipid ini dapat melakukan deteksi sebanyak 96 isolat secara simultan. Teknik ini juga dapat digunakan untuk mengetahui sumber karbon yang dapat mudah diubah menjadi triasilgliserol dan dapat digunakan untuk mengetahui teknik kultivasi yang paling cepat untuk memproduksi intraseluler lipid. Selanjutnya teknik terus dapat dikembangkan sehingga lebih mudah dan akurat untuk mendukung penelitian biofuel, terutama biodiesel berbasis mikroorganisme.

## 5.3 Pentingnya kerjasama

Biodiversitas khamir di Indonesia dipastikan sangat tinggi sehingga diperlukan pengembangan teknik-teknik analisis yang mumpuni secara teknologi kekinian. Hal ini memacu para peneliti asing untuk mengeksplor diversitas jenis dan variabilitas

fisiologinya dan banyak menawarkan alih teknologi analisisnya. Kekayaan mikroorganisme lain, seperti kapang juga cukup tinggi dengan variabilitas fisiologi yang sangat penting untuk mendukung produksi energi terbarukan, enzim hidrolisis, seperti fitase, amilase, selulase, dan protease<sup>45,46</sup>.

Kajian diversitas dan fisiologi tersebut harus terus menerus dilakukan melalui kerjasama antar peneliti nasional, internasional, dan antar kultur koleksi. Adanya mikroorganisme yang telah terbukti nyata memiliki nilai ekonomi dan telah dipatenkan menjadi salah satu bukti bahwa mikroorganisme Indonesia sangat potensial untuk dikembangkan. BRIN memprakarsai kerjasama kultur koleksi mikroorganisme yang ada di Indonesia dan dasar formal yang mengatur kerangka kerja sama sudah didiskusikan dengan *stakeholder* terkait, dan pada saat ini telah disahkan Peraturan Presiden No. 1 / 2021 tentang “Pengelolaan Mikroorganisme Nasional” yang merupakan peraturan perundangan yang komprehensif terkait pengelolaan Mikroorganisme di Indonesia.

## VI. KESIMPULAN

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan berbagai tipe ekosistem merupakan sumber keragaman jenis khamir yang tinggi. Sekurang-kurangnya terdapat 125 taksa dari isolasi khamir dari alam dan pangan tradisional dan banyak di antaranya merupakan jenis baru.

Pengembangan teknik isolasi memungkinkan ditemukannya berbagai jenis khamir yang memiliki karakter fisiologi yang dapat digunakan untuk memproduksi biofuel, seperti etanol, lipid (biodiesel), enzim, surfaktan, asam organik, obat, dan asam lemak yang dapat dikembangkan lebih lanjut untuk pengembangan biofuel dan bioindustri.

Bioprospeksi khamir untuk pengembangan biofuel dan bioindustri dapat dilakukan lebih cepat dan efisien melalui penggunaan isolat terpilih yang telah divalidasi oleh taksonom. Selanjutnya, taksonom memberikan rekomendasi kepada peneliti bioprospeksi tentang karakter fisiologi khusus dari isolat sesuai dengan produk yang akan dikembangkan.

Khamir yang telah diisolasi dan diverifikasi karakter fisiologinya harus disimpan di lembaga kultur koleksi mikroorganisme dengan standar manajemen yang baik untuk selanjutnya dapat digunakan setiap saat dan didistribusikan untuk kegiatan penelitian dan pengembangan yang selanjutnya dapat digunakan untuk pembuatan produk yang bernilai ekonomi.

## VII. PENUTUP

*Indonesian culture collection* memiliki sekitar 350 biak khamir potential untuk dikembangkan pada industri biofuel. Beberapa teknologi pendukung untuk biofuel telah dikuasai dengan baik yaitu teknologi penapisan yang mampu dengan cepat mengetahui khamir potensial sebagai pengakumulasi lipid dan teknologi cepat untuk penapisan khamir penghasil etanol. Telah dilakukan peninjauan kerja sama nasional dengan Pertamina dan kerja sama internasional tentang pemanfaatan limbah lignoselulosa pendukung industri *green biofuel*. Perlu pengembangan metoda *scale up* dari *pilot plan* menjadi skala industri.

Kerangka pengembangan tersebut dapat dimulai dengan pembentukan zona pengembangan industri *green biofuel*. Selain itu, industri pangan fungsional dapat memanfaatkan informasi nutrisi dan keistimewaan makanan fermentasi.

Peraturan Presiden No. 1/2021 dibuat untuk melindungi kekayaan mikroorganisme Indonesia. BRIN telah menjadi inisiator Perpres tentang pengelolaan mikroorganisme. Secara garis besar Perpres ini mengatur enam hal, yaitu (1) akses terhadap sampel yang mengandung mikroorganisme; (2) perlindungan mikroorganisme melalui mekanisme penyimpanan mikroorganisme mengikuti standar internasional; (3) pendistribusian mikroorganisme serta pemanfaatannya untuk kepentingan nasional; (4) perjanjian pengalihan material; (5) pengelolaan pangkalan data mikroorganisme; dan (6) pembinaan serta pengawasan pengelolaan mikroorganisme.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Saya akhiri orasi ini dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah Swt. sehingga dengan izin-Nya, saya dapat menyampaikan orasi ini setelah melalui proses dan tahapan panjang. Dalam proses penulisan naskah orasi, berbagai pihak telah banyak memberikan dukungan, masukan konstruktif dan berharga, arahan maupun bantuan, di antaranya dari para senior, rekan sejawat, maupun keluarga.

Ucapan terima kasih saya haturkan kepada Presiden Republik Indonesia, Ir. H. Joko Widodo, atas penetapan diri saya menjadi Peneliti Ahli Utama dalam menjalani karier sebagai peneliti. Penghargaan dan ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Dr. Laksana Tri Handoko, yang telah mengizinkan saya melakukan orasi; Prof. Dr. Bambang Subiyanto sebagai ketua majelis pengukuhan profesor riset, Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani selaku Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset yang juga memberikan masukan dan arahan dalam berbagai kesempatan; Sekretaris Utama BRIN, Rr. Nur Tri Aries Suestiningtyas, M.A. yang selalu mendukung dan memberi masukan terkait pentingnya *positioning* dan *branding* organisasi; Kepala Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan, Dr. Iman Hidayat, yang memberikan dukungan sehingga orasi ini dapat terlaksana; para Deputy di Lingkungan BRIN; Kepala Pusat Penelitian Biologi-LIPI 2012–2019; serta Kepala Pusat Riset Biosistematika dan Evolusi-BRIN, Dr. Bayu Ajie, serta Tim Penilai Naskah Orasi: Prof. Dr. Gono Semiaji, Prof. Dr. Ibnu Maryanto, Prof. Dr. Mulyadi, dan Prof. Dr. Wibowo Mangunwardoyo. Kepada seluruh kolega di lingkungan BRIN, khususnya di Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan, terutama



kolega di Kantor Pusat Riset Biosistematika dan Evolusi yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama ini.

Ucapan terimakasih disampaikan kepada para guru dari Sekolah Dasar sampai jenjang Doktoral yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, atas ilmu pengetahuan yang telah diajarkan. Secara khusus terima kasih dan penghargaan disampaikan kepada Prof. Dr. Karyono dan Dr. Herri Y. Hadikusumah sebagai pembimbing di Jurusan Biologi, Universitas Padjajaran. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. Dr. Kazuo Komagata dan Prof. Dr. Tai Uchimura sebagai pembimbing tesis di Tokyo University of Agriculture, Jepang yang telah memberikan pelajaran paling berharga dan menumbuhkan kecintaan saya untuk terus mencari dan mengungkapkannya biodiversitas nusantara. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. Dr. Endang Sukara, Prof. Dr. Latifah Kadarusman (alm), Dr. Nampiah Sukarno sebagai pembimbing S-3 di Program Studi Mikrobiologi, IPB University yang telah memberikan banyak *sharing* ilmu, pengalaman, nasihat, serta arahan dalam melakukan penelitian.

