



ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET BIDANG BIOPROSES

ENERGI GENERASI TIGA BERBASIS MIKROB FOTOSINTETIK DAN MIKROALGA MENDUKUNG SOLUSI KRISIS ENERGI RAMAH LINGKUNGAN



**OLEH:
DWI SUSILANINGSIH**

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
JAKARTA, 27 AGUSTUS 2020**

Buku ini tidak diperjualbelikan

**ENERGI GENERASI TIGA
BERBASIS MIKROB FOTOSINTETIK DAN
MIKROALGA MENDUKUNG SOLUSI KRISIS
ENERGI RAMAH LINGKUNGAN**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dilarang mereproduksi atau memperbanyak seluruh atau sebagian dari buku ini dalam bentuk atau cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

© Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang No. 28 Tahun 2014

All Rights Reserved

Buku ini tidak diperjualbelikan.



**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
BIDANG BIOPROSES**

**ENERGI GENERASI TIGA
BERBASIS MIKROB FOTOSINTETIK
DAN MIKROALGA MENDUKUNG
SOLUSI KRISIS ENERGI
RAMAH LINGKUNGAN**

OLEH:

DWI SUSILANINGSIH

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
JAKARTA, 27 AGUSTUS 2020**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2020 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
Pusat Penelitian Bioteknologi

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Energi Generasi Tiga Berbasis Mikrob Fotosintetik dan Mikroalga Mendukung Solusi Krisis
Energi Ramah Lingkungan/Dwi Susilaningih. Jakarta: LIPI Press, 2020.

xi + 60 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-602-496-146-6 (cetak)
978-602-496-147-3 (e-book)

1. Energi

2. Mikroorganisme

333.953 9

Copy editor : Sarwendah P. Dewi
Proofreader : Risma Wahyu Hartiningsih
Penata Isi : Meita Safitri
Desainer Sampul : D.E.I.R. Mahelingga

Cetakan : Agustus 2020



Diterbitkan oleh:
LIPI Press, anggota Ikapi
Gedung PDDI LIPI, Lantai 6
Jln. Jend. Gatot Subroto 10, Jakarta 12710
Telp.: (021) 573 3465
e-mail: press@mail.lipi.go.id
website: lipipress.lipi.go.id



LIPI Press
@lipi_press

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BIODATA RINGKAS



Dwi Susilaningsih, lahir di Blora, Jawa Tengah pada 28 Oktober 1968 adalah anak kedua dari H. Sumbito dan Hj. Masatin. Menikah dengan Ir. H. Agung Setyawan dan dikaruniai dua orang anak, yaitu Rayhan Landep Wiastomo dan Bariq Mahatma Syach.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 1/M Tahun 2020 tanggal 6 Januari 2020 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Utama terhitung mulai 6 Januari 2020.

Berdasarkan Keputusan Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Nomor 173/A/2020 tanggal 10 Agustus 2020 tentang Pembentukan Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan pidato pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri Ngraho 1, tahun 1981, Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Cepu, 1984, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Cepu, 1987. Memperoleh gelar Sarjana Biologi (Doktoranda) dari Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto tahun 1992, gelar Magister Farmasi dari Universitas Osaka, Jepang tahun 2000, dan gelar Doktor bidang Farmasi dari Universitas Osaka, Jepang tahun 2003.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain pelatihan *Isolation and Characterization Floristic Microalgae* di Marine Biotechnology Institute, Kamaishi Jepang (2004–2005), pelatihan *Isolation and Characterization of Oil Degrading Bacteria* di NBRC-Kizarashu-Chi-

ba, Jepang (2007), pelatihan Penentuan Standar Parameter Lingkungan di Jakarta (2009), pelatihan *Molecular Approach for Hydrogen Produced Cyanobacteria* di Uppsala, Swedia (2012), pelatihan *Culture Collection of Microalgae and Its Management* di NBRC Kizarashu, Chiba, Jepang (2013, 2014, dan 2015), pelatihan *Applied Technology of New and Renewable Energy* di Scotlandia (2017), dan pelatihan *Solar Energy and Its Application* di China (2018). Selain itu, juga mengikuti Pendidikan dan Pelatihan Kepemimpinan Tingkat III (2011) dan Pelatihan Kepemimpinan LIPI (*Leadership Development Program*) (2014).

Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Bidang Bioproses (tahun 2008–2011) dan Kepala Bidang Sarana Penelitian (tahun 2014–2019).

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Muda tahun 1995, Peneliti Ahli Madya tahun 2009, dan memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama tahun 2020.

Menghasilkan 52 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 41 KTI ditulis dalam bahasa Inggris dan 1 KTI dalam bahasa Jepang. Selain itu, telah dihasilkan sebanyak 7 paten (terdaftar) dan 3 purwarupa.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing skripsi (S1) pada Universitas Indonesia, Universitas Diponegoro, Institut Teknologi Kalimantan, dan Universitas Halu Oleo Sulawesi; pembimbing tesis (S2) pada Institut Pertanian Bogor, Institut Teknologi Bandung, dan Universitas Indonesia; dan pembimbing disertasi (S3) pada Universitas Indonesia, Universitas Groningen, Belanda; serta penguji disertasi (S3) pada

Universitas Halu Oleo Sulawesi dan Universitas Groningen, Belanda.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, antara lain sebagai Anggota Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia (1994–sekarang), anggota Himpenindo (2019–sekarang), JAAI (2018–sekarang), dan Co-Chair APEC-ACABT untuk Cabang Indonesia (2016–sekarang).

Menerima tanda penghargaan Satyalancana Karya Satya X Tahun (tahun 2006) dan XX Tahun (tahun 2017) dari Presiden RI.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS	v
PRAKATA PENGUKUHAN.....	xi
I PENDAHULUAN	1
II PERKEMBANGAN ENERGI BARU TERBARUKAN DAN GENERASI BIOFUEL.....	4
2.1 Energi Konvensional	4
2.2 Perkembangan Energi Baru Terbarukan (EBT)	5
2.3 Perkembangan Bahan Bakar dan Generasi Biofuel.....	5
III ENERGI MASA DEPAN: BAHAN BAKU, PROSES, PRODUK DAN APLIKASINYA	7
3.1 Bahan Baku: Mikrob Fotosintetik dan Mikroalga.....	7
3.2 Bioproses: Akuakultur, Fotofermentasi, Perbaikan Genetik.....	9
3.3 Produk Energi Generasi Ketiga	11
IV STRATEGI PENGEMBANGAN, PROSPEK DAN TANTANGAN INDUSTRI BIOENERGI BERBASIS MIKROALGA.....	16
4.1 Strategi Pengembangan Industri	16
4.2 Prospek Bioenergi dan Tantangan	19
V KESIMPULAN	21
VI PENUTUP.....	23
UCAPAN TERIMA KASIH	25
DAFTAR PUSTAKA.....	27
LAMPIRAN.....	36
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	39
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA.....	46
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	47

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset yang mulia, yang terhormat Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah pengukuhan Profesor Riset di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

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

“ENERGI GENERASI TIGA BERBASIS MIKROB FOTO-SINTETIK DAN MIKROALGA MENDUKUNG SOLUSI KRISIS ENERGI RAMAH LINGKUNGAN”

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

I. PENDAHULUAN

Laju peningkatan populasi, kecepatan industrialisasi, dan kebutuhan penduduk akan energi terus meningkat (4,7%/tahun). Pemenuhan energi hingga saat ini diperoleh melalui aktivitas pembakaran batu bara, minyak bumi dan gas alam yang sebagian besar berasal dari energi fosil atau energi konvensional. Proses pengambilan dan pembakaran energi ini menyumbang masalah lingkungan, yaitu kenaikan tingkat gas rumah kaca di atmosfer bumi serta sebagai kontributor utama pemanasan global, perubahan iklim dan kebocoran ozon. Pada tahun 2020 penurunan emisi gas rumah kaca di Indonesia dicanangkan mencapai 26% dengan usaha sendiri atau sebesar 41% jika dibantu oleh badan internasional. Pernyataan sikap tegas RI ini diungkapkan pada waktu konferensi perubahan iklim COP 21 Paris, 2015¹. Kebijakan pemerintah RI guna menurunkan emisi gas rumah kaca ditekankan pada empat sektor, yakni bidang energi, bidang proses pengolahan industri dan pemanfaatan produknya, bidang pertanian dan kehutanan, serta perubahan penggunaan lahan lainnya dan bidang pengolahan limbah². Hal ini sesuai dengan kesepakatan dunia yang disebut *Paris Agreement*, 2016, melalui badan dunia United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) yang mengatur mengenai perubahan iklim, termasuk mitigasi, adaptasi dan pengelolaan, serta pendanaan penurunan gas rumah kaca³. Guna mendukung penurunan tingkat pemanasan global tersebut, pemenuhan energi bersih yang ramah lingkungan dan tidak menyisakan limbah dan berkelanjutan menjadi salah satu solusi yang harus diupayakan di Indonesia.

Kebutuhan energi Indonesia pada tahun 2018 adalah 114 *million ton of equivalen* (MTOE) yang terdiri dari 40% transportasi, 36% industri, 16% rumah tangga, 6% komersial, dan 2% sektor

lainnya⁴. Pemenuhan kebutuhan energi tersebut hingga saat ini sebagian besar berasal dari energi fosil. Cadangan minyak bumi di Indonesia sekitar 3,3 miliar barel diperkirakan akan habis dalam waktu 11–12 tahun mendatang. Sementara itu, perkiraan jumlah gas alam sebesar 135,55 triliun *standard cubic feed* (SCF) diprediksi akan habis dalam 40–50 tahun ke depan, dan jumlah batu bara yang saat ini sekitar 41 miliar ton diprediksi akan habis sekitar 80-an tahun lagi⁵. Energi-energi fosil yang terus-menerus terkikis tersebut akan memicu terjadinya krisis energi apabila tidak segera dicari solusinya. Penggalan sumber-sumber energi alternatif yang bersih, ramah lingkungan, dan berkelanjutan perlu dilakukan. Indonesia dikaruniai sumber energi yang melimpah dari energi konvensional (fosil) dan energi baru dan terbarukan (EBT) yang berkelanjutan, seperti tenaga angin, panas matahari, dan biomassa (bioenergi). Penggunaan EBT sesuai dengan mandat PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target bauran energi fosil dengan energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit masing-masing adalah sebesar 23%, dan 31% pada tahun 2050⁶.

Perkembangan energi Indonesia berawal dari pengeboran minyak bumi sekitar tahun 1850-an yang dilanjutkan dengan penemuan energi baru dan terbarukan pada tahun 1970-an. Salah satu energi baru dan terbarukan adalah bioenergi. Bioenergi adalah energi yang berasal dari material hayati, baik hewan, tumbuhan maupun mikroorganisme yang mempunyai bentuk padat, gas, dan cair. Bioenergi yang dimanfaatkan untuk bahan bakar alat transportasi dan mesin dikategorikan sebagai *biofuel*. *Biofuel* berdasarkan sumber material, waktu, dan teknologi yang digunakan, digolongkan menjadi generasi kesatu (berbasis bahan pangan), generasi

kedua (berbasis lignoselulosa), dan generasi ketiga (berbasis alga), serta generasi keempat (berbasis terobosan teknologi)⁷.

Berdasarkan permasalahan kebutuhan energi, sumber energi, dan polusi lingkungan dari energi konvensional, maka diperlukan solusi penciptaan energi bersih dan ramah lingkungan. Materi yang berkaitan dengan penelitian EBT, perkembangan EBT, status penelitian *biofuel* generasi ketiga (sumber, proses, dan *refinery*), strategi, dan tantangan aplikasi *biofuel*; rekomendasi agar *biofuel* dapat diaplikasikan; dan peran para pemangku kepentingan yang diharapkan; serta kendala dan tantangan akan disajikan dalam bab-bab berikut ini.

II. PERKEMBANGAN ENERGI BARU TERBARUKAN DAN GENERASI *BIOFUEL*

Energi adalah suatu objek yang dapat berpindah melalui interaksi dasar yang dapat diubah bentuknya, namun tidak dapat diciptakan ataupun dimusnahkan, seperti kerja dan panas⁸. Perkembangan energi digolongkan berdasarkan sumber, waktu, dan teknologi yang digunakan.

