



**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
BIDANG BOTANI**

**TANAMAN AKUMULATOR MERKURI (Hg),
TIMBAL (Pb) DAN KADMIUM (Cd)
UNTUK FITOREMEDIASI**



**OLEH:
NURIL HIDAYATI**

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
JAKARTA, 14 MEI 2020**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

TANAMAN AKUMULATOR MERKURI (Hg),
TIMBAL (Pb), DAN KADMIUM (Cd)
UNTUK FITOREMEDIASI

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 BOTANI (FISIOLOGI TUMBUHAN)**

**TANAMAN AKUMULATOR
MERKURI (Hg), TIMBAL (Pb),
DAN KADMIUM (Cd)
UNTUK FITOREMEDIASI**

**OLEH:
NURIL HIDAYATI**

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
JAKARTA, 14 MEI 2020**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

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

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Tanaman Akumulator Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) untuk Fitoremediasi/
Nuril Hidayati. Jakarta: LIPI Press, 2020.

xi + 61 hlm.; 14,8 x 21 cm



ISBN 978-602-496-133-6 (cetak)
978-602-496-134-3 (e-book)

- | | |
|------------|------------------|
| 1. Tanaman | 2. Akumulator |
| 3. Logam | 4. Fitoremediasi |

580.7

Copy editor : Risma Wahyu Hartiningsih
Proofreader : Fadly Suhendra dan Martinus Helmiawan
Penata Isi : Meita Safitri dan Rahma Hilma taslima
Desainer Sampul : D.E.I.R. Mahelingga
Cetakan : Mei 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

BIODATA RINGKAS



Nuril Hidayati lahir di Surabaya pada 3 Agustus 1959, merupakan putri ke tujuh dari 11 bersaudara dari H. Muhammad Tohir (Alm.) dan Hj. Asma.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 72/M Tahun 2009 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama terhitung mulai 1 Januari 2009.

Berdasarkan Surat Keputusan Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Nomor 95/A/2020 Tanggal 15 April 2020 tentang Pembentukan Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan pidato Pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Madrasah di Surabaya tahun 1972, Sekolah Menengah Pertama Muhammadiyah IV di Surabaya tahun 1975, dan Sekolah Menengah Atas Proyek Perintis Sekolah Pembangunan (PPSP) IKIP Surabaya tahun 1979. Memperoleh gelar Sarjana Pertanian (Ir.) dari Jurusan Agronomi, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor tahun 1983, gelar Magister Science (M.Sc.) dari School of Plant Science, The University of Reading, UK Tahun 1989, dan gelar Doctor of Philosophy (Ph.D.) dari School of Plant Science, The University of Reading, UK tahun 1993.

Mengikuti pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain Climatological Data Analysis and Modelling di Departement of Agricultural Botany, The University of Reading,

UK (1990); dan *Workshop on "Modelling in Agriculture"* di Nottingham University, UK (1992).

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Muda Gol. III/b tahun 1995, Peneliti Muda Golongan III/c tahun 1997, Peneliti Madya Golongan III/d tahun 1999, Peneliti Madya Golongan IV/a tahun 2002, Peneliti Madya Golongan IV/b tahun 2004, Peneliti Madya Gol. IV/c tahun 2006, Peneliti Utama Golongan IV/d tahun 2009, dan memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama Bidang Botani golongan IV/e tahun 2013.

Menghasilkan 90 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, bagian dari buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 30 KTI ditulis dalam Bahasa Inggris dan 60 ditulis dalam bahasa Inggris.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai narasumber, pengajar di perguruan tinggi, sebagai pembimbing skripsi (S1) pada Universitas Pakuan, Universitas Bangka Belitung, Universitas Negeri Jakarta, dan Institut Teknologi Bandung, pembimbing dan penguji disertasi S3 pada Universitas Indonesia dan Institut Pertanian Bogor.

Menerima tanda penghargaan Satyalancana Karya Satya X Tahun (1997), Satyalancana Karya Satya XX Tahun (2007), dan Satyalancana Karya Satya XXX Tahun (2015) dari Presiden Republik Indonesia.

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS	v
DAFTAR ISI.....	vii
PRAKATA PENGUKUHAN	ix
I. PENDAHULUAN	1
II. PERKEMBANGAN RISET TANAMAN HIPERAKUMULATOR Hg, Pb, DAN Cd.....	4
2.1 Perkembangan Riset Tanaman Akumulator dan Teknologi Fitoremediasi di Indonesia.....	4
2.2 Tanaman Hiperakumulator dan Fitoremediasi	6
2.3 Pencemaran Logam Berat dan Dampaknya.....	8
III. PEMANFAATAN TANAMAN AKUMULATOR UNTUK FITOREMEDIASI	11
3.1 Tanaman Akumulator Hg	11
3.2 Tanaman Akumulator Pb dan Cd	13
IV. PELUANG, TANTANGAN, DAN STRATEGI PENGEMBANGAN TANAMAN HIPERAKUMULATOR UNTUK FITOREMEDIASI.....	17
4.1 Peluang	17
4.2 Tantangan	19
4.3 Strategi Pengembangan.....	20
V. KESIMPULAN.....	22
VI. PENUTUP.....	24
UCAPAN TERIMA KASIH	25
DAFTAR PUSTAKA	27
LAMPIRAN.....	36
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	37
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA.....	51
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	54

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaannirrahiim

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 ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul untuk menghadiri 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:

“TANAMAN AKUMULATOR MERKURI (Hg), TIMBAL (Pb), DAN KADMIUM (Cd) UNTUK FITOREMEDIASI ”

Buku ini tidak diperjualbelikan.

I. PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan di Indonesia sudah menjadi masalah yang serius. Menurut laporan, pencemaran perairan di Indonesia menimbulkan kerugian hingga Rp45 triliun per tahun. Kerugian ini mencakup biaya kesehatan masyarakat, penyediaan air bersih, dan kerugian sektor pariwisata, belum termasuk kerugian di sektor pertanian akibat menurunnya produksi dan kualitas hasil panen yang mengancam ketahanan dan keamanan pangan nasional. Data valuasi kerugian sektor pertanian akibat pencemaran secara nasional belum tersedia, tetapi sebagai gambaran kerugian petani padi pada kasus pencemaran di Rancaekek, Kabupaten Bandung Tahun 2004–2015 mencapai Rp841.741.893.000,00. Dampak lain yang tidak kalah penting ialah terganggunya ekosistem dan keanekaragaman hayati^{1,2,3}.

Pencemaran dapat disebabkan oleh berbagai sumber, terutama limbah industri, penambangan, residu agrokimia, dan emisi kendaraan bermotor^{1,3,4}. Bentuk kontaminan yang banyak dijumpai ialah logam berat, senyawa organik, dan anorganik^{2,4,5,6}. Kontaminan dari kelompok logam berat, seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) menjadi perhatian karena sulit mengalami degradasi secara alami, secara umum paling banyak dijumpai dan paling berpotensi menimbulkan masalah lingkungan^{1,2,3}.

Di antara masalah pencemaran di Indonesia, pencemaran merkuri termasuk salah satu masalah serius. Sumbangan terbesar pencemaran merkuri (37%) berasal dari penambangan emas rakyat yang tersebar di sekitar 800 daerah di seluruh Indonesia. United Nations Environment Program (UNEP) memperkirakan lebih dari 70 ton Hg sudah mencemari lingkungan. Angka ini berdasar atas jumlah impor legal merkuri ke Indonesia dan belum

terhitung jumlah impor ilegal sehingga jumlahnya diperkirakan jauh lebih besar. Secara global diperkirakan sekitar 10.000 ton Hg per tahun mencemari lingkungan^{7,8}.

Pencemaran timbal dan kadmium tidak kalah serius di Indonesia, terutama di wilayah pertanian. Sekitar 75% lahan pertanian di Indonesia sudah menjadi lahan kritis sehingga kesuburan tanahnya terus menurun. Salah satu penyebab menurunnya kualitas lahan ialah pencemaran residu agrokimia dan limbah industri^{1,3}. Dilaporkan bahwa 21–40% dari 106 ribu ha sawah di Pantura Jawa Barat tercemar logam berat, dengan 4–7% tercemar oleh timbal (7,83–91,47ppm) dan kadmium hingga 8,75ppm^{1,3}.

Masalah pencemaran merkuri (Hg), timbal (Pb), dan kadmium (Cd) meluas setiap tahunnya sehingga harus segera dicari solusi untuk mengatasinya karena ketiganya tergolong tiga jenis logam berat paling berbahaya bagi manusia^{2,4,9}. Upaya konvensional untuk membersihkan lingkungan tercemar belum banyak dilakukan karena kendala biaya yang tinggi. Salah satu alternatif solusinya ialah pemanfaatan tanaman akumulator dengan teknik fitoremediasi. Hal ini didasarkan pada kenyataan bahwa perakaran tanaman akumulator dapat mendegradasi, mengekstraksi, dan mengakumulasi logam berat^{5,6,10,11,12}.

Teknologi fitoremediasi untuk membersihkan lingkungan tercemar diyakini dapat diaplikasikan, terutama di negara seperti Indonesia yang kaya akan sumber daya hayati yang berpotensi sebagai akumulator. Permasalahan utama pada fitoremediasi yaitu memperoleh tanaman hiperakumulator ideal dengan karakteristik toleran terhadap kontaminan, tumbuh cepat, bio-

massa tinggi, mudah diperbanyak, dan utamanya yang memiliki kemampuan ekstraksi logam berat tinggi^{11,13,14,15}.