Secara khusus, ucapan terima kasih mendalam saya haturkan kepada Dr. Susono Saono, dan Dr. Subadri Abdulkadir (alm.) yang telah memperkenalkan penelitian khamir, serta kepada Prof. Dr. Indrawati Gandjar yang selalu menjadi inspirasi dan teladan untuk selalu bekerja keras, mempunyai komitmen yang kuat, dan menjadi peneliti profesional. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Prof. Dr. Enny Sudarmonowati yang telah banyak memberikan arahan, dorongan sangat kuat dalam menjalankan tugas selama menduduki jabatan sebagai Deputy IPH maupun dalam organisasi internasional. Kepada partner kerja sama, Prof. Ken Ichiro Suzuki dan Dr. Hiroko Kawasaki, Dr. Atsuzhi Yamazaki, dan Dr. Kobayashi atas berkenan berbagi ilmu yang sangat berharga dan memberikan kepercayaan dalam

proses pengembangan taksonomi khamir dan kultur mikro-organisme di Indonesia. Saya mengucapkan terima kasih kepada panitia penyelenggara orasi ilmiah dan seluruh undangan, rekan rekan staf peneliti Bidang Mikrobiologi, serta teman-teman seperjuangan di Indonesian Culture Collection (InaCC), yang telah berjuang habis-habisan membangun kultur koleksi mikro-organisme dengan standar internasional di Indonesia. Sahabat, partner kerja sejati, Dr. Puspita Lisdiyanti, yang selalu menjadi teman berbagi.

Pada kesempatan yang berbahagia ini izinkan saya menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada Iswara dan Ema Subakti, yang dengan ikhlas dan tidak pernah lelah mengirim doanya dan telah membesarkan serta mendidik dengan penuh tanggung jawab dan kasih sayang; kepada bapak Ketut Sirpa dan ibu Ni Wayan Suken untuk dukungan doa dan perhatiannya; kepada keluarga besar Iswara untuk kasih sayang, tali kasih persaudaraan yang sangat erat.

Terakhir ucapan terima kasih yang tidak terkira disampaikan kepada I Made Sudiana, yang selalu mau mengerti, sabar, dan memberikan dukungan untuk pengembangan karir sebagai peneliti serta kedua anak-anak, sahabat terbaik, Jiesta Padmi dan Padma Wianantha, yang selalu memberikan kebahagiaan, dan limpahan kasih sayang.

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah Swt. saya akhiri orasi ilmiah ini. Terima kasih atas perhatian para hadirin yang berkenan meluangkan waktu untuk hadir, mohon maaf atas kekurangan dan kekhilafan dalam menyampaikan orasi ilmiah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Kurtzman CP. Molecular taxonomy of the yeasts. *Yeast*. 1994;10(13):1727–40. doi:10.1002/yea.320101306.
2. Barnett JA. A history of research on yeasts 7: enzymic adaptation and regulation. *Yeast*. 2004;21(9):703–46. doi:10.1002/yea.1113.
3. Garay LA, Sitepu IR, Fry R W, **Kanti A**, Boundy-Mills KL et al. Discovery of synthesis and secretion of polyol esters of fatty acids by four basidiomycetous yeast species in the order Sporidiales. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. 2017;44(6):923–36. doi:10.1007/s10295-017-1919-y.
4. Barnett JA. A history of research on yeasts 8: taxonomy. *Yeast*. 2004 Oct 30;21(14):1141–93.
5. Barnett JA. A history of research on yeasts 10: foundations of yeast genetics1. *Yeast*. 2007 Oct 1;24(10):799–846.
6. Alexander WG. A history of genome editing in *Saccharomyces cerevisiae*. *Yeast*. 2018 May;35(5):355-60.
7. Spagnuolo M, Yaguchi A, Blenner M. Oleaginous yeast for biofuel and oleochemical production. *Current Opinion in Biotechnology*. 2019 Jun 1;57:73-81.
8. Achmadi AS, Hamidy A, Maryanto I, Kahono S, Kartonegoro A, **Kanti A** et al. Ekspedisi Sulawesi Barat, Flora, Fauna, dan Mikroorganisme. LIPI Press; 2018.p. 167.
9. Ardiyani M, Dwibadra D, Dewi K, Meliah S, **Kanti A** et al. Temuan dan pertelaan jenis baru biota Indonesia 1967–2017: Sumbangsih LIPI untuk Sains. LIPI Press; 2018.
10. Kuriyama H, Sastraatmadja D, Igosaki Y, Watanabe K, **Kanti A**, Fukatsu T. Isolation, identification and biochemical properties of yeast from Indonesian fermented food . Project Report. 1999.

11. Sukara E, Lisdiyanti P, **Kanti A**, Yopi, Ratnakomala S et al. Exploring Indonesian microbial genetic resources for industrial application. In: Sukara E, Lisdiyanti P, editors. LIPI Press; 2018. p. 221.
12. Hamidy A, Moch. Zein MSA, Kramadibrata K, Sumerta IN, Penny Sylvania Putri, **Kanti A** et al. 2019, Ekspedisi Sumba. LIPI Press; 2019. p.195.
13. Kurtzman CP, Fell JW, Boekhout T, editors. The yeasts: a taxonomic study. Elsevier; 2011 May 9.
14. Barnett JA. A history of research on yeasts 14: Medical yeasts part 2, *Cryptococcus neoformans*. Yeast (Chichester). 2010;27(11):875–904.
15. Schmid RD, Chung B, Jones AJ, Saono S, Scriven J, Tasi JH. Biotechnology in the Asian-Pacific region. Biotechnology. Volume 12. Legal, economic and ethical dimensions. 1995(Ed. 2):369–432.
16. **Kanti A**. Cellulolytic Actinomycetes isolated from soil in Bukit Duabelas National Park, Jambi. Biodiversitas Journal of Biological Diversity. 2005;6(2):85–89.
17. **Kanti A**. Effect of nitrogen addition on the  $\alpha$ -amylase production by *Aspergillus niger*, *Rhizopus oligosporus* and *Neurospora crassa* in media contained sargassum and rice seed on solid state fermentation. J. Biologi. Indonesia. 2016;12:249–56.
18. Laich F, Vaca I, Chavez R. *Rhodotorula portillonensis* sp. nov., a basidiomycetous yeast isolated from Antarctic shallow-water marine sediment. IJSEM, 2013;63(Pt\_10):3884–3891.
19. Kutty SN, Philip R. Marine yeasts a review. Yeast. 2008;25(7):465–83. doi:10.1002/yea.1599.
20. **Kanti A**, Sudiana IM. New development of Phytase Enzyme through modification of substrate and fermentation technology. In Proceedings of International Conference on Appropriate Technology Development (ICATDev) 2016, ISBN 978-0-9935191-1-6.

21. **Kanti A**, Sudiana M. Carboxymethyl cellulose as a C-source for lipid accumulation by the oleaginous yeast *Candida orthopsilosis*. *Current Research in Environmental & Applied Mycology*. 2015;5(4):349–56.
22. **Kanti A**, Ilyas M, Nurkanto A, Sulistiyani TR, Meliah S. Panduan pengelolaan kultur koleksi mikroorganisme, Editor. Kanti. A. LIPI Press 2019.p.125.
23. Jeffares DC. The natural diversity and ecology of fission yeast. *Yeast*. 2018;35(3),253–60. doi:10.1002/yea.3293.
24. **Kanti A**, Sudiana IM. Diversity and ecological perspective of soil yeast in Gunung Halimun National Park. *Berita Biologi*. 2002;6(1):25–32.
25. Nielsen J. FEMS yeast research: the yeast community journal. *FEMS Yeast Research*. 2015 Mar 1;15(2).
26. **Kanti A**, Julistiono H, Sudiana IM. Identification of yeasts isolated from Gunung Halimun National Park. *Berita Biologi*. 2002;6(1):115–24.
27. **Kanti A**, Latupapua HJ. Identifikasi keragaman khamir yang diisolasi dari Tanah Kebun Biologi Wamena Kabupaten Jayawijaya, Propinsi Papua. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2018; Jan 12;3(2): 150–160.
28. Sjamsuridzal W, Oetari A, **Kanti A**, Saraswati R, Nakashima C, Widyastuti Y, Katsuhiko A. Ecological and taxonomical perspective of yeasts in Indonesia. *Microbiology Indonesia*. 2010;4(2):60–68.
29. **Kanti A**. Taxonomy study of yeast in Indonesian fermented food [Thesis]. Jepang: Tokyo University of Agriculture; 2000.
30. Kuriyama H, Sastraatmadja D, Igosaki Y, Watanabe K, **Kanti A**, Fukatsu T. Identification and characterization of yeast isolated from Indonesian fermented food. *Mycoscience*. 1997;38(4):441–5.