2.1 Energi Konvensional

Berdasarkan sumbernya, energi digolongkan menjadi energi konvensional dan energi terbarukan. Sumber energi konvensional berasal dari dalam bumi berupa minyak, gas, dan batu bara, serta uranium yang jumlahnya terbatas dan tidak dapat diperbarui. Proses pembentukan energi ini dihasilkan dari proses geologi yang sangat lambat atau proses fosilisasi. Minyak bumi telah digunakan oleh bangsa Assyria sejak 5.000 tahun Sebelum Masehi (SM) untuk obat dan pembasmi kutu. Selanjutnya, penemuan, eksploitasi, dan pengeboran minyak bumi di berbagai belahan negara produsen (Timur Tengah, Amerika Serikat, dan Indonesia) dimulai pada abad ke-18–19⁹.

2.2 Perkembangan Energi Baru Terbarukan (EBT)

Konsep energi baru dan terbarukan muncul di Indonesia sekitar tahun 1970. Opini EBT ini muncul guna mengimbangi sifat energi fosil dan nuklir yang terbatas jumlahnya dan tidak dapat diperbarui¹⁰. Energi Baru dan Terbarukan bersumber dari alam, dapat diperbarui secara cepat dan alami, serta telah memanfaatkan teknologi maju sehingga praktis dan siap digunakan. Sumber EBT adalah tenaga matahari, panas bumi, angin, laut, dan biomassa. Bioenergi adalah energi yang diperoleh berbasis bio-

massa dari makhluk hidup yang dapat berbentuk padatan, cairan dan gas yang digunakan untuk listrik, pemanas, dan bahan bakar¹¹.

2.3 Perkembangan Bahan Bakar dan Generasi *Biofuel*

Bahan bakar adalah materi yang dapat diubah menjadi energi atau penggerak alat transportasi, mesin, dan keperluan lainnya. Bahan bakar yang berasal dari proses fosilisasi disebut bahan bakar fosil yang menghasilkan emisi gas rumah kaca, baik pada proses pengolahan maupun pemakaiannya. Bahan bakar nonfosil juga disebut bahan bakar karbon netral karena pada proses dan aplikasinya tidak menurunkan emisi gas rumah kaca atau jejak karbon ke lingkungan (EBT, Nuklir)¹².

Salah satu jenis bahan bakar karbon netral adalah *biofuel*, yaitu energi yang berasal dari materi hayati. Proses konversi biomassa menjadi *biofuel* dilakukan melalui proses ekstraksi, fermentasi, pembakaran, pirolisis, *synthetic natural gas* (syn-gas), dan proses lainnya. *Biofuel* dapat berbentuk padatan, cairan, dan gas¹³. Berdasarkan sumber, waktu, dan teknologi yang digunakan dalam pembuatan *biofuel*, *biofuel* dikategorikan menjadi *biofuel* generasi kesatu, generasi kedua, dan generasi ketiga, serta generasi keempat¹⁴.

2.3.1 *Biofuel* Generasi Kesatu

Akibat terjadinya krisis energi sekitar tahun 1970, bahan bakar bersumber nonminyak bumi banyak digali. Generasi pertama *biofuel* mengacu pada bahan bakar yang berasal dari sumber-sumber pangan, seperti pati, gula, lemak hewani, dan minyak sayur yang diperoleh dengan menggunakan teknik produksi konversi sederhana. Beberapa jenis *biofuel* generasi pertama

yang paling populer adalah biodiesel, minyak nabati, biogas, bioalkohol, dan syngas¹⁵.

2.3.2 *Biofuel* Generasi Kedua

Isu bahan baku bioenergi bersaing dengan bahan pangan menyebabkan lahirnya *biofuel* generasi kedua yang diawali pada tahun 1980-an. *Biofuel* generasi kedua yang dikenal sebagai *biofuel* maju merupakan bahan bakar yang dapat diproduksi dari berbagai jenis biomassa nonpangan. Bahan baku dari *biofuel* generasi kedua meliputi biomassa lignoselulosa atau tanaman kayu, limbah pertanian, serta tanaman energi nonpangan. Teknologi maju yang diaplikasikan dapat berupa termokimia (gasi-fikasi, torefaksi, pirolisis, dan likuifikasi hidrotermal) dan biokimia (fermentasi, katalis, biokonversi)¹⁶.

2.3.3 *Biofuel* Generasi Ketiga dan Keempat

Perkembangan *biofuel* selanjutnya dipicu oleh isu kendala penggunaan lahan, teknologi, dan keberlanjutan bahan baku pada *biofuel* generasi kesatu dan kedua yang melahirkan *biofuel* generasi ketiga pada tahun 1990-an. *Biofuel* generasi tiga ini banyak menggunakan material mikroorganisme (mikrob fotosintetik dan mikroalga). Produk-produk *biofuel* yang dihasilkan berupa biodiesel, butanol, bioavtur, bioetanol, biometana, minyak nabati, dan gas hidrogen¹⁷, sedangkan teknologi yang digunakan dapat melibatkan pemanfaatan bioreaktor, *mariculture*, fermentasi, ekstraksi, katalis, *refinery*, dan tidak menyisakan limbah¹⁸. Penelitian *biofuel* generasi ketiga oleh Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI dilakukan mulai dari koleksi mikrob fotosintetik dan mikroalga, bioprospeksi untuk bioenergi, dan rekayasa prosesnya^{19,20}. Selanjutnya, akhir-akhir ini berkembang opini *biofuel* generasi keempat yang menekankan pada terobosan teknologi baru, penggunaan lahan tidur dan lahan marginal²¹.

III. ENERGI MASA DEPAN: BAHAN BAKU, PROSES, PRODUK, DAN APLIKASINYA

Biofuel generasi ketiga berbasis mikroalga merupakan *low value product*, yaitu produk bernilai rendah, murah, dan dibutuhkan dalam jumlah banyak. Pemilihan jenis mikroalga, teknik budi daya, pengambilan produk turunan, pembuatan produk sampingan, dan efisiensi keseluruhan proses menjadi kunci kelayakan mikroalga sebagai sumber energi^{22,23}. Penelitian di dunia mengenai *biofuel* generasi ketiga berbasis mikroalga telah sampai pada rekayasa genetika untuk *strain* terseleksi dan akuakultur skala massal^{24,25}. Berbagai institusi riset dan universitas di Indonesia masih terbatas menggunakan *strain* tipe liar (lokal dan impor) serta budi dayanya pada skala laboratorium^{26,27}. P2 Bioteknologi LIPI mempunyai *strain-strain* mikroalga koleksi sendiri (*indigenous*), fasilitas pengujian budi daya sampai lima (5) ton kultur²⁸, dan khusus penelitian biohidrogen diakui sebagai *advance research* di kawasan Asia Pasifik.

3.1 Bahan Baku: Mikrob Fotosintetik dan Mikroalga

Mikrob fotosintetik dan mikroalga merupakan golongan mikroorganisme yang mempunyai kemampuan untuk melakukan swafotosintesis. Fotosintesis adalah proses secara biokimia pembentukan cadangan makanan dari karbondioksida, senyawa organik, dan air dengan dibantu cahaya matahari. Mikrob fotosintetik terdiri dari fototropik bakteri warna ungu dan hijau. Sel bakteri ungu mempunyai bentuk bola, batang, dan spiral yang mungkin motil atau nonmotil. Bakteri sulfur ungu dapat diisolasi dari lingkungan air dan mata air panas yang mengandung belerang di mana pada habitat tersebut terkandung senyawa hidrogen sulfida dan tidak ada oksigen, sedangkan bakteri non-belerang ungu mempunyai habitat pada area konsentrasi sulfida rendah.

Sel bakteri hijau berbentuk bulat atau berbentuk batang dan nonmotil. Bakteri sulfur hijau memanfaatkan sulfida atau sulfur untuk fotosintesis. Bakteri nonbelerang ungu dan bakteri sulfur hijau menyimpan belerang di luar selnya. Grup bakteri ini mampu mengeksitasi gas hidrogen dari proses metabolisme sel karena mempunyai enzim nitrogenase atau hidrogenase (sulfur, nonsulfur)²⁹. Koleksi kultur bakteri ungu nonsulfur diisolasi dari mata air panas dan laut Indonesia (lokal) dan telah dimanfaatkan untuk membuat gas hidrogen dengan substrat berbagai limbah yang menggunakan teknologi fakultatif fotofermentasi³⁰ oleh peneliti P2 Bioteknologi LIPI.

Mikroorganisme berkemampuan swafotosintesis lainnya adalah mikroalga yang terletak pada lintas golongan, satu divisi terletak sekelompok dengan prokariot atau tidak mempunyai inti sel asli (sianobakteria) dan sebagian besar terletak pada golongan tanaman tingkat rendah eukariot. Ciri-ciri mikroalga adalah tidak mempunyai akar, batang, dan daun. Bentuk sel tunggal atau berkoloni, dari bulat, lonjong hingga berfilamen, seperti benang, ada yang motil (mempunyai alat gerak), dan nonmotil³¹. Karakter fisiologi mikroalga dibedakan dari pigmen yang dipunyai dari tiap-tiap jenis, yaitu klorofil, karotenoid, fikobilin, fikosianin, pikoeritin, xantopil (zeasantin, e-kinenon, miksosantopil, astasantin, kriptosantin), lutein, fukosantin, dan alloxantin. Bentuk dan warna kloroplas bervariasi, ada yang bulat, lonjong seperti ginjal, dan ada juga yang berlembaran. Cadangan makanan yang dibentuk pun berbeda-beda, yakni paramilon, arginin, sianopitan, floridian, krisolaminaran, dan tepung karbohidrat^{32,33}.

Strategi isolasi mikroalga dapat menggunakan beberapa cara, seperti metode pengenceran, pemadatan, penyaringan, dan dipancing langsung di bawah alat mikroskop³⁴. Metode karakte-

risasi mikroalga dilakukan dengan pengamatan dan penetapan morfologi, ekologi, fisiologi, dan analisis molekuler³⁵. Koleksi kultur mikroalga yang telah tervalidasi dapat disimpan di pusat depositori, seperti *Indonesia Culture Collection* (INACC). Sampai saat ini laboratorium kami telah mengoleksi dan memelihara kultur mikroalga sejumlah 376 jenis (Lampiran, Tabel 1).

Biomassa mikroalga dapat digunakan sebagai bahan baku material aktif, seperti obat, pakan, dan energi. Pemilihan mikroalga untuk bahan baku energi bergantung pada bentuk dan jenis energi. Kebutuhan untuk energi etanol memerlukan jenis mikroalga bergula atau bertepung tinggi, seperti klorofita, rodofita, mikroalga kersik, dan mikroalga coklat³⁶, sedangkan kebutuhan untuk bioavtur atau biodiesel perlu menggunakan mikroalga berlipid tinggi, seperti golongan klorofita, diatom, dan mikroalga kersik³⁷. Kebutuhan energi gas hidrogen dapat diperoleh dari mikroalga tunggal atau berfilamen bersel heterosis (penciri mikroalga penyintesis gas hidrogen)³⁸. Jenis-jenis mikrob pengekspansi gas hidrogen diilustrasikan pada Lampiran (Gambar 1).

3.2 Bioproses: Akuakultur, Fotofermentasi, dan Perbaikan Genetika

Bioproses didefinisikan sebagai proses bioteknologi apa pun dengan menggunakan sel hidup utuh atau bagian komponennya untuk produksi *compound* yang diinginkan. Bioproses meliputi fermentasi, ekstraksi, budi daya, akua~ & mari~kultur, konversi, dan proses menggunakan material hayati³⁹.

3.2.1 Bioproses Akuakultur

Kultivasi mikroalga menggunakan media dasar air, baik air laut, payau, maupun air tawar (akua~ atau mari~kultur), dalam sistem bejana transparan khusus yang dinamakan fotobioreaktor. Tahap-

an budi daya mikroalga dimulai dari volume kecil (10 mL) hingga volume yang diinginkan. Komposisi media kultur mikroalga dapat berupa bahan kimia komersial, bahan kimia baku analisis, dan lelimbahan. Prinsip budi daya mikroalga seperti halnya mikroorganisme lainnya adalah aseptik, mengontrol kelangsungan proses fotosintesis, mengetahui karakter mikroalga, menjaga ketersediaan nutrisi, dan fungsi kultur tertentu⁴⁰. Fotobioreaktor yang dimiliki Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI didesain dan dibuat serupa tabung silinder, tabung bulat, dan bejana persegi kaca atau akrilik transparan dari skala 10 mL sampai dengan 2.000 liter. Fotobioreaktor dikondisikan pada lingkungan terkendali di laboratorium, *semi-outdoor* dan *out-door*⁴¹.