31. **Kanti A**, Sukarno N, Sukara E, Darusman LK. Cellulolytic yeast isolated from Raja Ampat Indonesia. *Annales Bogorieneses* 2012;16(1):27–34.
32. **Kanti A**, Sudiana IM, Julistiono H. The community of soil yeasts in Gunung Halimun National Park. *Berita Biologi*. 2001;5(6):735–42.
33. **Kanti A**. Identifikasi jenis khamir yang diisolasi dari tanah gambut Taman Nasional Bukit Duabelas, Jambi. *BioSmart*. 2003; 6(1):10–4.
34. **Kanti A**. Penapisan Khamir Selulolitik *Cryptococcus* sp. yang diisolasi dari tanah Kebun Biologi Wamena, Jaya Wijaya, Provinsi Papua. *Jurnal Biologi*. 2007;XI (1) . ISSN 1410 5292
35. **Kanti A**, Sukara E, Latifah K, Sukarno N, Boundy-Mills K. Indonesian oleaginous yeasts isolated from *Piper betle* and *P. nigrum*. *Mycosphere*. 2013 Jan 1;4(3):363–454.
36. **Kanti A**. Aktivitas enzim selulase dari Khamir *Candida* sp. dan *Debaryomyces* sp. yang diisolasi dari Lahan Gambut Taman Nasional Bukit Duabelas, Jambi. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2006; IV(1):19–28. ISSN 0854-4425
37. **Kanti A**. *Candida* sp. yeast solubilizing phosphate isolated from soil in Wamena Biological Garden, Papua. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 2006;7(2):105–108.
38. Sjamsuridzal W, Oetari A, Nakashima C, **Kanti A**, Saraswati R, Widyastuti Y, Ando K. New species of the Genus *Metschnikowia* isolated from flowers in Indonesia, *Metschnikowia cibodasensis* sp. nov. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2013;23(7): 905–12.
39. **Kanti A**, Sumerta IN. Diversity of Xylose assimilating yeast from the island of Enggano, Sumatera, Indonesia. *Berita Biologi*. 2017;15(3):207–15.

40. Sumerta IN, **Kanti A**. Keanekaragaman khamir yang diisolasi dari sumber daya alam pulau Enggano, Bengkulu dan potensinya sebagai pendegradasi selulosa. *Berita Biologi*. 2017;15(3):247–55.
41. Sumerta IN, **Kanti A**. Keragaman jenis khamir penghasil etanol yang diisolasi dari makanan fermentasi di Kepulauan Riau. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2017;13(1):61–69.
42. Sumerta IN, **Kanti A**. Taxonomic approach for species diversity of yeasts and yeasts-like fungi through D1/D2 region of large subunit ribosomal DNA sequences. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*. 2018;10(1):72–8.
43. Garay LA, Sitepu IR, Fiehn O, Cathcart E, **Kanti A**, et al. Discovery of synthesis and secretion of polyol esters of fatty acids by four basidiomycetous yeast species in the order Sporidiobolales. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 2017;44(6):923–36.
44. Hamdani A, Mulyanto, Awatara, I. G. P. D. The agroindustry corporate performance of beyond compliance on the environmental protection and management. 1st International Conference on Educational Sciences 2017. doi:10.5220/0007049108280831.
45. **Kanti A**, Sudiana IM. Aktivitas cmc-ase khamir *Candida* sp. yang diisolasi dari tanah Kebun Biologi Wamena, Papua. *Berita Biologi*. 2003;6(5):655–60.
46. **Kanti A**, Sudiana IM. Cellulolytic yeast isolated from soil Gunung Halimun National Park. *Berita Biologi*. 2002;6(1):85–90.
47. **Kanti A**, Sudiana IM. Co-culture of amylolytic fungi *Aspergillus niger* and oleaginous yeast *Candida orthopsilosis* on cassava waste for lipid accumulation. *Berita Biologi*. 2017;16(2):111–9.
48. **Kanti A**, Sudiana IM. Ethanol production using cellulolytic, xylanolytic and fermentative yeast on cassava waste. In proceedings The SATREPS Conference 2017 1(1):39–52.
49. Kobayashi R, **Kanti A**, Kawasaki H. Three novel species of d-xylose-assimilating yeasts, *Barnettozyma xylosiphila* sp. nov., *Bar-*

- nettozyma xylosica* sp. nov. and *Wickerhamomyces xylosivorus*, sp. nov. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2017;67(10):3971–6.
50. Rahmansyah M, Sugiharto A, **Kanti A**. *Pseudozyma aphidis* as inoculant for local chicken. Jurnal Biologi Indonesia. 2016;12(1).
  51. **Kanti A**, Yamazaki A, Kawasaki H. *Citeromyces cibodasensis* sp. nov., a novel yeast species isolated from leaf litter in Indonesia. Mycoscience. 2018 ;59(6):455–60.
  52. Kobayashi R, **Kanti A**, Kawasaki H. *Pichia chibodasensis* sp. nov., isolated in Indonesia. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2017 1;67(4):1024–7.
  53. Yamazaki A, **Kanti A**, Kawasaki H. Three novel lipomycetaceous yeasts, *Lipomyces maratuensis* sp. nov., *Lipomyces tropicalis* sp. nov., and *Lipomyces kalimantanensis* fa, sp. nov. isolated from soil from the Maratua and Kalimantan Islands, Indonesia. Mycoscience. 2017;58(6):413–23.
  54. **Kanti A**. Diversity of Cellulolytic and Oleaginous Yeast from Indonesia. [Disertasi]. IPB University; 2014.
  55. Jamal Y, Ilyas M, **Kanti A**, Agusta A. Diversitas dan profil metabolit sekunder jamur endofit yang diisolasi dari tumbuhan gambir (*Uncaria gambier*) serta aktivitas biologisnya sebagai antibakteri. Berita Biologi. 2008;9(2):149–54.
  56. Johnson TA, Sohn J, Inman WD, Estee SA, Loveridge ST, Vervoort HC, Tenney K, Liu J, Ang KK, Ratnam J, Bray WM. Natural product libraries to accelerate the high-throughput discovery of therapeutic leads. Journal of Natural Products. 2011;74(12):2545–55.
  57. **Kanti A**, Ilyas M, Suidiana IM. Increase of citric acid production by *Aspergillus niger* InaCC F539 in sorghum's juice medium amended with methanol. Jurnal Biologi Indonesia. 2018;14(2):155–63.
  58. **Kanti A**, Muhammad I. Isolasi dan identifikasi kapang pada relung rhizosphere tanaman di Kawasan Cagar Alam Gunung Mutis, Timor, NTT. BIODIVERSITAS. 2006;7(3):216–20.



59. **Kanti A**, Sudiana IM. Comparison of *Neurospora crassa* and *Neurospora sitophila* for phytase production at various fermentation temperatures. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 2016;17(2):769–775.
60. Jatuwong K, Suwannarach N, Kumla J, Penkhrue W, Kakumyan P, Lumyong S. Bioprocess for production, characteristics, and biotechnological applications of fungal phytases. *Frontiers in Microbiology*. 2020 Feb 14;11:188.
61. **Kanti A**. Production of phytase, amylase and cellulase by *Aspergillus niger*, *Neurospora crassa*, and *Rhizopus oryzae* on sargassum and rice bran under solid state fermentation. In *Annales Bogorienses*. 2015;19(2):39–48.
62. Muhamad I, **Kanti A**, Jamal Y, Hertina H, Agusta A. Biodiversity of endophytic fungi associated with *Uncaria gambier* Roxb. (Rubiaceae) from west Sumatra. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 2009;10(1):23–28.
63. Zhang X, Yu H, Huang H, Liu Y. Evaluation of biological pretreatment with white rot fungi for the enzymatic hydrolysis of bamboo culms. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2007; 60(3):159–164.
64. **Kanti A**. Cellulolytic Actinomycetes isolated from soil in Bukit Duabelas National Park, Jambi. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 2005;6(2):85–89.
65. **Kanti A**. Carboxymethyl cellulose hydrolyzing yeast isolated from South East Sulawesi, Indonesia. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2016 Apr 20;11(2):285–294.
66. Sitepu IR, Garay LA, Enriquez L, Fry R, Butler JH, Lopez JM, **Kanti A**, Faulina SA, Nugroho AJ, Simmons BA, Singer SW. 1-Ethyl-3-methylimidazolium tolerance and intracellular lipid accumulation of 38 oleaginous yeast species. *Applied microbiology and biotechnology*. 2017;101(23):8621–31.

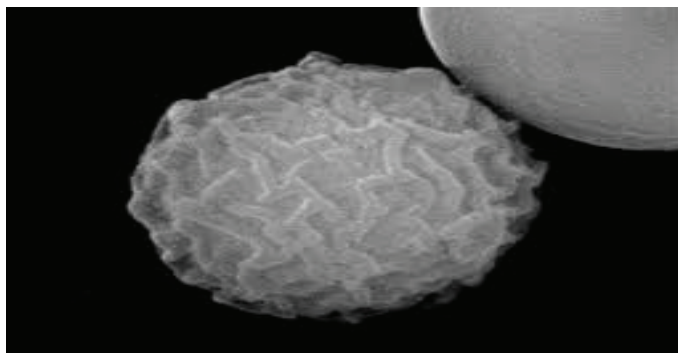
67. Sitepu IR, Ignatia L, Franz AK, Wong DM, Faulina SA, Tsui M, **Kanti A**, Boundy-Mills K. An improved high-throughput Nile red fluorescence assay for estimating intracellular lipids in a variety of yeast species. *Journal of microbiological methods*. 2012;91(2):321–8.
68. Wang R, Wang J, Xu R, Fang Z, Liu A. Oil production by the oleaginous yeast *Lipomyces starkeyi* using diverse carbon sources. *BioResources*. 2014;9(4):7027–40.
69. Dias C, Santos J, Reis A, da Silva TL. Yeast and microalgal symbiotic cultures using low-cost substrates for lipid production. *Bioresource Technology Reports*, 7, (2019). 100261.
70. Nakashima C, Oetari A, **Kanti A**, Saraswati R, Widyastuti Y, Ando K. New species and newly recorded species of *Cercospora* and allied genera from Indonesia. *Mycosphere* 2010; 1 (4): 315-23. ISSN 2077 7019. www.mycosphere.org.Doi 10.5943/mycosphere/4/3/2
71. Mujahidah S, Sukarno N, **Kanti A**, Sudiana IM. Identification of ectomycorrhiza-associated fungi and their ability in phosphate solubilization. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2019;14(2)
72. Chaudhary H S, Soni B, Shrivastava AR, Shrivastava S. Diversity and versatility of actinomycetes and its role in antibiotic production. *J of Applied Pharmaceutical Science*. 2013;3(8): S83–S94.
73. Jamal Y, Muhamad I, **Kanti A**, Agusta A. Keragaman jenis jamur endofit pada pandan wangi (*Pandanus amarylifolius*) dan aktivitas antijamur metabolit yang diproduksinya. *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*. 2009;14(2):81–6.
74. Sudiana IM, **Kanti A**, Helbert H, Octaviana S, Suprapedi S. Lipid Accumulation by *Flavodon flavus* ATH using palm oil mill effluent as substrate. *BIOTROPIA-The Southeast Asian Journal of Tropical Biology*. 2014;21(2):100–10.

75. Sudiana IM, Rahmansyah M, Sugihatro A, **Kanti A**. Optimasi tata kelola lingkungan dalam konsep integrated farming untuk meningkatkan ketahanan daya adaptasi terhadap dampak perubahan iklim global. Prosiding Geoteknologi LIPI. 2012.
76. Sudiana IM, Susilowati DN, Otsuka S, Octaviana S, Rahmansyah M, Sugiharto A, **Kanti A**. Strategy on promoting microbial growth of methanotrophic bacteria to enhance paddy productivity while reducing methane emission for climate adaptation. Pre-breeding and gene discovery for food and renewable energy security. IAARD Press (Indonesian Agency for Agricultural Research and Development). 2016.

## LAMPIRAN

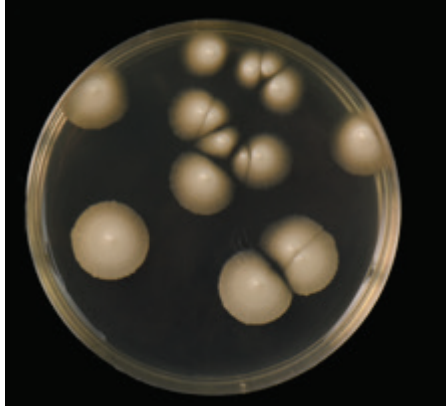


**Gambar 1.** *Candida* sp Kandidat Jenis Baru Khamir Asal Sulawesi Tenggara



**Gambar 2.** *Citeromyces cibodasensis* NBRC 110244<sup>T</sup> (= CBS 14272<sup>T</sup> = InaCCY703<sup>T</sup> = AK01) Khamir ini diisolasi dari daun tanaman *Macropanax dispermus* di KR Cibodas Jawa Barat

Buku ini tidak diperjualbelikan.



**Gambar 3.** Koleksi Khamir Marga *Candida*



**Gambar 4.** Morfologi khamir marga *Saccharomyces* yang mempunyai kemampuan menghasilkan ethanol tinggi

Buku ini tidak diperjualbelikan.



**Gambar 5.** *Rhodotorula minuta* InaCC Y-1508 mampu mengasimilasi xilosa dan mengakumulasi lipid

## DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

### Bagian dari Buku

1. Kusmiati K, Afiati F, Widhiani C, Aditia A, Elviani DD, **Kanti A**. The potential of lutein extract of *tagetes erecta* l. flower as an antioxidant and enhancing phagocytic activity of macrophage cells. In Innovation in the Food Sector Through the Valorization of Food and Agro-Food By-Products 2021 Jan 29. Intech Open.
2. **Kanti A**, Muhamad I, Nurkanto A, Sulistiyani TR, Meliah S. Panduan pengelolaan kultur koleksi mikroorganisme, Editor. Kanti. A. LIPI Press 2019.p. 125.
3. Hamidy A, Ary P. Keim, Augusta A, Maharadatunkamsi, Setyorini D, Meliah S, M. Amin MY, Sambas ES, **Kanti A** et al . Ekspedisi Sumba. LIPI Press; 2019. p.195.
4. Achmadi AS, Hamidy A, Maryanto I, Lupiyaningdyah P, Sihotang VBL, Kahono S, Kartonegoro A, Ardiyani M, Mulyaningsih ES, **Kanti A**. Ekspedisi Sulawesi Barat, flora, fauna, dan mikroorganisme. LIPI Press; 2018.p. 167.
5. Hari Nugroho, Sigit Wiantoro, Yessi Santika, I Nyoman Sumerta, **Kanti A** et al. Ekspedisi Tambrauw: sepotong surga di Tanah Papua. LIPI Press. 2019.
6. Ardiyani M, Dwibadra D, Meliah S, Maryanto I, **Kanti A**, et al. Temuan dan Pertelaan Jenis Baru Biota Indonesia 1967–2017: Sumbangsih LIPI untuk Sains. LIPI Press; 2018.
7. Sukara E, Lisdiyanti P, Widyastuti Y, **Kanti A**, Yopi et al. Exploring Indonesian microbial genetic resources for industrial application: Future challenges of yeast and the associated microbes in ragi and tape. In: Sukara E, Lisdiyanti P, editors. LIPI Press; 2018. p. 221.
8. Amir Hamidy, Ary P. Keim, Pungki Lupiyaningdyah, Arif Nurkanto, Daisy Wowor, **Kanti A** et al. Ekspedisi Pulau Enggano. LIPI Press. 2018.

9. Sudiana IM, Susilowati DN, Otsuka S, Rahmansyah M, Sugiharto A, **Kanti A**. Strategy on promoting microbial growth of methanotrophic bacteria to enhance paddy productivity while reducing methane emission for climate adaptation. Pre-breeding and gene discovery for food and renewable energy security. Publisher: IAARD Press (Indonesian Agency for Agricultural Research and Development). 2016.