Rekayasa bioproses dilakukan melalui uji coba budi daya mikroalga terseleksi pada berbagai tipe fotobioreaktor. Kondisi lingkungan (suhu, cahaya, curah hujan), media, dan fisiologi sel mikroalga menjadi dasar pemilihan fotobioreaktor. Mikroalga berfilamen (*Sianobakteria*) lebih efektif produksi biomasnya jika menggunakan reaktor bed horisontal dan pengadukan kecepatan rendah, serta terpapar sinar matahari yang banyak. Mikroalga soliter, tidak berfilamen, dan bergerak lebih efektif produksi biomasnya apabila menggunakan fotobioreaktor tubular I, baik tegak maupun miring, dengan pengadukan yang cepat dan terpapar sinar matahari sedang. Desain dan pembuatan fotobioreaktor dengan berbagai tipe dikerjasamakan dengan PT Barat Jaya Sentosa Perkasa⁴².

3.2.2 Bioproses Fermentasi

Produksi gas hidrogen secara biologi dilakukan melalui proses fermentasi gelap dan fotofermentasi, baik secara anaerobik, aerobik, maupun kombinasi keduanya. Sistem *batch* fototermentatif fakultatif aerobik dilakukan dengan menggunakan agen konver-

si *Rhodobium marinum*, konsorsium sanur, dan mikroalga lokal yang merupakan ciri penelitian dari P2 Bioteknologi LIPI. Sistem ini didesain dan dituangkan dalam fotobioreaktor yang didaftarkan paten dengan nomor P00201708593 (30-11-2017)⁴³. Proses eksitasi hidrogen oleh mikroalga dilakukan melalui dua jalan, yaitu melalui rekayasa metabolik mikroalga dan fermentasi biomasnya menjadi hidrogen, baik fermentasi gelap maupun fotofermentasi. Untuk menghasilkan gas hidrogen dari kultur mikroalga hijau dilakukan rekayasa proses melalui fase pembebasan sulfur dari sel dan stres senyawa nitrogen (pelaparan nitrogen). Sebanyak 300–400 $\mu\text{mol/g-klorofil/jam}$ gas hidrogen dapat diperoleh dari 1 liter kultur⁴⁴.

3.2.3 Bioproses dan Rekayasa Genetika

Efisiensi dan peningkatan rendemen untuk produksi minyak dan avtur mikroalga, serta gas hidrogen dengan material mikrob lokal juga dilakukan dengan memperbaiki jenis-jenis *strain* terpilih melalui rekayasa genetika, salah satunya dengan perlakuan mutasi. Mutasi dilakukan melalui perlakuan pemaparan pada sinar ultraviolet, penambahan senyawa oksidatif, dan pencahayaan intensitas tinggi. Ketersediaan dan akses terhadap referensi penelitian rekayasa genetika mikroalga masih sangat terbatas. Hasil sementara dari mutan sianobakteria lokal adalah dapat diperoleh gas hidrogen sebesar 700–1.200 $\mu\text{mol/g-protein/jam}$, belum berbeda signifikan dengan tipe aslinya (400–1.000) $\mu\text{mol/g-protein/jam}$ ⁴⁵.

3.3 Produk Energi Generasi Ketiga

Produk-produk energi generasi ketiga berbasis mikrob fotosintetik dan mikroalga dapat berupa padatan (pelet, karbon aktif),

cairan (bioetanol, minyak, bioavtur), dan gas (biometan, biohidrogen)^{46,47}.

3.3.1 Biohidrogen

Biohidrogen merupakan biogas yang berfungsi sebagai pemanik energi yang kuat dan bersih, serta tidak menyisakan gas buang, baik dalam pembuatan maupun proses penggunaannya. Penelitian selama kurun waktu 15 tahun di LIPI mengenai produksi biohidrogen dari biomassa lokal (kekayaan, alga, dan sayuran) dan limbah cair (tahu, susu, *whey*, vinase, molase, dan minuman) menunjukkan gas hidrogen dapat diproduksi sebesar 1–1,8 liter/liter substrat dengan kemurnian gas H₂ berkisar antara 70–80%^{48,49,50}. Agen konversi yang digunakan adalah bakteri fotosintetik merah-keunguan dan nonsulfur, yaitu *Rhodobium marinum*, konsorsium sanur, mikroalga, dan sampel lainnya yang belum teridentifikasi berasal dari laut, limbah, dan pemandian air panas⁵¹.

Gas hidrogen juga dapat diperoleh dari konversi limbah kekayaan. Sebagai bahan *biofuel* generasi kedua, diperlukan perlakuan awal atau *pre-treatment*, baik secara fisika, kimia, maupun biologi atau menggabungkan proses-proses tersebut untuk dapat dikonversi menjadi hidrogen gas. Tiap-tiap proses mempunyai kelebihan dan kekurangan. Khusus untuk pendegradasi kekayaan menggunakan agen biologi, dalam hal ini Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI telah mengoleksi beberapa jamur yang berpotensi melapukkan kayu dan mengubah lignoselulosa menjadi gula sederhana⁵².

Gas hidrogen dan gas lainnya yang dihasilkan, baik pada proses fotofermentasi maupun fermentasi gelap juga telah dipelajari guna menghasilkan energi listrik, bahan bakar, dan aplikasi gas hidrogen sebagai pemanik *fuel cel* untuk menyalakan lampu

dan penggerak kipas angin^{53,54}. Gas hidrogen tersebut juga diujicobakan untuk menjadi bahan bakar skuter atau sepeda motor bersama dengan periset dari Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik. Modifikasi skuter berbahan bakar hidrogen telah diluncurkan pada ulang tahun ke-50 LIPI pada tahun 2017 dan didaftarkan patennya dengan nomor P00201708593 (30-11-2017). Modifikasi skuter berbahan bakar gas dengan pembakaran langsung dari kontainer gas biohidrogen merupakan invensi pertama di Indonesia⁵⁵.

3.3.2 Biodiesel

Studi mikroalga pembuat minyak diawali dengan mengisolasi jenis mikroalga *Nannochloropsis* dari laut kemudian dibudidayakan dan diteliti dinamika sintesa lipid, profil lipid, dan metil esternya⁵⁶. Kerja sama dengan Pusat Penelitian Kimia LIPI menunjukkan bahwa elemen termahal untuk mengonversi biomassa mikroalga menjadi minyak adalah proses pemisahan biomassa dengan air atau media, proses ekstraksi minyak dalam alga, dan proses esterifikasinya^{57,58}. Biaya dari proses kultivasi hingga ekstraksi menjadi Dimetil Eter (DME) yang dihitung berdasarkan harga pada 2016–2017 adalah sebesar Rp22.000 (dua puluh dua ribu rupiah) per liter DME. Proses ekstraksi ini juga menghasilkan karya paten dengan nomor P00201808696 (30-10-2018)⁵⁹.

3.3.3 Bioavtur

Penelitian bioavtur dari mikroalga dilakukan dengan karakterisasi hidrokarbon berantai C rendah (C14) sebagai prekursor minyak avtur^{56,60}. Mikroalga tropis penyintesis lipid dengan ikatan C14 atau lebih umumnya berasal dari jenis klorofita, rodofita, dan kersik. *Screening* jenis mikroalga menunjukkan bahwa *Dunaleilla*, *Chlorella*, *Botryococcus*, *Choelastrella*, dan *Nan-*

nochloropsis menyintesis senyawa lipid dengan rantai C14–C39 (hidrokarbon), baik di dalam maupun ekstra-sel lebih dari 30% per berat sel kering^{57,61}. Sampai saat ini, penelitian mikroalga untuk produksi bioavtur di P2 Bioteknologi LIPI berada pada tahap *screening* dan riset untuk meningkatkan rendemen minyak pada skala laboratorium. Penelitian yang mengarah pada produksi *mass-scale* bioavtur dari mikroalga, perbaikan kualitas, analisis tekno-ekonomi, dan pemurniannya perlu dilakukan di masa mendatang bersama pemangku kepentingan lainnya.

3.3.4 Produk *Refinery* Lainnya

Pengembangan riset dengan material mikroorganisme dan mikroalga untuk biohidrogen dan biodiesel menurunkan sisa fermentasi dan ekstraksi yang diolah menjadi senyawa atau komponen lain yang lebih bermanfaat lagi, seperti senyawa permukaan aktif (surfaktan) untuk remediasi, kondisioner tanah, dan material-material berguna baru lainnya. Bioproses dan *biorefinery* senyawa-senyawa antara atau ko-produk (produk samping) sangat penting guna sirkulasi material sisa sehingga tidak menyisakan limbah dalam proses pembuatan EBT^{62,63}.

Biomassa dan limbah yang tersisa selain dimanfaatkan sebagai pembuat surfaktan juga dapat dipolimerasi menjadi senyawa berguna seperti asam laktat. Simulasi kultivasi mikroalga dengan substrat limbah sagu (kerja sama dengan Sampurna Agro), menunjukkan mikroalga tumbuh bagus pada limbah sagu dengan konsentrasi pengenceran lebih dari 50% (50.000 ppm). Selain itu, bau busuk limbah menjadi berkurang dan perlahan menghitam seiring bertambahnya jumlah sel dalam limbah⁶⁴. Polilaktat yang dihasilkan dapat dipolimerasi serta dipanjangkan rantai dan luasannya menjadi lembaran-lembaran yang dapat menjadi bahan pembentuk plastik. Biomassa *algal bloom* dapat

dikonversi menjadi asam laktat dengan rasio 12–30% dari berat molekul gula yang terkandung dalam sel⁶⁵.

Pemanfaatan berbagai limbah fermentasi untuk kultivasi mikroalga menunjukkan bahwa formulasi jenis mikroalga filamentus sianobakteria *Jaagainema*, *Arthrospira*, dan *Nostoc* memberikan pengaruh baik ketika diaplikasikan pada tanah kars. Formulasi ini telah diujicobakan di daerah Blora, Jawa Tengah dan Tabalong, Kalimantan Selatan. Hasil sementara menunjukkan areal tanah yang diberi formulasi mikroalga menjadi lebih subur tanamannya dibandingkan areal yang tidak diberi perlakuan. Tanaman cokelat, jati, dan mangga terlihat masih segar di saat musim kemarau panjang. Selain ko-produk kondisioner tanah, biomassa sisa juga dapat diekstrak menjadi pewarna alami, yaitu biru (pikosianin), kuning (kartenoid), dan hijau (klorofil)⁶⁶. Biomassa mikroalga juga dapat diekstrak untuk bahan dasar obat, seperti senyawa antidiabetes dan anti-virus^{67,68}. Produksi pewarna alami dan bahan dasar obat tersebut mendukung pengurangan impor bahan baku pigmen dan obat, peningkatan produk tingkat komponen dalam negeri (TKDN), serta promosi produk sehat alami.

Rangkaian strategi bioproses dan pengambilan produk-produk yang diperlukan pada setiap tahapan merupakan rantai *refinery* pembuatan energi baru dan terbarukan menuju energi bersih, ekonomis, dan ramah lingkungan, serta tidak menyisakan limbah⁶⁹. *Green Synergy* menjadi semboyan di bidang bioenergi, yaitu sebuah opini untuk menggunakan dan mengaplikasikan bioenergi, baik *biofuel* maupun biolistrik yang harmoni dengan lingkungannya, bermanfaat dan memanfaatkan sumber lokal, tidak menghasilkan polutan, dan bernilai tambah ekonomi dengan menggerakkan pelaku kehidupan sekitarnya⁷⁰.

IV. STRATEGI PENGEMBANGAN, PROSPEK DAN TANTANGAN INDUSTRI BIOENERGI BERBASIS MIKROALGA

Industri berbasis kekayaan hayati, khususnya mikrob dan mikroalga, akan menjadi tren untuk menunjang pemenuhan kebutuhan energi, kosmetik alami, pewarna alami, bahan obat, dan makanan organik, serta sintetik biologi yang aman. Akuakultur dan marikultur adalah pertanian berbasis kultivasi dalam air budi daya baru yang diharapkan berkembang di masa depan, mengingat Indonesia memiliki wilayah perairan yang luas⁷². Strategi pengembangan industri akan bertumpu kepada jenis *strain* yang digunakan, produksi massal yang cepat dan tahan di lapangan, pendekatan bioproses yang dapat diterima masyarakat, formulasi, dan standar kualitas produk (termasuk halal). Beberapa pendekatan teknologi yang dapat dikembangkan oleh lembaga riset diuraikan seperti penjelasan berikut ini.

4.1 Strategi Pengembangan Industri

Rekayasa bioproses adalah teknik kultur, manipulasi lingkungan, manipulasi media, dan rekayasa genetika *strain* terseleksi, yang bertujuan untuk meningkatkan *yield* produk mikroalga agar layak dikembangkan untuk komersialisasi atau layak industri.

4.1.1 Rekayasa Genetika Sianobakteria untuk Peningkatan Produksi Biohidrogen

Produksi biohidrogen dari sianobakteria yang dikenal dengan mikroalga biru hijau mempunyai dua sistem enzim untuk menghasilkan gas hidrogen, yaitu nitrogenase dan hidrogenase. Nitrogenase adalah enzim dalam sel heterocysts yang dipunyai sianobakteria berfilamen. Heterocyst ini muncul saat senyawa nitrogen dibatasi dalam lingkungannya. Hidrogen ini diproduksi

sebagai produk sampingan dari fiksasi nitrogen menjadi amonia, dengan reaksi: $16 \text{ ATP} + 16 \text{ H}_2\text{O} + \text{N}_2 + 10\text{OH}^+ + 8\text{e}^- \xrightarrow{\text{Nitrogenase}} 16 \text{ ADP} + 16 \text{ Pi} + 2\text{NH}_4^+ + \text{H}_2$.⁷³

Hidrogenase adalah enzim pada sianobakteria yang muncul dalam dua bentuk, yakni *Uptake hydrogenase* dan *Reversible/bidirectional hydrogenase*. *Uptake hydrogenase* (disandikan oleh hupSL), memiliki fungsi untuk mengoksidasi hidrogen, sedangkan *reversible hydrogenase* lainnya bersifat reversibel atau hidrogenase dua arah (disandikan oleh hox FUYH) yang berfungsi untuk mengambil atau menghasilkan hidrogen⁷⁴.

Hasil observasi produksi gas hidrogen dari sianobakteria soliter bulat mutan *Synechococcus* diketahui mempunyai nilai 0,8–0,14 mmol/mgprotein/jam dengan jalur mengaktifkan enzim nitrogenase melalui pembersihan sulfur dan pengurangan nitrogen dalam kultivasinya⁷⁵. Berbagai studi lanjutan diperlukan seperti optimasi kondisi lingkungan kultivasi, rekayasa genetika pembuat hidrogen tinggi dan reaktor yang cocok apabila akan dilakukan budi daya massal.

4.1.2 Rekayasa Mikroalga untuk Peningkatan Kandungan Minyak dalam Selnya

Riset akumulasi minyak dalam sel mikroalga terus berkembang, mengarah pada potensi mikroalga untuk biodiesel dan bioavtur. P2 Bioteknologi LIPI telah memulai eksperimen mikroalga lokal untuk biodiesel atau minyak sejak 2005 dan telah menghasilkan *strain-strain* pengakumulasi minyak di atas 30% per berat kering untuk tipe liar⁷⁶. Masih perlu dilakukan rekayasa genetika *strain* dan metabolismenya untuk mendapatkan spesies yang mampu mengakumulasi minyak tinggi dan dapat ditumbuhkan secara cepat dan massal. Rekayasa genetika untuk *strain* terseleksi telah dilakukan dan menghasilkan kondisi kultivasi

mutan yang cocok guna isolasi gen penyandi minyak, namun karena rekayasa genetika untuk mikroalga pengakumulasi minyak belum banyak dilakukan di dunia maka belum banyak referensi atau protokol bagaimana melakukannya. Pencarian gen sitrat sintase dari *Pseudomonas* sp. dilakukan dengan cara mengisolasi target potongan gen dari pohon kruing. Pemetaan gen sitrat sintase yang telah dilakukan oleh tim P2 Bioteknologi LIPI ini diperlukan guna merekonstruksi model mikroalga yang mempunyai karbohidrat rendah dan berlipid tinggi⁷⁷.

4.1.3 Rekayasa Proses untuk Kultur Massal Mikroalga

Mikroalga tropis yang tumbuh cepat, dominan pada lingkungan, relatif monokultur, tinggi densitas biomassa, dan tinggi kandungan produk yang ditargetkan dari masa tanam hingga panen merupakan syarat kultur massal mikroalga. Manipulasi dan optimasi kondisi lingkungan, seperti cahaya, suhu, pH, dan pemberian aerasi (CO_2 /udara) perlu dilakukan. Tahapan selanjutnya, optimasi media tumbuh yang sesuai untuk membuat produk ter-target juga perlu dilakukan^{78,79}.

Sistem fotobioreaktor yang sering disebut *Photo Bio Reactor* (PBR) merupakan peralatan penting dalam produksi biomassa mikroalga. Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI telah mendesain dan membuat fotobioreaktor berbagai sistem, yaitu berbentuk seri tabung transparan I miring (volume 100 L), seri tabung transparan I tegak (volume 100 L), tabung transparan oval horizontal (volume 2.000–5.000 L) dan akuarium terbuka (80–200 L) untuk budi daya mikroalga sesuai jenis dan target produk. Prinsip desain fotobioreaktor adalah untuk menghasilkan bio-

massa yang optimal, budi daya yang efisien, dan kebutuhan reaktor tertutup dan terbuka⁸⁰.

Teknik budi daya bertujuan untuk mengomersialisasikan mikroalga pada skala industri dengan berbagai produk *biofuel*, kesehatan, bahan farmasi dan pangan, masing-masing sistem kulturnya berbeda. Inovasi baru untuk efisiensi budi daya skala industri sangat dibutuhkan, misalnya pencahayaan yang rendah energi namun tinggi kalorinya (LED), reaktor yang efisien dan dapat digunakan dalam waktu lama, media yang murah dan mencukupi standar kebutuhan hidup mikroalga, jenis *strain* mikroalga terseleksi untuk kebutuhan khusus yang tahan di habitat tropis dan sistem pengolahan airnya yang berkelanjutan⁸¹.

Pengolahan air berkelanjutan terkait dengan pemakaian air untuk pertanian, tambak dan kebutuhan manusia sehari-hari perlu dipertimbangkan apabila akan membuat skala industri budi daya mikroalga. Air adalah media utama budi daya mikroalga sehingga efisiensi dan pemanfaatannya yang maksimal menjadi penting, serta jumlah penggunaan daur ulang air media harus dipertimbangkan⁸¹.

4.2 Prospek Bioenergi dan Tantangan

Oleh karena skenario Indonesia berkonsentrasi untuk pengembangan energi baru dan terbarukan berdasarkan prioritas konservasi dan ketahanan energi, maka perpaduan seluruh potensi energi perlu disinergikan. Potensi pengembangan bioenergi berbasis mikrob fotosintetik dan mikroalga sangat terbuka di Indonesia karena 1) Indonesia mempunyai perairan yang luas untuk dimanfaatkan sebagai lahan produksi beragam jenis biomassa mikroalga; 2) ragam teknologi pengolahan dan konversi biomassa mikroalga dapat disesuaikan dengan jenis dan kondisi lingkungan serta prioritas kepentingan bangsa; 3) ragam jenis

bioenergi berbasis mikrob dan mikroalga dapat berupa padatan, cairan, dan gas sehingga dapat dipilih sesuai kebutuhan dan ketersediaan (sumber daya lokal); 4) pemanfaatan secara optimal sumber biomassa baru dari perairan, baik perairan darat maupun laut, untuk bioenergi; 5) merupakan industri atau sumber pendapatan ekonomi baru dan lapangan kerja baru; 6) kontribusi dalam mengurangi ketergantungan impor energi dan *refinery* proses yang dapat menghasilkan produk sampingan (ko-produk) bernilai tambah.

Komitmen Indonesia untuk menurunkan emisi gas rumah kaca sampai 26% pada tahun 2020 (mandiri), menggunakan energi baru dan terbarukan sebesar 23% (5% biomassa) pada tahun 2025, *blending biofuel* 30% tahun 2025, dan elektrifikasi 100% pada tahun 2020 di seluruh pulau menjadi tantangan Indonesia untuk mengoptimalkan potensi energi dari sumber daya alam dengan teknologi bersih dan energi yang ramah lingkungan. Bioenergi menjadi salah satu alat pencapaian target tersebut yang diharapkan menjadi energi aman, berkelanjutan, dan tidak menyisakan limbah dan masalah. Tantangan selanjutnya dalam pengembangan bioenergi berbasis mikrob fotosintetik dan mikroalga di Indonesia adalah infrastruktur yang belum memadai, kebijakan yang belum berpihak pada produsen bioenergi generasi tiga, legal aspek (aturan, standar), dan industri yang kuat serta berkelanjutan. Perlu adanya koordinasi dengan pihak-pihak terkait dalam hal produksi bioenergi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

V. KESIMPULAN

EBT jenis *biofuel* berbasis mikroba fotosintetik dan mikroalga digolongkan menjadi *biofuel* generasi tiga yang berpotensi mendukung pemecahan masalah krisis energi dalam hal penyediaan *biofuel* yang tidak bersaing dengan pangan dan pakan. Selain itu, sistemnya diharapkan dapat diaplikasikan di segala area dengan memanfaatkan sumber daya lokal dan ramah lingkungan.

Hasil penelitian *biofuel* generasi ketiga produksi gas hidrogen dari mikroba fotosintetik dan mikroalga dengan fotofermentasi fakultatif anaerob menghasilkan rendemen gas hidrogen, antara 6–12% per berat kering biomassa atau substrat (total karbohidrat) yang digunakan. Penelitian dilakukan pada skala 100 liter kultur dengan kondisi semi *outdoor*, masih diperlukan kerja sama dengan para pemangku kepentingan untuk aplikasi riset di lapangan sehingga hasil di laboratorium dapat divalidasi. Hasil penelitian biooil/minyak dan bioavtur dari mikroalga didapatkan empat jenis mikroalga terseleksi (*Chlorella*, *Coelastrella*, *Ankistrodesmus*, dan *Nannochloropsis*) yang mempunyai kandungan minyak lebih dari 30% per berat kering biomassa-nya. Saat ini produksi minyak dan avtur dari mikroalga terbukti belum ekonomis, masih mahal, dengan harga di atas Rp22.000 per liter minyak mentah sehingga perlu dioptimasi lebih baik lagi. Selain teknologi yang harus dikembangkan, pemangku kepentingan juga perlu memberikan ruang kepada hasil riset dengan membantu aplikasi riset di lapangan dan pendanaannya sehingga dicapai hasil yang layak secara komersial.

Teknologi proses *biorefinery* yang dikembangkan (akuakultur, fermentasi, rekayasa genetik) juga menghasilkan produk samping di setiap tahapan proses. Produk samping (ko-produk) dari pembuatan biohidrogen adalah biomassa sisa yang dapat

dikonversi menjadi material bernilai tambah, seperti surfaktan, material kosmetik, material pupuk, dan material kondisioner tanah. *Cascading* proses dan produk target yang ramah lingkungan, *zero waste*, dan mendukung *green planet* termasuk salah satu strategi industri yang perlu dibangun. Selanjutnya, strategi pemilihan *strain* unggul dan perbaikan genetika *strain* seperti yang sudah dilakukan, proses yang efisien dan ekonomi, serta aplikasi skala massal yang mudah dan sederhana perlu ditingkatkan dan dilakukan secara kolaboratif.

Biofuel dari generasi tiga sangat berpotensi dikembangkan di Indonesia karena ketersediaan sumber daya genetik yang melimpah, perairan yang luas, cahaya matahari sepanjang tahun, dan fluktuasi suhu yang rendah antara siang dan malam. Namun, ada tantangan yang besar, yakni aplikasi teknologi akuakultur, infrastruktur, dan regulasi energi untuk produk dan material *biofuel* generasi ketiga yang perlu diatasi bersama.

VI. PENUTUP

Ketahanan air, ketahanan energi, dan ketahanan pangan sangat terkait satu sama lain, yang berarti bahwa tindakan di setiap area tersebut akan memiliki efek di salah satu atau kedua rantai area lainnya. Ketiga sektor ini (air, energi, dan ketahanan pangan) diperlukan untuk kesejahteraan manusia, pengurangan kemiskinan, dan pembangunan berkelanjutan.

Pemerintah Indonesia berkomitmen untuk menurunkan gas rumah kaca dengan menandatangani *Paris Agreement* dan menandatangani penurunan emisi gas hingga 26% pada tahun 2030 dengan usaha mandiri. Dengan demikian, produksi energi bersih dan ramah lingkungan menjadi pilihan. Kebijakan-kebijakan penghematan energi konvensional, menaikkan bauran *biofuel* menjadi B30 di tahun 2020, serta memperbanyak pembangkit listrik tenaga biomassa dan desa mandiri energi, telah dicanangkan dan dilaksanakan. Skenario penggunaan energi juga telah dilakukan. Meskipun demikian, perlu ditingkatkan pembangunan infrastruktur energi berbasis bioenergi dan energi terbarukan lainnya, regulasi yang adil untuk produsen dan konsumen energi, dan persiapan energi masa depan dengan memperhatikan sumber ketersediaan pada daerah.