### Jurnal Internasional

10. Kuriyama H, Sastraatmadja D, Igosaki Y, Watanabe K, **Kanti A**, Fukatsu T. Identification and characterization of yeast isolated from Indonesian fermented food. *Mycoscience*. 1997 1;38(4):441–5.
11. **Kanti A**. Cellulolytic Actinomycetes isolated from soil in Bukit Duabelas National Park, Jambi. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 2005;6(2).
12. Muhamad I, **Kanti A**, Jamal Y, Hertina h, Agusta A. Biodiversity of endophytic fungi associated with *Uncaria gambier* Roxb.(Rubiaceae) from west Sumatra. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 2009;10(1).
13. Nakashima C, Oetari A, **Kanti A**, Saraswati R, Widyastuti Y, Ando K. New Species and newly recorded species of *Cercospora* and allied genera from Indonesia. *Mycosphere*. 2010;1(4):315–23. ISSN 2077 7019. [www.mycosphere.org](http://www.mycosphere.org). Doi 10.5943/mycosphere/4/3/2
14. Johnson TA, Sohn J, Estee SA, Loveridge ST, **Kanti A**, Vervoort HC et al. Natural product libraries to accelerate the high-throughput discovery of therapeutic leads. *Journal of natural products*. 2011;74(12):2545–55.
15. Sitepu IR, Ignatia L, Franz AK, Wong DM, Faulina SA, Tsui M, **Kanti A**, Boundy-Mills K et al. An improved high-throughput Nile red fluorescence assay for estimating intracellular lipids in a variety of yeast species. *Journal of microbiological methods*. 2012;91(2):321–8.



16. Sjamsuridzal W, Oetari A, Nakashima C, **Kanti A**, Saraswati R, Widyastuti Y, Ando K. New species of the genus *Metschnikowia* isolated from flowers in Indonesia, *Metschnikowia cibodasensis* sp. nov. *Journal of microbiology and biotechnology*. 2013;23(7):905–12.
17. **Kanti A**, Sukara E, Latifah K, Sukarno N, Boundy-Mills K. Indonesian oleaginous yeasts isolated from *Piper betle* and *P. nigrum*. *Mycosphere*. 2013 Jan 1;4(3):363–454.
18. Sari M, **Kanti A**, Artika IM, Kusharyoto W. Identification of *Pseudozyma hubeiensis* Y10BS025 as a potent producer of glycolipid biosurfactant mannosylerythritol lipids. *American Journal of Biochemistry & Biotechnology*. 2013 1; 9(4):430–37.
19. Sudiana IM, **Kanti A**, Helbert H, Octaviana S, Suprapedi S. Lipid accumulation by *Flavodon flavus* ATH using palm oil mill effluent as substrate. *BIOTROPIA-The Southeast Asian Journal of Tropical Biology*. 2014 28;21(2):100–10.
20. **Kanti A**, Sudiana M. Carboxymethyl cellulose as a C-source for lipid accumulation by the oleaginous yeast *Candida orthopsilosis*. *Current Research in Environmental & Applied Mycology*. 2015;5(4):349–56.
21. **Kanti A**, Sudiana IM. Comparison of *Neurospora crassa* and *Neurospora sitophila* for phytase production at various fermentation temperatures. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 2016;17(2):769–775.
22. Garay LA, Sitepu IR, Fry RW, **Kanti A**, Faulina SA, German JB et al. Discovery of synthesis and secretion of polyol esters of fatty acids by four basidiomycetous yeast species in the order Sporidiobolales. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 2017 Jun 1;44(6):923–36.
23. Kobayashi R, **Kanti A**, Kawasaki H. *Pichia chibodasensis* sp. nov., isolated in Indonesia. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2017;67(4):1024–7.

24. Sitepu IR, Garay LA, Enriquez L, **Kanti A**, Singer SW et al. 1-Ethyl-3-methylimidazolium tolerance and intracellular lipid accumulation of 38 oleaginous yeast species. *Applied microbiology and biotechnology*. 2017;101(23):8621–31.
25. Kobayashi R, **Kanti A**, Kawasaki H. Three novel species of d-xylose-assimilating yeasts, *Barnettozyma xylosiphila* sp. nov., *Barnettozyma xylosica* sp. nov. and *Wickerhamomyces xylosivorus* fa, sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2017;67(10):3971–6.
26. Yamazaki A, **Kanti A**, Kawasaki H. Three novel lipomycetaceous yeasts, *Lipomyces maratuensis* sp. nov., *Lipomyces tropicalis* sp. nov., and *Lipomyces kalimantanensis* fa, sp. nov. isolated from soil from the Maratua and Kalimantan Islands, Indonesia. *Mycoscience*. 2017;58(6):413–23.
27. **Kanti A**, Yamazaki A, Kawasaki H. *Citeromyces cibodasensis* sp. nov., a novel yeast species isolated from leaf litter in Indonesia. *Mycoscience*. 2018;59(6):455–60.
28. Napitupulu TP, Muhamad I, **Kanti A**, Sudiana IM. In vitro evaluation of *Trichoderma harzianum* strains for the control of *Fusarium oxysporum* F. sp. cubense. *Plant Pathology & Quarantine*. 2019;9(1):152–9.
29. Sudiana IM, Putri A, Napitupulu TP, Purnaningsih I, **Kanti A**. Growth inhibition of *Fusarium solani* and *F. oxysporum* by *Streptomyces sasae* TG01, and its ability to solubilize insoluble phosphate. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 2020;21(2):425–35.
30. Sulistiyani TR, Purnaningsih I, Napitupulu TP, Budiyanto A, **Kanti A**, Sudiana IM. Endophytic Bacteria diversity from Zingiberaceae and anticandidal characterization produced by *Pseudomonas helmanticensis*. *Jurnal Teknologi*. 2020;83(1):7–17.

31. Meliah S, Sulistiyani TR, Lisdiyanti P, **Kanti A**, Sudiana I, Kobayashi M. Antifungal activity of endophytic bacteria associated with sweet sorghum (*Sorghum bicolor*). Journal of Mathematical & Fundamental Sciences. 2021;53(1).
32. Latifah I, Idris, Napitupulu TP, Ramadhani I, Ikhwani AZN, **Kanti A**, Sudiana IM, Prasetya B. Effect of Mycorrhiza on the growth of *Paraserianthes falcataria* (L.) I.C Nielson under Hg-contamination. Asian Journal of Mycology. 2021;4(1):261–73. ISSN 2651-1339 www.asianjournalofmycology.org
33. Napitupulu TP, Ramadhani I, **Kanti A**, Sudiana IM. Diversity, phosphate solubilizing, and IAA production of culturable fungi associated with healthy and wilt banana. Archives of Phytopathology and Plant Protection. 2021;54(19–20):2306–32.
34. Napitupulu TP, **Kanti A**, Masrukhin , Sulistiyani TR , Dede Yanto HR, Sudiana IM. Production of Bacterial Cellulose by *Komagataeibacter xylinus* InaCC B404 using different carbon sources. Current Applied Science and Technology. 2022. 22 (4).
35. Setiawan W, Wiyono S, Napitupulu TP, **Kanti A**, Idris, Masrukhin, Toding E, Sumerta IN, Sudiana IM. Biocontrol Activity, Mode of Action, and Colonization of *Aureobasidium pullulans* Dmg 30 DEP on Controlling Early Blight Disease on Tomato Plant. Hayati Journal of Biosciences. 2022;29(3):320–329 DOI:10.4308/hjb.29.3.320-329 ISSN: 1978-3019 EISSN: 2086-4094.

### **Jurnal Nasional Berbahasa Inggris**

36. **Kanti A**, Sudiana IM, Julistiono H. The community of soil yeasts in Gunung Halimun National Park. Berita Biologi. 2001;5(6):735–42.
37. **Kanti A**, Sudiana IM. Diversity and ecological perspective of soil yeast in Gunung Halimun National Park. Berita Biologi. 2002;6(1):25–32.
38. **Kanti A**, Julistiono H, Sudiana IM. Identification of yeasts isolated from Gunung Halimun National Park. Berita Biologi. 2002;6(1):115–24.