Penggiat penelitian *biofuel* generasi tiga dan empat perlu ditingkatkan. Penelitian ke arah aplikasi industri dan komersial perlu dilakukan dengan memperhatikan permintaan industri dan pasar, seperti standar kualitas, kuantitas, dan ekonominya. Perbanyak *strain* unggul (mikroalga) lokal yang dapat ditumbuhkan di berbagai area perlu disebarakan agar memacu peningkatan animo publik untuk menerapkan aplikasi teknologi *biofuel* berbasis generasi tiga. Di masa depan, juga diperlukan

frontier research ke arah energi ekonomi, mudah diangkut, dan diversifikasinya.

Keterlibatan industri dalam pengembangan EBT, terutama *biofuel* generasi ketiga sangat diperlukan. Uji coba hasil riset di lapangan (perbesaran skala), dan validasi riset dari laboratorium ke komersial memerlukan kajian bersama dengan *stakeholder* calon pemakai, yakni industri, pengembangan infrastruktur akuakultur, dan dukungan kebijakan untuk mendorong pengembangan *biofuel* berbasis generasi ketiga dan keempat.

Kegiatan penelitian energi bersih dan karbon netral berbasis mikrob fotosintetik dan mikroalga ini hasilnya dapat menunjang pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDG's) pada Tujuan 7 (*Affordable & Clean Energy* atau kecukupan dan energi bersih) dan Tujuan 13 (*Climate Action* atau aksi iklim), serta Tujuan 17 (*Global Partnership*) karena banyak melibatkan kerja sama internasional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah ke hadirat Allah Swt. dan dengan izin-Nya, saya dapat menyampaikan orasi ini. Penghargaan dan ucapan terima kasih disampaikan kepada Presiden Republik Indonesia, Ir. H. Joko Widodo atas penetapan sebagai Peneliti Ahli Utama; Kepala LIPI, Dr. Laksana Tri Handoko; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Ir. Bambang Subiyanto, M.Agr.; Sekretaris Majelis, Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani; Tim Penelaah Naskah Orasi, Prof. Dr. Ir. Enny Sudarmonowati, Prof. Dr. Endang Tri Margawati, dan Prof. Dr. Ir. Ekowati Chasanah, M.Sc. sehingga naskah orasi ini layak disampaikan pada sidang pengukuhan ini. Juga terima kasih kepada Panitia Pelaksana Pengukuhan yang telah menyelenggarakan pengukuhan profesor riset ini.

Hormat dan terima kasih kepada Deputi Bidang IPH LIPI periode 2014–2019, Prof. Dr. Ir. Enny Sudarmonowati; Plt. Deputi IPH LIPI, Dr. Yan Rianto, M.Eng.; Kepala Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI, Dr. Puspita Lisdiyanti, M.Agr. Chem. atas dukungan dan dorongan yang diberikan; dan Kepala BOSDM LIPI, Dr. Heru Santoso, M.App.Sc.

Tak lupa terima kasih kepada rekan-rekan kerja di Kelompok Penelitian Rekayasa Bioproses, teman-teman kerja di P2 Bioteknologi LIPI, teman-teman kerja di lingkungan kedeputian Ilmu Pengetahuan Hayati (IPH) LIPI, teman-teman kerja di lingkungan LIPI.

Salam hormat dan terima kasih disampaikan kepada guru-guru penulis dari SD Negeri 1 Ngraho, SMP Negeri 1 Cepu, SMA

Negeri 1 Cepu, Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto, Osaka University, Jepang, dan Upsalla University Swedia.

Terima kasih kepada mitra kerja sama penelitian Feng-Chia University, Taiwan; Wageningen University, Groningen University, Belanda; Tubingen University, dan Halle University Jerman; mitra riset dari Jepang, Toray, MBI, NITE, NBRC, SATREP, JSPS; mitra perguruan tinggi IPB dan UI; mitra industri Barat Jaya Sentosa Perkasa, serta semua kontributor tulisan yang tidak dapat dituliskan satu per satu. Hanya doa yang dapat disampaikan penulis untuk membalas kebaikan semua yang terlibat dan mewarnai karya-karya ini. Semoga rahmat, ampunan, kebahagiaan dan berkah Tuhan Yang Maha Esa selalu tercurahkan, aamiin.

Cinta dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua penulis, yaitu Bapak H. Sumbito dan Ibu Hj. Masatin yang selalu memberikan dorongan, doa, teladan, dan prinsip-prinsip kehidupan, yaitu bebas berkreasi, berpikir merdeka, menjaga harga diri, dan selalu bersyukur. Cinta dan terima kasih juga diucapkan untuk suami, Bapak Agung Setyawan; ananda Rayhan Landep Wiastomo dan Bariq Mahatma Syach yang selalu memberikan semangat dan sayang. Cinta dan terima kasih untuk kakak-adik dan seluruh keluarga yang selalu memberikan semangat dan kasih.

Selalu semangat, bahagia dan bersyukur adalah kunci keberhasilan. *Allahummaj'alnii a'zhama syukrika wa aktsara dzikrika wattaba'a nashii hatika wa ahfazha wa shiyyatika. Wa billaahittaufiq wal hidaayah. Wassalaamualaikum wa rahmatullaahi wa barakaatuh.*

DAFTAR PUSTAKA

1. Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Republik Indonesia. Kontribusi penurunan emisi GRK nasional, menuju NDC 2030. <http://ditjenppp.menlhk.go.id>; 2020.
2. Undang-Undang Republik Indonesia, No. 16 Tahun 2016. Pengesahan Paris Agreement to The United Nations Framework Convention on Climate Change (Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa Mengenai Perubahan Iklim). www.hukumonline.com/pusatdata; 2016.
3. Paris Agreement. United Nations Treaty Collection. 8 July 2016. Archived from the original on 21 August 2016. Retrieved 27 July 2016.
4. Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional. Indonesia energy outlook 2019. Dewan Energi Nasional; 2019.
5. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. Rencana Strategis 2015–2019. https://www.esdm.go.id/assets/media/content/Renstra_KESDM.pdf. 2015.
6. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014. Kebijakan Energi Nasional. www.hukumonline.com/pusatdata; 2014.
7. Lin CY, Miyake J, **Susilaningsih D**. The 2011 Asian Bio-Hydrogen and Biorefinery Symposium (2011ABBS). International Journal of Hydrogen Energy 2012; 37(20): 15.433–15.435.
8. Mark AD, Mark ZJ. Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part II: Reliability, system and transmission costs, and policies. Elsevier Ltd. Energy Policy 2012; 39: 1170–1190.
9. Kamera A. Sejarah penemuan minyak bumi [Internet]; 2013. Diunduh dari: <http://oildomes.blogspot.com/2013/12/sejarah-penemuan-minyak-bumi-di-dunia.html>.

10. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI. Potensi energi baru dan terbarukan (EBT) Indonesia [Internet]; 2018. Diunduh dari: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/potensi-energi-baru-terbarukan-ebt-indonesia>.
11. Singh P, Gupta H, Gupta SK, Dwivedi V. Conventional and non-conventional energy resources of India: present and future. Conference on Emerging Trends in Mechanical Engineering at Faculty of Engineering & Technology. Agra, India: RBS College Bichpuri; 2011.
12. IEA. Nuclear power in clean energy system [Internet]; 2020. Diunduh dari: <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system>.
13. **Susilaningsih D.** Konversi biomassa untuk energi alternatif Indonesia: Tinjauan sumber daya, teknologi, manajemen, dan kebijakan. Jakarta: LIPI Press; 2014.
14. Benneman JR. Renewable resources and renewable energy: A Global Challenge. New York: CRC Press; 2006.
15. Timothy S, Heimlich R, Houghton RA, Dong F, Elobeid A, Fabiosa J, Tokgoz S, Hayes D, Tun-Hsiang Y. Use of U.S. Croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science* 2011; 319(5867): 1.238–1.240. doi:10.1126/science.1151861. PMID 18258860.
16. Christian II JA. Feasibility of second and third generation bio-fuel in general aviation: A research report and analysis. *McNair Scholars Research Journal* 2014; 1: Article 4.
17. Alam F, Mobin S, Chowdhury H. Third generation biofuel from microalgae. *Procedia Engineering* 2015; 105: 763–768.
18. Richard LK. Obstacles to renewable energy and energy efficiency. Dalam: Parker L dkk., editor. From silos to systems: Issues in clean energy and climate change. A report on the work of the REIL Network, 2008–2010. Yale School of Forestry & Environmental Studies; 2010.

19. **Susilaningsih D.** Biodiversitas mikroalga dalam ekspedisi Pulau Enggano. Dalam: Maryanto I, Hamidy A, Keim AP, Sihotang VBL, Lupiyaningdyah P, Irham M, Ardiyani M. Jakarta: LIPI Press; 2018.
20. Praharyawan S, Rahman DY, **Susilaningsih D.** Characterization of lipid productivity and fatty acid profile of three fast-growing microalgae isolated from Bengkulu for possible use in health application. *Journal of Tropical Life Science* 2016; 6(2): 79–85.
21. Lu J, Sheahan C, Fu P. Methabolic engineering of algae for fourth generation biofuels production. *Energy and Environmental Science* 2011; 4(7): 2.451–2.466.
22. Lackner M. 3rd-generation biofuels: Bacteria and algae as sustainable producers and converters. Dalam: Chen WY, Suzuki T, Lackner M, editor. *Handbook of climate change mitigation and adaptation*. Cham: Springer; 2017.
23. Li H, Can AF, Liao JC. Biofuels: Biomolecular engineering fundamentals and advances. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering* 2010; 1: 19–36.
24. IEA. Energy Policy of IEA Countries 2019: Review. <https://www.iea.org/reports/energy-policies-of-iea-countries-estonia-2019-review>.
25. Alaswad A, Dassisti M, Prescott T, Olabi AG. Technologies and development of third generation biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015; 51: 1.446–1.460.
26. Hadiyanto H, Widayat W, Kumoro A. Potency of microalgae as biodiesel source in Indonesia. *Int. Journal of Renewable Energy Development* 2012; 1: 23–27.
27. Hanif M. Perancangan proses konversi mikroalga menjadi biofuel sebagai inovasi teknologi ramah lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 2015; 16(1): 1–8.
28. **Susilaningsih D.** Biohidrogen karier energi masa depan. *Biotrends* 2015; 2(1): 11–12.

29. Madigan MT, Jung DO. On overview purple bacteria: Systematics, physiology and habitats. *Photosynthesis and Respiration Book Series (AIPH)*. Dordrecht: Springer; 2009; 28: 1–15.
30. Gazali FM, Praharyawan S, **Susilaningsih D**. Dark fermentative hydrogen production from cheese whey using hydrogen-producing bacteria isolated from mount Pancar Hot Spring, West Java. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2020; 439 012004.
31. **Susilaningsih D**. Ekspedisi Sulawesi Barat: flora, fauna dan mikroorganisme Gandang Dewata. Jakarta: LIPI Press; 2018.
32. Raharjo S, Fatanah VN, **Susilaningsih D**, Kasim M, Susilawati M, Delicia YR, Tien. Screening of marine microalgae collected from Wakatobi as anti-tyrosinase. *Journal of Physics: Conference Series* 2019; 1338(012003). Doi: 10.1088/1742/1338/1/012003.
33. Rahman DY, Praharyawan S, Raharjo S, Fadiyah F. **Susilaningsih D**. Morphology and molecular characterization of newly isolated microalgae strain *Chlorella volutis* LIPI13-WKT-066 from Wakatobi and its potential use. *Annales Bogorienses* 2019; 23(1): 13–19.
34. Abo BO, Odey EA, Bakayo M, Kalakodio L. Microalgae to bio-fuels production: a review on cultivation, application and renewable energy. *Rev Environ Health* 2019 Mar 26; 34(1): 91–99. doi: 10.1515/reveh-2018-0052.
35. **Susilaningsih**, Rahman DY, Sekiguchi H. Screening for lipid depositor of Indonesian microalgae isolated from seashore and peatland. *International Journal of Hydrogen Energy* 2014; 39(33): 19.394–19.399.
36. **Susilaningsih D**, Agustini NWS, Kabinawa INK. Production of beta-carotenoid *scenedesmus* using different growth regulator addition. *Prosiding Hasil Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi* 1995.
37. Praharyawan S, Gazali FM, **Susilaningsih D**. Utilization of acid-hydrolyzed microalgal biomass collected from eutrophication-affected freshwater pond as a substrate for biogas (biohydro-

- gen) production by means of dark- and photo-fermentation. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020; 439 012003.
38. **Susilaningsih D**, Harahap PS, Farida H, Rahman DY. Lactic acid and hydrogen production from microalgal bloom biomasses. Journal Technology Indonesia 2017; 40(1): 1–11.
 39. Metting B, Pyne JW. Biologically active compounds from microalgae. Enzyme Microb. Technol. 1986; 8: 386–394. DOI: 10.1016/0141-0229(86)90144-4.
 40. Miyamoto K, Ohta S, Nawa Y, Mori Y, Miura Y. Hydrogen production by a mixed culture of a green alga, *Chlamydomonas reinhardtii* and a photosynthetic bacterium, *Rhodospirillum rubrum*. Microbiology and Fermentation Industry 1987; 51(5): 1319–1324. <https://doi.org/10.1080/00021369.1987.10868217>.
 41. **Susilaningsih D**. Bioproduction process of tropical microalgae. Paten Indonesia No. P00201504004. 2015 Juni 30.
 42. **Susilaningsih D**. Closed reactor for farming tropical microalgae. Paten Indonesia No. S002201501895. 2016 Mei 13.
 43. **Susilaningsih D**, Anam K, Simanungkalit SP, Rahman DY. Sistem reaktor untuk memproduksi biohidrogen menggunakan mikroba fotosintetik. Paten Indonesia No. P00201708593. 2017 November 30.
 44. **Susilaningsih D**, Azizah YN, Andrianto D. Immobile Rhodospirillum Marinum for enhancing hydrogen excitation: optimization of environmental factors [light intensity, pH and agitation]. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020; 439 012012.
 45. Rahman DY, Rachmayati R, Widyaningrum DN, **Susilaningsih D**. Enhancement of lipid production of *Chlorella sp.* 042 by mutagenesis. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020; 439 012021.
 46. Miyake J. The science of biohydrogen in biohydrogen. Switzerland AG: Springer Nature; 2019.
 47. Mansur D, Fitriady MA, **Susilaningsih D**, Simanungkalit SP. Production of biodiesel from *Coelastrella sp.* microalgae. AIP Conference Proceedings 2017; 1904(1): 020068.

48. **Susilaningsih D.** Lactic acid production by using biomass from plankton blooms in eutrophic lake. Proceedings of the Japan Society for Biotechnology Conference 1999; 11: 286.
49. **Susilaningsih D,** Nusaibah, Susanti H, Praharyawan P, Reko PM, Arifin Nur A, Praptijanto A, Santoso WB, Chu CY. Biorefinery of vinasse an ethanol destillated liquid waste of sugarcane for algal growth substrates and biohydrogen production. Bogor: ISBINA-RU; 2017. 308–317.
50. Tapia-Venegas E, Ramirez-Morales JE, Silva-Illanes F, Toledo-Alarco J, Paillet F, Escudie R, Chyi-How L, Chu CY, Hoang-Jyh L, Marone A, Lin CY, Kim DH, Trably E, Ruiz-Filippi G. Biohydrogen production by dark fermentation: scaling-up and technologies integration for a sustainable system. Rev Environ Sci Biotechnol 2015; 14: 761–785. DOI 10.1007/s11157-015-9383-5.
51. **Susilaningsih D,** Anam K, Habibi MS, Harwati TU. Mix-composition of bacterium for hydrogen production and the method from bioproduction the consortia. Paten Indonesia No. P00201000362. 2011 Maret 31.
52. Anam K, Harwati TU, Habibi MS, **Susilaningsih D.** Photofermentative hydrogen production using *Rhodobium marinum* from bagasse and soy sauce wastewater. International Journal of Hydrogen Energy. International journal of hydrogen energy 2012; 37(20): 15.436–15.442.
53. Chandrasekhar P, Lee YJ, Lee DW. Biohydrogen production: strategies to improve process efficiency through microbial routes. Int. J. Mol. Sci. 2015; 16: 8266 –8293. doi:10.3390/ijms16048266.
54. **Susilaningsih D,** Ulhiza TA, Anam K. Substitution component cultivation media of photofermentation process for low cost hydrogen gas production. Teknologi Indonesia, 2017; 40(2): 108–115.
55. Nur A, PraptijantoA, Santoso WB, Dimyani A, Suherman, **Susilaningsih D.** Sistem bahan bakar hidrogen untuk kendaraan bermotor. Paten Indonesia No. P00201708593. 2017 November 30.

56. **Susilaningsih D**, Apridah CD, Dian NW, Khairul A. Biodiesel from Indigenous Indonesian marine microalgae, *Nannochloropsis* sp. Journal of Biotechnology Research in Tropical Region 2009; 2: 2.
57. Harwati TU, Kasai Y, Kodama Y, **Susilaningsih D**, Watanabe K. Characterization of diverse hydrocarbon degrading bacteria isolated from Indonesian seawater. Microbes Environ. 20 2007; 22(4): 412–415.
58. Chisti Y. Biodiesel from microalgae. Biotechnol Adv. 2007; 25: 294–306.
59. Dieni Mansur D, **Dwi Susilaningsih D**, Sabar PS, Adelia DV. Production of neutral lipid from microalgae *Coelastrella* sp. Paten Indonesia No. P00201808696. 2018 Oktober 30.
60. **Susilaningsih D**. Observation, isolation and characterization of microalgal red tide agent dinoflagellates *Prorocentrum* sp. Indonesian Journal of Marine Sciences/Illmu Kelautan 2014; 19(3).
61. **Susilaningsih D**, Siburian MD, Murniasih T. Biodiversity of hydrocarbon-producing microalgae from oil contaminated in coastal zone of Batam Island. Marine Research Indonesia (MRI) 2008; 33(2): 115–120.
62. **Susilaningsih D**, Harahap PS, Farida H, Rahman DY. Lactic acid and hydrogen production from microalgal bloom biomasses. Journal Technology Indonesia 2017; 40 (1): 1–11.
63. Martínez-Francés E, Escudero-Oñate C. Microalgal biotechnology cyanobacteria and microalgae in the production of valuable bioactive compounds [Internet]; 2018. Diunduh dari: <https://intechopen.com/books/microalgal-biotechnology/cyanobacteria-and-microalgae-in-the-production-of-valuable-bioactive-compounds>. DOI:10.5772/intechopen.74043.
64. **Susilaningsih D**, Lestari S, Kusnadi S, Hidayat T, Susanti H. Efikasi limbah sagu sebagai substrat kaya nutrisi untuk mikroalga isolat Lipi11-2-A1002 [sago waste efficacy as nutrition rich substrate for microalgae LIPI11-2-A1002 Isolate]. Berita Biologi 2014; 13(3).

65. **Susilaningsih D**, Hirata K, Asada Y, Miyamoto K. Utilization of cyanobacterial biomass from water bloom for bioproduction of lactic acid. *World J. of Microbiol. Biotechnol.* 2001; 17: 259–264.
66. **Susilaningsih D**. Accelerating the excretion of biosurfactant from cyanobacterium *Oscillatoria* sp. by co-cultivation with *Anabaena*. *Hayati J. of BioSci* 2007; 14(1): 8–22.
67. Mustopa AZ, Ridwan M, Sukmarini L, **Susilaningsih D**, Hasim H, Delicia DY. Purification and characterization of polysaccharide from microalgae BTM 11 as inhibitor of hepatitis c virus rna helicase. *Indonesian Journal of Pharmacy* 2015; 25(3): 134–139.
68. Priatni S, Budiwati TA, Ratnaningrum D, Kosasih W, Andryani R, Hani S, **Susilaningsih D**. Antidiabetic screening of some Indonesian marine cyanobacteri collection. *Biodiversitas* 2016; 17(2): 642–646. DOI: 10.13057/biodiv/d170236.
69. **Susilaningsih D**. Urbanisation, land use, land degradation and environment; Characterizing and screening oil degrading microbes for land and beach reclamation in Indonesia. New Delhi: Daya Publishing House; 2011.
70. Lindblad P. Cyanobacterial H₂ metabolism: Knowledge and potential/strategies for a photobiotechnological production of H₂. *Biotechnologia Aplicada* 1999; 16: 141–144. Published online 2005 Dec 21. DOI: 10.1186/1475-2859-4-36.
71. FAO. National aquaculture sector overview: Indonesia. FAO, Fisheries and Aquaculture Department; 2020. <http://www.fao.org/fishery/countrysector/nasoindonesia/en>.
72. **Susilaningsih D**, Sirait LS, Anam K, Habibi MS, Prasetya B. Possible application of biohydrogen technologies as electricity sources in Indonesian remote areas. *International Journal of Hydrogen Energy* 2014; 39(33): 19.400–19.405.
73. Namita K, Linblad P. Cyanobacterial hydrogenases and hydrogen metabolism revisited: Recent progress and future prospects. *Int. J. Mol. Sci.* 2015; 16(5): 10.537–10.561. <https://doi.org/10.3390/ijms160510537>.

74. Hydrogen Council. Path to hydrogen competitiveness a cost perspective; 20 Januari 2020. Diunduh dari: www.hydrogencouncil.com.
75. Surabhi CD, Sanjoy KB. Hydrogen production by cyanobacteria. *Microb Cell Fact* 2005; 4: 36.
76. Mansur D, Fitriady MA, **Susilaningsih D**, Simanungkalit SP, E Agustian E. Lipid extraction of wet BLT 0404 microalgae for biofuel application. *AIP Conference Proceedings* 2017; 1803(1): 020006.
77. **Susilaningsih D**, Asahedi U, Fredrick OO, Dian NW, Hani S, Hadi S, Nengah I, Utut W. Isolasi gen sitrat sintase bakteri *Pseudomonas aeruginosa* PS2 dari Rizosfer pohon kruing (*Dipterocarpus* sp.) untuk model konstruksi metabolisme sel mikroalga berkarbohidrat rendah. *Berita Biologi* 2019; 18(2): 247–253. DOI: 10.14203/beritabiologi.v18i2.2967
78. Fehler SWG, Light RJ. Biosynthesis of hydrocarbons in *Anabaena variabilis*. Incorporation of [methyl-¹⁴C]- and [methyl-²H₃]-methionine. *Biochemistry* 1970; 9: 418–428.
79. Praharyawan S, **Susilaningsih D**, Khaswar S. Statistical screening of medium components by plackett-burman experimental design for biosurfactant production by Indonesian indigenous *Bacillus* sp. DSW17. *Asian Jr. of Microbiol.Biotech.Env.Sc.* 2013; 15(4): 805–813.
80. Hilda F, Puspita SH, Rifana S, Rudyanto G, Rahman DY, **Susilaningsih D**. Outdoor closed system of algal mass culture: In sight of comparison on vertical and horizontal photobioreactor for cultivating the *Spirulina* sp. *Reaktor Chemical Engineering Journal* 2019; 19(2). <https://doi.org/10.14710/reaktor.19.2.54-61>.
81. FAO. The Water-Energy-Food Nexus: A new approach in support of food security and sustainable agriculture Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 2014. Retrieved 2020-02-07.

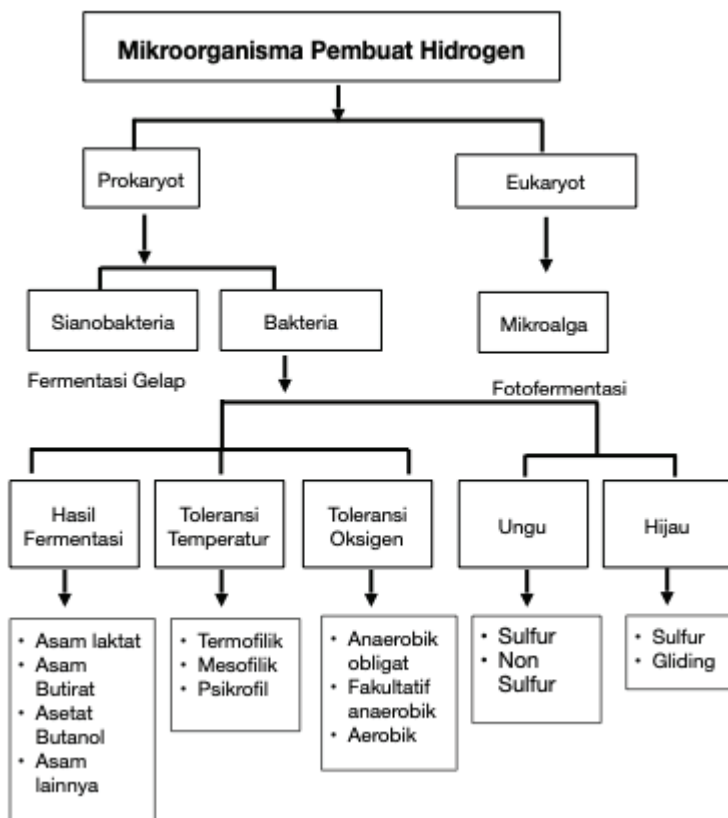
LAMPIRAN

Tabel 1. Jumlah Koleksi Kultur Kerja Mikroalga Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI

No	Jenis	Jumlah
1.	Sianobakteria	67
2.	Klorofita	117
3.	Rodofita	46
4.	Diatom	23
5.	Strain lainnya	123
	Total	376

Ket.: Laporan tahunan koleksi kultur kerja mikroalga

Sumber: P2 Bioteknologi LIPI, 2019 (data tidak dipublikasikan)



Sumber: Chandrasekhar dkk., 2015

Gambar 1. Ilustrasi Mikroba Pembuat Hidrogen



Ket.: A. Kontainer Gas Biohidrogen; B. Modifikasi Skuter Biohidrogen.