39. **Kanti A.** *Candida* sp. yeast solubilizing phosphate isolated from soil in Wamena Biological Garden, Papua. Biodiversitas Journal of Biological Diversity. 2006;7(2).
40. Sjamsuridzal W, Oetari A, **Kanti A**, Saraswati R, Nakashima C, Widyastuti Y, Katsuhiko A. Ecological and taxonomical perspective of yeasts in Indonesia. Microbiology Indonesia. 2010;4(2 ): 60–68.
41. **Kanti A**, Sukarno N, Sukara E, Darusman LK. Cellulolytic yeast isolated from Raja Ampat Indonesia. Annales Bogorienses. 2012;16(1):27–34.
42. **Kanti A.** Production of Phytase, amylase and cellulase by *Aspergillus niger*, *Neurospora crassa*, and *Rhizopus oryzae* on sargassum and rice bran under solid state fermentation. Annales Bogorienses. 2015;19(2):39–48.
43. Rahmansyah M , Sugiharto A, **Kanti A.** *Pseudozyma aphidis* as inoculant for local chicken. Jurnal Biologi Indonesia. 2016;12(1). ISSN 0854-4425.
44. **Kanti A.** Effect of nitrogen addition on the  $\alpha$ -amylase production by *Aspergillus niger*, *Rhizopus oligosporus* and *Neurospora crassa* in media contained sargassum and rice seed on solid state fermentation. J. Biolog. Indones. 2016;12:249–56.
45. **Kanti A**, Sumerta IN. Diversity of Xylose assimilating yeast from the Island of Enggano, Sumatera, Indonesia. Berita Biologi. 2017;15(3):207–15.
46. **Kanti A**, Sudiana IM. Co-culture of amylolytic fungi *Aspergillus niger* and oleaginous yeast *Candida orthopsilosis* on cassava waste for lipid accumulation. Berita Biologi. 2017;16(2):111–9.
47. Sumerta IN, **Kanti A.** Keragaman jenis khamir penghasil etanol yang diisolasi dari makanan fermentasi di kepulauan Riau. Jurnal Biologi Indonesia. 2017;13(1).

48. Sumerta IN, **Kanti A**. Taxonomic approach for species diversity of yeasts and yeasts-like fungi through D1/D2 region of large subunit ribosomal DNA sequences. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*. 2018;10(1):72–8.
49. **Kanti A**, Muhamad I, Sudiana IM. Increase of citric acid production by *aspergillus niger* InaCC F539 in sorghum's juice medium amended with methanol. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2019;14(2).
50. Mujahidah S, Sukarno N, **Kanti A**, Sudiana IM. Identification of Ectomycorrhiza-Associated fungi and their ability in phosphate solubilization. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2019;15;14(2).
51. Napitupulu TP, **Kanti A**, Sudiana IM. The physiological characters of bacteria isolated from Banana Tress Rhizosphere form Malaka, East Nusa Tenggara, and their roles on Plant Growth promotion on marginal land. *Berita Biologi*. 2019;18(3):351–58.
52. Napitupulu TP, Muhamad I, **Kanti A**, Sudiana IM. Screening and evaluation of various carbon sources on the ability of *Trichoderma harzianum* to solubilize insoluble phosphate. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2020;15(2):205–11.
53. Napitupulu TP, Ilyas M, **Kanti A**, Sudiana IM, Silaban N. The effect of substrate composition on the activity of amylase and cellulase by *Trichoderma harzianum* strains under solid state fermentation. *Journal of Microbial Systematic and Biotechnology*. 2019;1(2):41–48.
54. Sumerta IN, Yuliani Y, **Kanti A**. Determining the potential indigenous red-yeasts producing  $\beta$ -carotene and their phylogenetic relationship. *Journal of Microbial Systematic and Biotechnology*. 2019;(1)(2):27–33. ISSN (online) 2685-4430
55. Thontowi A, Perwitasari U, Kholida LN, **Kanti A**, Yopi Y, Prasetya B. Furfural and 5-(hydroxymethyl) furfural tolerance *Candida* strains in bioethanol fermentation. *Annales Bogorienses*. 2020;24(1):1–10.

56. Putri A, Purbani DC, **Kanti A**, Kusmiati M, Habibi M. Isolation and identification of actinomycetes associated with moss on the surface of the Borobudur Temple Stone. *Biosaintifika*. 2020;12(1):10–20. ISSN 2085-191X | e-ISSN 2338-7610
57. Setiawan W, Wiyono S, Toding E, **Kanti A**, Sudiana IM. In vitro Study of Action mode of *Rhodotorula minuta* Dmg 16 BEP as Biocontrol Agents on *Alternaria solani*. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 2020;24(1):28–33. DOI: 10.22146/jpti.43344
58. Napitupulu TN, Ramadhani I, **Kanti A**, Sudiana IM. Evaluation of anti-Fusarium and auxin production of *Trichoderma virens* InaCC F1030 isolated from rhizosphere of banana. *Journal of Microbial Systematic and Biotechnology*. 2020;(2)(1):31–39. ISSN (online) 2685-4430.

### **Jurnal Nasional Berbahasa Indonesia**

59. **Kanti A**, Sudiana IM. Cellulolytic yeast isolated from Soil Gunung Halimun National Park. *Berita Biologi*. 2002;6(1):85-90.
60. **Kanti A**. Identifikasi jenis khamir yang diisolasi dari tanah gambut Taman Nasional Bukit Duabelas, Jambi. *BioSmart*. 2003; 6(1):10-4.
61. **Kanti A**, Sudiana IM. aktivitas CMC-ase Khamir *Candida* sp. yang diisolasi dari tanah Kebun Biologi Wamena, Papua. *Berita Biologi*. 2003;6(5):655-60.
62. **Kanti A**, Muhammad I. Isolasi dan identifikasi kapang pada relog rhizosphere tanaman di Kawasan Cagar Alam Gunung Mutis, Timor, NTT. *BIODIVERSITAS*. 2005;7(3):216–20.
63. **Kanti A**. Actinomycetes Selulolitik dari Tanah Hutan Taman Nasional Bukit Duabelas, Jambi. *Biodiversitas*. 2005;6(2):85–9.
64. **Kanti A**. Aktivitas enzim selulase dari Khamir *Candida* sp. dan *Debaryomyces* sp. yang diisolasi dari lahan gambut Taman Nasional Bukit Duabelas Jambi. *Jurnal Biologi*. 2006;4(1):19–28.

65. **Kanti A.** Penapisan Khamir Selulolitik *Cryptococcus* sp. yang diisolasi dari tanah Kebun Biologi Wamena, Jaya Wijaya, Provinsi Papua. *Jurnal Biologi*. 2007;XI(1), ISSN 1410 5292
66. Jamal Y, Muhamad I, **Kanti A**, Agusta A. Diversitas dan profil metabolit sekunder jamur endofit yang diisolasi dari tumbuhan gambir (*Uncaria gambier*) serta aktivitas biologisnya sebagai antibakteri. *Berita Biologi* 2008;9(2):149–54.
67. Jamal Y, Muhamad I, **Kanti A**, Agusta A. Keragaman jenis Jamur Endofit pada Pandan Wangi (*Pandanus amarylifolius*) dan aktivitas antijamur metabolit yang diproduksinya. *Biota*. 2009;14(2):81–86. ISSN 0853-8670
68. **Kanti A.** Carboxymethyl Cellulose Hydrolyzing Yeast Isolated from South East Sulawesi, Indonesia. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2015;Vol.11,No.2 Desember. ISSN 0854-4425
69. **Kanti A**, Latupapua HJ. Identifikasi keragaman khamir yang diisolasi dari Tanah Kebun Biologi Wamena Kabupaten Jayawijaya, Propinsi Papua. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2017;12(3).
70. Sumerta IN, **Kanti A.** Keanekaragaman khamir yang diisolasi dari sumber daya alam pulau Enggano, Bengkulu dan potensinya sebagai pendegradasi selulosa. *Berita Biologi*. 2017; 24;15(3):247–55.
71. **Kanti A**, Ilyas M, Sudiana IM. Increase of citric acid production by *Aspergillus niger* InaCC F539 in sorghum's juice medium amended with methanol *Jurnal Biologi Indonesia*. 2018;14(2):155-63.
72. **Kanti A.** Potensi Kapang *Aspergillus niger*, *Rhizopus oryzae* dan *Neurospora sitophila* sebagai penghasil enzim fitase dan amylase pada substrat ampas tahu. *Buletin Peternakan*. 2017;Vol.41(1):26–36. ISSN-0126-4400. E-ISSN-2407-876X.
73. Afiati F, Agustina DC, Wiryowidagdo S, Kusmiati, **Kanti A.** Efek Selenium Oksiklorida terhadap aktivitas Imunomodulator dari Eksopolosakarida *Lactobacillus plantarum*. *Berita Biologi*. 2020; 19(3). P-ISSN 0126-1754. E-ISSN 2337-8751