Sumber: Nur A. dkk., 2017

Gambar 2. Modifikasi skuter LIPI menggunakan bahan bakar gas biohidrogen.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Bagian dari Buku Internasional

1. **Susilaningsih D.** Urbanisation, Land Use, Land Degradation and Environment; Characterizing and Screening Oil Degrading Microbes for Land and Beach Reclamation in Indonesia. New Delhi: Daya Publishing House; 2011.

Bagian dari Buku Nasional

2. **Susilaningsih D.** Potensi alga tropikal untuk *Biofuel*. Dalam: Abimanyu H, Hendrana S, editor. Konversi biomassa untuk energi alternatif Indonesia: Tinjauan sumber daya, teknologi, manajemen, dan kebijakan. Jakarta: LIPI Press; 2014.
3. **Susilaningsih D.** Mikroalga Laut. Dalam: Maryanto I, Hamidy A, Keim AP, Sihotang VBL, Lupiyaningdyah P, Irham M, Ardiyani M, editor. Ekspedisi Pulau Enggano. Jakarta: LIPI Press; 2018.
4. **Susilaningsih D.** Mikroalga. Dalam: Achmadi AS, Hamidy A, Maryanto I, Lupiyaningdyah P, Sihotang VBL, Kahono S dkk., editor. Ekspedisi Sulawesi Barat: Flora, fauna dan mikroorganisme Gandangdewata. Jakarta: LIPI Press; 2018.

Jurnal Internasional

5. **Susilaningsih D**, Hirata K, Asada Y, Miyamoto K. Utilization of cyanobacterial biomass from water bloom for bioproduction of lactic acid. *World J. of Microbiol. Biotechnol* 2001; 17: 259–264.
6. Hirata K, Yoshitomi S, **Susilaningsih D**, Iwabe O, Mahakhant A, Polchai J, Miyamoto K. Bioactivities of nostocine A produced by freshwater cyanobacterium *Nostoc spongiaeforme* TISTR 8169, *J. Biosci. Bioeng.*, 2003; 95(5): 512–517.

7. Hirata K, Yoshitomi Y, **Susilaningsih D**, Iwabe O, Mahakant A. Generation of reactive oxygen species undergoing redox cycle of nostocine A: a cytotoxic violet pigment produced by freshwater cyanobacterium *Nostoc spongiaeforme*. *Journal of biotechnology* 2004; 110(1): 29–35.
8. **Susilaningsih D**. Accelerating the excretion of biosurfactant from cyanobacterium *Oscillatoria* sp. by co-cultivation with *Anabaena*. *Hayati J. of Bio. Sci.* 2007; 14(1): 18–22.
9. Harwati TU, Kasai Y, Kodama Y, **Susilaningsih D**, Watanabe K. Characterization of diverse hydrocarbon-degrading bacteria isolated from Indonesian seawater. *Microbes. Environ.* 2007; 22(4): 412–415.
10. Harwati TU, Kasai Y, Kodama Y, **Susilaningsih D**, Watanabe K. *Transquillimonas alkanivorans* gen.nov., sp.nov. an alkane-degrading bacterium isolated from the Semarang port in Indonesia. *International Journal of systematic and evolutionary microbiology* 2008; 58(9): 2.118–2.121.
11. Harwati TU, Kasai Y, Kodama Y, **Susilaningsih D**, Watanabe K. *Tropicimonas isoalkanivorans* gen. nov., sp. nov., branch alkane-degrading bacteria, isolated from Semarang Port in Indonesia. *International Journal Systematic and Evolution Microbiology (IJSEM)* 2008; 9(2): 388–391.
12. Harwati TU, Kasai Y, Kodama Y, **Susilaningsih D**, Watanabe K. *Tropicibacter naphthalenivorans* gen. nov., sp. nov., a polycyclic aromatic hydrocarbon-degrading bacteria, isolated from Semarang Port In Indonesia. *International Journal Systematic and Evolution Microbiology (IJSEM)* 2009; 59(2): 392–396.
13. Karseno, Harada K, Bamba T, **Susilaningsih D**, Mahakhant A, Yoshikawa T, Hirata K. Extracellular phycoerythrin-like protein released by freshwater cyanobacteria *Oscillatoria* and *Scytonema* sp. *Biotechnol Lett.* 2009; 31: 999–1003. DOI 10.1007/s10529-9964-x.

14. Lin CY, Miyake J, **Susilaningsih D**. The 2011 Asian Bio-Hydrogen and Biorefinery Symposium (2011ABBS). International Journal of Hydrogen Energy 2012; 37(20): 15.433–15.435.
15. Sumiardi A, Mangunwardoyo W, Hudiyono S, **Susilaningsih D**. Biosurfactant characterization of bacterial consortium from soil contaminated hydrocarbon in Cepu Area, Central Java, Indonesia. Int. J. Sci. Res. Pub. 2012; 2(7): 1–7.
16. Swastika P, **Susilaningsih D**, Khaswar S. Statistical screening of medium components by Plackett-Burman Experimental Design for Biosurfactant Production by Indonesian Indigenous *Bacillus* sp. DSW17. Asian Jr. of Microbiol. Biotech. Env. Sc. 2013; 15(4): 805–813.
17. Anam K, Harwati TU, Habibi MS, **Susilaningsih D**. Photofermentative hydrogen production using *Rhodobium marinum* from Bagasse and Soy sauce wastewater. International Journal of Hydrogen Energy 2012; 37(20): 15.436–15.442.
18. **Susilaningsih D**, Sirait, Anam K, Habibi MS, Prasetya B. Possible application of biohydrogen technologies as electricity sources in Indonesian remote areas. International Journal of Hydrogen Energy 2014; 39(33): 19.400–19.405.
19. **Susilaningsih D**, Rahman DY, Sekiguchi H. Screening for lipid depositor of Indonesian microalgae isolated from seashore and peat-land. International Journal of Hydrogen Energy 2014; 39(33): 19.394–19.399.
20. Raharjo S, **Susilaningsih D**, Kasim M, Susilawati PE. Variation of different solvent types for optimization of protein extraction from microalgae. Journal of Physics: Conference Series 2019; 1.242(1): 012001.
21. Raharjo S, Fatanah VN, **Susilaningsih D**, Kasim M, Susilawati M, Delicia YR, Tien. Screening of marine microalgae collected from Wakatobi as anti-tyrosinase. Journal of Physics: Conference Series 2019; 338(012003). DOI: 10.1088/1742/1338/1/012003.

Jurnal Nasional

22. **Susilaningsih D.** Biosurfactant properties of extracellular pink pigment produced by a freshwater cyanobacterium, *Oscillatoria* sp. *J. of Micobiology Indonesia* 2007; 1(3).
23. **Susilaningsih D**, Apridah CD, Dian NW, Khairul A. Biodiesel from Indigenous Indonesian marine microalgae, *Nannochloropsis* sp. *Journal of Biotechnology Research in Tropical Region* 2009; 2: 1–4.
24. **Susilaningsih D**, Harwati TU, Khairul A, Yopi. Substrate preparation of waste woody biomass for biohydrogen production. *Jurnal Makara UI Technology* 2008; 12(1): 38–42.
25. **Susilaningsih D**, Siburian MD, Murniasih T. Biodiversity of hydrocarbon-producing microalgae from oil contaminated in coastal zone of Batam Island. *Marine Research Indonesia (MRI)* 2008; 33(2): 115–120.
26. **Susilaningsih D**, Okazaki F, Yopi Y, Widyastuti Y, Harayama S. Isolation and screening of surfactant-producing bacteria from Indonesian marine environments and its application on bioremediation. *Annales Bogorienses* 2013; 17(2): 43–53.
27. **Susilaningsih D.** Observation, isolation and characterization of microalgal red tide agent Dinoflagellates *Prorocentrum* sp. *Indonesian Journal of Marine Sciences/Illmu Kelautan* 2014; 19(3).
28. Mustopa AZ, Ridwan M, Sukmarini L, **Susilaningsih D**, Hasim H, Delicia DY. Purification and characterization of polysaccharide from microalgae Btm 11 as inhibitor of hepatitis C virus RNA helicase. *Indonesian Journal of Pharmacy* 2015; 25(3): 134–139.
29. Praharyawan S, Rahman DY, **Susilaningsih D.** Characterization of lipid productivity and fatty acid profile of three fast-growing microalgae isolated from Bengkulu for possible use in health application. *Journal of Tropical Life Science* 2016; 6(2): 79–85.

30. Priatni S, Budiwati TA, Ratnaningrum D, Kosasih W, Andryani R, Hani S, **Susilaningsih D**. Antidiabetic screening of some Indonesian marine cyanobacteria collection. *Biodiversitas* 2016; 17(2): 642–646.
31. **Susilaningsih D**, Harahap PS, Farida H, Rahman DY. Lactic acid and hydrogen production from Microalgal Bloom Biomasses. *Journal Technology Indonesia* 2017; 40(1): 1–11.
32. **Susilaningsih D**, Ulhiza TA, Anam K. Substitution component cultivation media of photofermentation process for low cost hydrogen gas production. *Teknologi Indonesia* 2017; 40(2): 108–115.
33. Rahman DY, Praharyawan S, Raharjo S, Fadiyah F, **Susilaningsih D**. Morphology and molecular characterization of newly isolated microalgae strain *Chlorella volutis* LIPI13-WKT-066 from Wakatobi and its potential use. *Annales Bogorienses* 2019; 23(1): 13–19.
34. Katarina PS, Rosita DC, Heriyanto H, **Susilaningsih D**, Leenawaty L, Tatas HPB. Economically Potential Pigments from Marine Blue-Green Algae for the Application in Food and Health. *Indonesian Journal of Natural Pigments* 2019; 1(2): 37.
35. Hilda F, Puspita SH, Rifana S, Rudyanto G, Delicia YR, **Susilaningsih D**. Outdoor Closed System of Algal Mass Culture4: In Sight of Comparison on Vertical and Horizontal Photobioreactor for Cultivating the *Spirulina* sp. *Reaktor Chemical Engineering Journal* 2019; 19(2). <https://doi.org/10.14710/reaktor.19.2.54-61>
36. Harahap PS, Susanto AB, **Susilaningsih D**, Delicia YR. Pengaruh substitusi limbah cair tahu untuk menstimulasi pembentukan lipida pada *Chlorella* sp. *Journal of Marine Research* 2013; 2(1): 80–86.
37. Sobari R, Susanto AB, **Susilaningsih D**, Delicia YR. Kandungan lipid beberapa jenis sianobakteria laut sebagai bahan sumber penghasil biodiesel. *Journal of Marine Research* 2014; 2(1): 112–119.

38. **Susilaningsih D**, Lestari S, Kusnadi S, Hidayat T, Susanti H. Efikasi limbah sago sebagai substrat kaya nutrisi untuk mikroalga isolat LIPI-11-2-AI002 [Sago waste efficacy as nutrition rich substrate for microalgae LIPI-11-2-AI002 isolate]. *Berita Biologi* 2014; 13(3).
39. **Susilaningsih D**. Biohidrogen karier energi masa depan. *Bio-trends* 2015; 2(1): 11–12.
40. Praharyawan S, Setyaningsih T, **Susilaningsih D**, Siregar YDI. Peningkatan kemurnian dan toksisitas ekstrak pigmen C-fikosianin dari sianobakteria laut *Jaaginema* sp. BTM-11 dengan menggunakan kitosan dan arang aktif. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan* 2018.
41. **Susilaningsih D**, Asahedi U, Fredrick OO, Dian NW, Hani S, Hadi S, Nengah I, Utut W. Isolasi gen sitrat sintase bakteri *Pseudomonas aeruginosa* PS2 dari rizosfer pohon kruing (*dipterocarpus* sp) untuk model konstruksi metabolisme sel mikroalga berkarbohidrat rendah. *Berita Biologi* 2019; 18(2): 247–253. DOI: 10.14203/beritabiologi.v18i2.2967.