## Prosiding Internasional

74. **Kanti A**, Sudiana M. New development of Phytase Enzyme through modification of substrate and fermentation technology. Proceedings of International Conference on Appropriate Technology Development (ICATDev). Organized by Indonesian Institute Sciences Center for Appropriate Technology Development, Jakarta 2015: ISBN 978-0-9935191-1-6.
75. **Kanti A**, Sudiana IM. Ethanol production using cellulolytic, xylanolytic and fermentative yeast on cassava waste. In: Proceedings The 1st SATREPS Conference 2017:14(1).
76. **Kanti A**, Sudiana IM. Production of phytase, amylase and cellulase by *Aspergillus*, *Rhizophus* and *Neurospora* on mixed rice straw powder and soybean curd residue. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018;166(1);012010
77. **Kanti A**, IM Sudiana. Fungal diversity and its functions in tropical peatlands as plant growth promoting microorganism or associated with green house emission. International Symposium on Bioremediation, Biomaterial and Revegetation, IOP Conference Proceeding Series 2019.
78. **Kanti A**, I Idris, Sudiana IM. *Aspergillus niger* Str 3 and *Neurospora sitophila* for phytase production on coconut oil cake supplemented with rice brand in solid-state fermentation. ISIBIO IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 2019; 439(1);012020.
79. Napitupulu TP, **Kanti A**, Sudiana IM. Evaluation of the environmental factors modulating Indole-3-acetic Acid (IAA) Production by *Trichoderma harzianum* InaCC F88. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science; 2019; 308; 012060 . 1-12.
80. Napitupulu TP, **Kanti A**, Purnaningsih I, Sudiana IM. Comparison of addition mold and yeast inoculants on the production of citric acid in liquid and solid media from sorghum. Earth and Environmental Science IOP Conf; 2019. Series: Earth and Environmental Science 308 012060 . IOP Publishing.



81. Pratama AB, Mangunwardoyo W, Chandra ND, Napitupulu TP, Idris, **Kanti A**, Ikhwani Z, Sudiana IM , Guswenrivo I. Influence of AM fungi inoculation on *Capsicum annuum* L. plant grown in microwave-sterilized media. 1 st ICADAI; E3S Web of Conference 306,01057;2021.
82. Efadeswarni FY , Idris , T Sulistiyani TR , **Kanti A**, Sudiana IM Sudiana. Indigenous mercury-resistant bacteria isolated from contaminated soils around artisanal gold processing centers in Sukabumi, Indonesia. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 909;2021 012009
83. Idris, Napitupulu TP, Ikhwani A, Sumerta IN, Masrukhin, **Kanti A** et al. Diversity of hydrocarbon-degrading bacteria in Pulau Pari and their potential roles for bioremediation. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 950;2022 012013

## DAFTAR PATEN

### Patent tersertifikasi

84. **Kanti A**, Sudiana IM, Sugiharto A, Rahmansyah M. Metoda produksi fertiliser yang mengandung mikroba dan biostimulan untuk lahan marginal. Paten Indonesia No IPP000072002. 12 Oktober 2020.
85. **Kanti A**, Sudiana IM, Helbert, Suprapedi, Octaviana S. Proses Aerobik-anaerobik untuk pengolahan limbah pome. P00201404542. Tanggal Pemberian 28 Oktober 2021.

### Patent terdaftar

86. **Kanti A**, Sudiana IM, Sugiharto A. Metoda pembuatan hidrogel alami terpadu biocarier. No. B-3969/K.3/HK.06/XII/2019. Patent terdaftar, tanggal pendaftaran 13 Desember 2019.

## DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

1. **Kanti A**, Komagata K. Taxonomy study of yeast in Indonesian fermented food. Thesis. Tokyo University of Agriculture 2000.
2. **Kanti A**, Nampiah S, Sukara E, Latifah. Diversity of Cellulolytic, Oleaginous and Cellulo-Oleaginous Yeast from Indonesian resources. Disertation. 2014. IPB University.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### A. Data Pribadi

Nama Lengkap	: Dr. Atit Kanti, M.Sc.
Tempat/tanggal lahir	: Bandung / 02 November 1968
Anak ke	: 6 dari 7 bersaudara
Nama Ayah Kandung	: S. Iswata (alm.)
Nama Ibu Kandung	: Ketut Subakti
Nama Suami	: Prof. Dr. I Made Suidiana, M.Sc
Jumlah Anak	: 2 orang
Nama Anak	: 1. Ni Luh Putu Jiesta Padmi 2. Made Padma Wianantha
Nama Instansi	: Pusat Riset Biosistematika dan Evolusi, Badan Riset dan Inovasi Nasional
Judul Orasi	: Diversitas Khamir Indonesia untuk Pengembangan Biofuel dan Bioindustri
Bidang Kepakaran	: Mikrobiologi, Mikologi
No. SK Pangkat Terakhir	: Keppres No. 00059/KEP/AA/15001/18, tanggal 29 Maret 2018
No. SK Peneliti Ahli Utama	: Keppres No. 3/M Tahun 2022, tanggal 19 Januari, TMT 1 Oktober 2021

## B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/PT	Tempat	Tahun Lulus
1	SD	Karang Pawulang	Bandung	1981
2	SMP	Negeri 13	Bandung	1984
3	SMA	Negeri 8	Bandung	1987
4	S-1	In Universitas Padjajaran	Bogor	1993
5	S-2	Tokyo University of Agriculture	Tokyo, Jepang	2000
6	S-3	Institut Pertanian Bogor	Bogor	2014

## C. Pendidikan Nonformal

No.	Nama Kursus/ Pelatihan	Durasi (Bulan)	Tempat	Tahun
1	Kursus bahasa Jepang	12	Tokyo, Jepang	1998
2	Training Mikrobiologi	3	Tsukuba, Jepang	1995
3	Culture Collection Management Training, JICA	6	Chiba, Jepang	2001
4	Biosistematika Mikro-organisme training	13	Chiba, Jepang	2004
5	Training, Japan Society Promotion for Science (JSPS)	3	Tokyo, Jepang	2005
6	Biosistematika Mikro-organisme Training	3	Tokyo, Jepang	2007
7	Penyimpanan Mikro-organisme training, MAFF	1	Tsukuba, Jepang	2009

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kursus/ Pelatihan	Durasi (Bulan)	Tempat	Tahun
8	ISO 9001 kultur koleksi mikroorganisme training, NBRC	2	Chiba, Jepang	2011
9	Acess Benefit Sharing Training, NBRC	1	Tokyo, Jepang	2012
10	Training penyimpanan mikroba dengan sistem beku, Vietnam Culture Collection	1	Vietnam	2012
11	Training data base management training, China	1	Cina	2012
12	Training aplikasi khamir untuk biodiesel, University California, Davis	3	Amerika	2012

#### D. Riwayat Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1	Penata Muda - III/a CPNS	01-03-1994
2	Penata Muda - III/a PNS	01-08-1995
3	Penata Muda Tingkat I - III/b	01-10-2000
4	Penata - III/c	01-04-2004
5	Penata Tingkat I - III/d	01-03-2008
6	Pembina - IV/a	01-01-2010
7	Pembina Tingkat I - IV/b	01-04-2012
8	Peneliti Madya (Gol. IV/c)	1 Juni 2013
9	Peneliti Utama (Gol. IV/d)	1 Oktober 2021

## E. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1	Penulis Tunggal	25
2	Penulis Pertama	45
3	Penulis Kedua dst	16
	Total	86

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1	Karya Tulis dalam Bahasa Inggris	62
2	Karya Tulis dalam Bahasa Indonesia	24
	Total	86

## F. Pembinaan Kader Ilmiah Mengajar/Memberi Kuliah Umum

No.	Universitas/PT Tempat Mengajar	Tahun Mengajar
1	Universitas Padjadjaran	2015
2	Institut Pertanian Bogor	20014, 2016

## Membimbing Mahasiswa

No.	Universitas/PT Tempat Membimbing	Jumlah Mahasiswa/ Jenjang	Tahun
1	Institut Teknologi Surabaya (ITS)	3 (S-1)	2008, 2018
2	Institut Pertanian Bogor (IPB)	3 (S-1, S-3)	2009, 2013
3	Universitas Bangka Belitung (UBB)	2 (S-1)	2012
4	Sekolah Tinggi MIPA Bogor	2 (S-1)	2014, 2017

No.	Universitas/PT Tempat Membimbing	JumlahMahasiswa/ Jenjang	Tahun
5	Universitas Indonesia (UI)	2 (S-1)	2015, 2016
6	Institut Teknologi Bandung (ITB)	6 (S-1)	2016
7	Universitas Jakarta (UNJ)	1 (S-1)	2017
8	Universitas Pakuan (UNPAK)	1 (S-1)	2017

### G. Keterlibatan sebagai Editor Jurnal/Prosiding

No.	Jabatan	Majalah/Prosiding	Tahun
1	Mitra Bestari	Biodiversitas	2005
2	Mitra Bestari	Berita Biologi-Puslit Biologi LIPI	2012, 2013, 2015, 2016, 2017
3	Mitra Bestari	Jurnal Biologi Indonesia-LIPI-PBI	2010, 2011, 2014, 2017
4	Mitra Bestari	BIODIVERSITAS	2014
5	Mitra Bestari	BIOTROPIA- BIOTROP	2017
6	Mitra Bestari	Buletin Kebun Raya LIPI	2016, 2018
7	Mitra Bestari	Widya Riset-PUSBINDIKLAT LIPI	2016
8	Editor	Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional Kerbau	2012
9	Reviewer	Jordan Journal of Biological Sciences. ISSN 1995-6673 (P); 2307-7166 (E).	2018
10	Reviewer	Mycoscience	2021
11	Reviewer	HAYATI	2022

Buku ini tidak diperjualbelikan.



## H. Pembicara Ilmiah

No.	Kegiatan Ilmiah	Penyelenggara (Tempat, Waktu)
1	Pertemuan ACM (Asia Consortium for Sustainable and Utilization of Microorganims	Thailand Biotechnology Centre. 2012
2	Pertemuan ACM (Asia Consortium for Sustainable and Utilization of Microorganims	Universitas Putera Malaysia, 2013
3	Annual Meeting Projek SATREPS InaCC	NITE, Biological Resources Centre (NBRC), 2014
4	Annual Meeting Projek SATREPS InaCC	NITE, Biological Resources Centre (NBRC), 2015
5	Annual Meeting Projek SATREPS InaCC	NITE, Biological Resources Centre (NBRC), 2016
6	Menjadi pembicara tamu pada Annual meeting kerja sama Göttingen-IPB	University Göttingen, 2017
7	Annual Meeting projek SATREPS JST-JICA	Universitas Kyoto, 2017
8	Pertemuan ACM ke 14	Taiwan Food and Industry Culture Collection, 2017
8	Pertemuan ACM ke 15	Mongolia Institute of Sciences, 2018
9	Pembicara Utama mengenai ABS di Japan Genetic Resources	Japan Genetic Resources, Tokyo, 2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Kegiatan Ilmiah	Penyelenggara (Tempat, Waktu)
10	Forum Group Discussion Saguling. ”Fitoteknologi untuk Peningkatan Kualitas Lingkungan”	Limnologi-APCE. Bogor, 10 Oktober 2016

## I. Pengalaman Penelitian

No	Pengalaman Penelitian	Tahun
1.	Exploring the potential power of yeast originated from Ragi (traditional Fermented Food) for bio-industrial proposes. LIPI-NIBH (National Institute for Bioscience and Human Technology Evaluation Japan)	1995–1998
2.	Exploring microbial diversity of soil, litter yeast from Gunung Halimun National Park. JICA Projek	2000–2002
3.	Eksplorasi dan studi Polyphasic taksonomi khamir asal Indonesia	2002–sekarang
4.	Projek Barcoding KEHATI Indonesia	2003–sekarang
5.	Taxonomic and ecological studies of Actinomycetes and Fungi. Pemerintah Indonesia - NITE-BRC, Jepang	2003–2009
6.	Exploring the potential use of yeast and fungi for bioenergy and biofuel. Projek kerja sama antara Pemerintah Indonesia-United State of America Goverment, funded by Grant Number U01TW008160 (NIH).	2009–2014

No	Pengalaman Penelitian	Tahun
7.	Mengikuti proyek JST-JICA-SATREPS project for the Development of Internationally Standardized Microbial Resources Center as a Core of Biological Resources Center to Promote Life Science Research and Biotechnology	2011–2016
8.	Mengikuti proyek JST-JICA-SATREPS project for Innovative Bio-Production Indonesia (iBiol): Integrated Bio-Refinery Strategy to Promote Biomass utilization using super-microbes for Fuels and Chemicals Production	2012–2017
9.	Mengikuti kegiatan proyek produk komersial – LIPI: Produksi Enzim Hidrolisis untuk fortifikasi Pakan Hewan Monogastrik dan Pakan Ikan	2016–2018
10.	Mengikuti kegiatan proyek: Fasilitasi Start Up/ Alih Teknologi Produk: Produksi Skala Terbatas Starter Enzim Biokontrol Untuk Reklamasi lahan kritis & Bekas Tambang	2016–2018
11.	Mengikuti proyek JST-JICA-SATREPS project The Project of Searching Lead Compounds for Antimalaria and Anti Amubic Agents by Utilizing Diversity of Indonesia Bio-resources ( SLeCAMA)	2015–2020
12.	Mengikuti proyek JST-JICA-SATREPS project Revegetation of <i>Alang-Alang</i> Field combine with Biomass production for Energy Solution Life Science Research and Biotechnology	

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Pengalaman Penelitian	Tahun
13.	Mengikuti kegiatan INSINAS- KEMEN-RISTEK DIKTI “Pengembangan Teknologi Proses Pembuatan Biosurfaktan dan Xilitol dari Bahan Lignoselulosa sebagai Ko-Produk pada Produksi Bioetanol Generasi 2”. 2016 – 2021.	
14.	Mengikuti kegiatan INSINAS- KEMEN-RISTEK DIKTI “Pengembangan teknologi biocarrier terpadu dengan hidrogel alami untuk meningkatkan produksi pisang lokal Bali”	2019–2020
15.	Mengikuti kegiatan INSINAS- KEMEN-RISTEK DIKTI “Formula Biokontrol untuk mencegah penyakit pisang dan meningkatkan produksi pisang lokal di lahan marginal”	2019–2020
16.	Mengikuti kegiatan INSINAS- KEMEN-RISTEK DIKTI “Produksi Xilitol dari Biomassa Lignoselulosa sebagai pemanis alami rendah kalori pencegah obesitas”	2019–2020

## J. Tanda Penghargaan

No.	Pejabat/Instansi yang Memberikan	Nama/Jenis Penghargaan	No. SK/ Tahun
1	Presiden RI	Satya Lancana Karya Satya X	055/TK/1997
2	Presiden RI	Satya Lancana Karya Satya XX	3129/K/KP/2007
3	Presiden RI	Satya Lancana Karya Satya XXX	63/TK/2015

## K. Organisasi Profesi

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1	Ketua	Forum Komunikasi Kurator Mikroorganisme	2016–2022
2	Wakil Ketua	Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia Pusat	2018–sekarang
3	Komite IP, Paten dan Komersialisasi	Federasi Kultur Koleksi Internasional	2017–sekarang
4	Anggota	Perhimpunan Biologi Indonesia (PBI)	Aktif
5	Anggota	Perhimpunan Periset Indonesia	Aktif

## L. Grant yang Pernah Diperoleh

No.	Pemberi Grant	Nama Grant	Tahun
1	INPEX Foundation	Beasiswa Master	1998–2000
2	JICA	Long Training Course	2001, 1990
3	Australian Government	CSIRO	1990–1993
4	JSPS	Short Training Course	
5	KEMENRISTEK DIKTI	Ristek-Pro	
6	KEMENRISTEK DIKTI	Beasiswa Doktor	
7	NIH, Amerika	Research Grant	
8	JICA-JST-SATREPS	Research Grant	



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

DOI: 10.55981/brin.727



ISBN 978-623-8052-43-1



9 786238 052431

Buku ini tidak diperjualbelikan.