Prosiding Internasional

42. Mansur D, Fitriady MA, **Susilaningsih D**, Simanungkalit SP, Agustian E. Lipid extraction of wet BLT0404 microalgae for biofuel application. *AIP Conference Proceedings* 2017; 1803(1): 020006.
43. Mansur D, Fitriady MA, **Susilaningsih D**, Simanungkalit SP. Production of biodiesel from *Coelastrella* sp. microalgae. *AIP Conference Proceedings* 2017; 1904(1): 020068.
44. Praharyawan S, Gazali FM, **Susilaningsih D**. Utilization of acid-hydrolysed microalgal biomass collected from eutrophication-affected freshwater pond as a substrate for biogas (biohydrogen) production by means of dark and photo-fermentation. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2020; 439 012003.

45. Gazali FM, Praharyawan S, **Susilaningsih D**. Dark fermentative hydrogen production from cheese whey using hydrogen-producing bacteria isolated from Mount Pancar hot spring, West Java. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020; 439 012004.
46. **Susilaningsih D**, Azizah YN, Andrianto D. Immobile Rhodobium Marinum for enhancing hydrogen excitation: Optimization of environmental factors [light intensity, pH and agitation]. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020; 439 012012.
47. Rahman DY, Rachmayati R, Widyaningrum DN, **Susilaningsih D**. Enhancement of lipid production of *Chlorella* sp. 042 by mutagenesis. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2020; 439 012021.

Prosiding Nasional

48. **Susilaningsih D**, Agustini NWS, Kabinawa INK. Production of Beta-carotenoid Scenedesmus Using Different Growth Regulator Addition. Prosiding Hasil Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi 1995.
49. **Susilaningsih D**, Prasetya B. A Potency of marine microalgae for food and feed supplement. Proceeding of National Technology Innovation for fish industry, marine biotechnology and fisherie 2011; 1–8.
50. **Susilaningsih D**, Nusaibah, Hani S, Swastika P, Peza BR, Nur A, Praptijanto A, Santoso WB, Chen-Yeon C. Biorefinery of vinasse an ethanol distilled liquid waste of sugarcane for algal growth substrates and biohydrogen production. ISBINARU 2017; 308–317.
51. Dian NW, Nuradha F, **Susilaningsih D**. Evaluation of lipid content and fatty acids profile from 5 marine microalgae. 5th ISIBio 2018 Proceeding 2018; 82–86.
52. Praharyawan S, Rahman DY, **Susilaningsih D**. Influence of light intensity on lipid productivity and fatty acids profile of *Choricystis* sp. LBB13-AL045 for biodiesel production. Research Journal of Life Sciences 2018; 5(2): 128–139.

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

Paten

1. **Susilaningsih D**, Anam K, Habibi MS, Harwati TU. Mix-composition of bacterium for hydrogen production and the method for bioproduction the consortia. Paten Indonesia No. P00201000362. 2011.
2. **Susilaningsih D**. Bioproduction process of tropical microalgae. Paten Indonesia No. P00201504004. 2015 Juni 30.
3. **Susilaningsih D**. Closed Reactor for Farming tropical Microalgae. Paten Indonesia No. S002201501895. 2016.
4. Mansur D, **Susilaningsih D**, Ariffudin FM, Dian NW, Sabar PS, Nino R, Adelia DV. Microalgal lipid extraction process using single organic solution. Paten Indonesia No. P00201608792. 2017 September 17.
5. Nur A, Achmad Praptijanto A, Santoso WB, Dimyani A, Suherman, **Susilaningsih D**. Sistem bahan bakar hidrogen untuk kendaraan bermotor. Paten Indonesia No. P00201708593. 2017 September 30.
6. Mansur D, **Susilaningsih D**, Sabar PS, Adelia DV. Production of neutral lipid from microalgae *Coelastrella sp.* Paten Indonesia No. P00201808696. 2018 Oktober 30.
7. **Susilaningsih D**, Anam K, Simanungkalit SP, Rahman DY. Sistem reaktor untuk memproduksi biohidrogen menggunakan mikroba fotosintetik. Paten Indonesia No. P00201708593. 2017 September 30.

Purwarupa

8. Purwarupa Suplemen Kesehatan Arthrospira 2016.
9. Purwarupa Skuter berbahan bakar hidrogeen 2017.
10. Purwarupa Suplemen Tanah (SE-1) 2018.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama	: Dr. Dwi Susilaningsih, M.Pharm.
Tempat/Tanggal Lahir	: Blora, 28 Oktober 1968
Anak ke	: Dua dari Tujuh Bersaudara
Nama Bapak Kandung	: H. Sumbito
Nama Ibu Kandung	: Hj. Masatin
Nama Suami	: Ir. H. Agung Setyawan
Jumlah Anak	: 2 (dua) orang
Nama Anak	: 1. Rayhan Landep Wiastomo 2. Bariq Mahatma SyachNama
Instansi	: Pusat Penelitian BioteknologiLIPI
Judul Orasi	: Energi Generasi Tiga Berbasis Mikrob Fotosintetik dan Mikroalga Mendukung Solusi Krisis Energi Ramah Lingkungan
Bidang Kepakaran	: Bioproses
No. SK Pangkat Terakhir	: 954C/D Tahun 2016
No. SK Peneliti Ahli Utama	: 1/M/2020

B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Sekolah/PT/Univ	Kota/Negara	Lulus
1.	SD	SDN I Ngraho	Cepu/Blora Indonesia	1981
2.	SMP	SMPN I Cepu	Cepu/Blora/ Indonesia	1984
3.	SMA	SMAN I Cepu	Cepu/Blora/ Indonesia	1987
4.	S1	Universitas Jenderal Soedirman	Purwokerto/ Indonesia	1992
5.	S2	Universitas Osaka	Suita/Osaka/Jepang	2000
6.	S3	Universitas Osaka	Suita/Osaka/Jepang	2003

C. Pendidikan Nonformal

No.	Nama Pelatihan/ Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1.	Conservation and sustainable use of tropical marine biological diversity; in light of the establishment and maintenance of microalgal strains.	MBI/Kamaishi/Jepang	2005
2.	Isolation and Characterization of oil degrading microbes in Indonesian environments. In particular, Biodiversity of surfactant producing bacteria from Indonesian seashores	NBRC/Kizarashu/ Chi ba/Jepang	2006

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Pelatihan/ Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
3.	Microalgal hydrogen evolution by molecular detection.	Universitas Uppsala/ Swedia	2011
4.	Bioenergi	Universitas Heriot Watt/ Scotlandia/ Inggris	2016
5.	Training on Solar Technology Application	Ministry of Science and Technology/Kunming/ China	2018

D. Jabatan Struktural

No.	Jabatan/Pekerjaan	Nama Instansi	Tahun
1.	Kepala Bidang Bioproses	P2 Bioteknologi LIPI	2008–2011
2.	Kepala Bidang Sarana Penelitian	P2 Bioteknologi LIPI	2014–2019

E. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Peneliti Ahli Pertama	19 Oktober 1994
2.	Peneliti Ahli Muda	30 Desember 2005
3.	Peneliti Ahli Madya	23 Mei 2008
4.	Peneliti Ahli Madya	8 Juli 2013
5.	Peneliti Ahli Madya	1 Agustus 2016
6.	Peneliti Ahli Utama	6 Januari 2020

F. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1.	Co-Chair	APEC-ACABT	2016–2019
2.	Co-Chair	APEC-ACABT	2020–2022

G. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota/Negara)	Tahun
1.	International Workshop on Urbanization, Land Use, Land Degradation and Environment “ULE 2009”	Speaker	Pamukkale University/ Denizli/Turkey	2009
2.	Bioenergy Korea Conference 2011 International Symposium	Keynote Speaker	Korean Society For Biotechnology and Bioengineering/ Gwangju/Korea	2011
3.	Asian Biohydrogen and Biorefinery Symposium-2011	Chair Committee	LIPI/Bogor/ Indonesia	2011
4.	Indonesian-American Kavli Frontier of Science Symposium	Committee	AIPI-NAS/Los Angeles-Bogor-Solo-Jakarta/ Amerika Serikat-Indonesia	2010– 2012

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota/Negara)	Tahun
5.	ABHL2014	International Board Committee	UKM/Melaka/ Malaysia	2014
6.	AR2BIO2015	Keynote Speaker	Del Institute/ Medan/ Indonesia	2015
7.	AMTEQ	Peserta	P2 SMTP- LIPI/Serpong/ Indonesia	2016
8.	APEC-ACABT Yes Challenge	International Science Competition Jury	Feng Chia University/ Taichung/ Taiwan	2017– 2020
9.	Biomass waste management Workshop	Peserta	CAS/Xiamen/ China	2018
10.	ISIBio	Peserta	P2 Bioteknologi LIPI/Serpong/ Indonesia	2019
11.	ABBS-2019	Participants/ Delegation	HUST/Hanoi/ Vietnam	2019

H. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/ Tugas	Tahun
1.	IJHE	Elsevier	Reviewer	2015–2019
2.	Visikes	Udinus	Mitra Bestari	2019–sekarang
3.	JTI	LIPI Press	Editor	2018–sekarang
4.	JBB	Science	Reviewer	2020

I. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Tunggal	8
2.	Bersama Penulis Lainnya	44
Total		52

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	10
2.	Bahasa Inggris	41
3.	Bahasa Jepang	1
Total		52

J. Pembinaan Kader Ilmiah

Pejabat Fungsional Peneliti

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Khairul Anam	P2 Bioteknologi LIPI	Pembimbing riset/Kepala Laboratorium	2007– sekarang
2.	Swastika Praharyawan	P2 Bioteknologi LIPI	Pembimbing riset/Kepala Laboratorium	2007– sekarang
3.	Delicia Yunita Rahman	P2 Bioteknologi LIPI	Pembimbing riset/Kepala Laboratorium	2010– sekarang
4.	Hani Susanti	P2 Bioteknologi LIPI	Pembimbing riset/Kepala Laboratorium	2010– sekarang
5.	Dian Noverita Widyaningrum	P2 Bioteknologi LIPI	Pembimbing riset/Kepala Laboratorium	2007– sekarang

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Mahasiswa

No.	Nama	PT/ Universitas	Peran/Tugas	Tahun
1.	Ade Sumiardi	UI	Promotor 2	2012–2017
2.	Delicia YR	Groningen University	Pembimbing 2	2014–2018
3.	Khairul Anam	IPB	Pembimbing 2	2009–2012
4.	Swastika Praharyawan	IPB	Pembimbing 2	2010–2013
5.	Dian Noverita Widyaningrum	IPB	Pembimbing 2	2012–2016
6.	Ariyo Prabowo Hadiyanto	UI	Pembimbing 2	2014–2015
7.	M Sidik Habibi	IPB	Pembimbing 2	2008
8.	Heidi Daniati	UNJ	Pembimbing 2	2014
9.	Sety Riknojati Pratiwi	UIN	Pembimbing 2	2015
10.	Fadhlan Fakhrul Arifin	IPB	Pembimbing 2	2016
11.	Saeful Anhari	UNES	Pembimbing 1	2017
12.	Sabrina Julia La Sara	UNHALU	Pembimbing 2	2018
13.	Reza Ananta	ITK	Pembimbing 2	2019

K. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	PERMI	1996–sekarang
2.	Anggota	JAAI	2019–sekarang
3.	Anggota	Himpenindo	2019–sekarang
4.	Co-Chair	APEC-ACABT	2016–sekarang

L. Tanda Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Piagam Penghargaan Diklat Kepemimpinan Tingkat III LIPI. Peringkat 2	Pusbindiklat LIPI	2010
2.	Piagam Tanda Kehormatan 10 tahun; Satyalancana Karya Satya X Tahun	Presiden Republik Indonesia	2006
3.	Piagam Tanda Kehormatan 10 tahun; Satyalancana Karya Satya XX Tahun	Presiden Republik Indonesia	2017



LIPI Press

Gedung PDDI LIPI, Lantai 6
Jln. Jend. Gatot Subroto 10, Jakarta 12710
Telp. (+62 21) 573 3465
E-mail: press@mail.lipi.go.id
Website: lipipress.lipi.go.id



Buku ini tidak diperjualbelikan.