Sudah banyak hasil riset yang membuktikan bahwa tanaman hiperakumulator dapat menjadi solusi untuk membersihkan lingkungan tercemar dengan tingkat kontaminasi yang parah sekalipun dan lebih ekonomis dibandingkan cara konvensional^{14,15,16,17,18}. Pemanfaatan tanaman akumulator yang sudah berhasil ialah pembersihan Pb menggunakan tanaman *Brassica juncea* sehingga menurunkan kadar Pb tanah dari 2.300 mg/kg menjadi 420 mg/kg (960 mg/kg) di New Jersey. Selain itu, tanaman *Helianthus annuus* menurunkan Pb dari 635 mg/kg menjadi 478 mg/kg di Connecticut. Tanaman yang paling banyak digunakan untuk fitoremediasi dan telah memiliki prospek ekonomis ialah *Populus* sp. (Poplar) untuk fitoremediasi nitrat melalui produksi biomasnya yang tinggi^{17,19}. Contoh lain ialah keberhasilan penggunaan *Chlamydomonas* sp. dan *Reonotria sachalinensis* untuk membersihkan lingkungan instalasi senjata kimia terkontaminasi arsen (As) hingga 600 mg As/kg di Jerman¹⁸.

Di pihak lain, Indonesia kaya akan sumber daya alam yang berpotensi sebagai bioakumulator^{12,20,21,22}. Besarnya prospek tanaman hiperakumulator dan berlimpahnya sumber daya hayati yang tersedia di Indonesia menjadi dasar yang kuat untuk pengembangan teknologi fitoremediasi.

Untuk itu, dalam orasi ini, akan dipaparkan perjalanan riset penulis yang diawali dengan riset-riset reklamasi lahan terdegradasi bekas tambang emas hingga prospek aplikasi hasil riset potensi tanaman hiperakumulator logam berat merkuri (Hg), timbal (Pb), dan kadmium (Cd) serta pemanfaatannya untuk membersihkan lingkungan tercemar dengan teknologi fitoremediasi.

II. PERKEMBANGAN RISET TANAMAN HIPERAKUMULATOR HG, PB, DAN CD

2.1 Perkembangan Riset Tanaman Akumulator dan Teknologi Fitoremediasi di Indonesia

Di Indonesia telah banyak dilakukan rehabilitasi lahan terdegradasi pasca-penambangan, seperti tambang batubara di Kalimantan, timah di Bangka, dan nikel di Sulawesi dengan penanaman jenis-jenis *cover crop*, Vetiver, hingga tanaman cepat tumbuh, seperti *Acacia* dan *Albizia* untuk lahan terestrial. Sementara itu, rehabilitasi pascatambang di perairan umumnya dengan penanaman jenis-jenis tumbuhan air pembentuk ekosistem perairan (*artificial wetland*).

Praktik-praktik reklamasi dan fitoremediasi lahan pascatambang yang dilakukan selama ini sebagian besar masih bersifat pemanfaatan tanaman untuk fungsi stabilisasi secara *in situ*, belum ada yang bersifat pembersihan atau *removal* dengan mekanisme fitoekstraksi. Penyebaran logam berat atau polutan lainnya ke rantai makanan dapat menimbulkan bahaya apabila jenis-jenis yang ditanam untuk reklamasi berupa tanaman-tanaman pertanian ataupun tanaman pakan ternak. Oleh karena itu, banyak kasus pencemaran perlu tanaman akumulator yang dapat membersihkan lingkungan dengan mekanisme fitoekstraksi logam berat dan polutan lainnya sehingga tidak hanya memperbaiki tutupan lahan, tetapi juga membersihkan polutan di dalam tanah atau perairan yang tercemar.

Penulis dan tim riset fitoremediasi berupaya membangun kerangka pikir (*State of the art*) riset tanaman hiperakumulator dan aplikasinya dalam teknologi fitoremediasi secara holistik. Kerangka riset ini meliputi delapan hal, yaitu 1) identifikasi kon-

taminan utama di lingkungan tercemar^{23,24,25,26,27}; 2) inventarisasi dan koleksi tumbuhan dominan di lingkungan tercemar^{20,28,29,30,31}; 3) identifikasi jenis tumbuhan^{20,22,29,30,31}; 4) analisis logam berat dan *skrining* tumbuhan berpotensi akumulator^{23,32,33,34}; 5) pengujian toleransi dan fitoekstraksi hingga pada kadar kontaminan tertinggi^{32,33,34,35,36}; 6) riset fisiologis, seleksi tanaman, dan metode fitoremediasi untuk meningkatkan fitoekstraksi (aplikasi kelat, aplikasi mikroorganisme, pemupukan dan seleksi tanaman secara molekuler)^{37,38,39,40,41}; 7) pengujian tanaman akumulator dan metode fitoremediasi terpilih secara *in situ* di lingkungan tercemar^{42,43,44,45,46}; dan 8) aplikasi hiperakumulator dan metode fitoremediasi hasil riset untuk membersihkan lingkungan tercemar.

Kepakaran penulis sebagai peneliti di bidang ini berlangsung antara 1994–1998 pada kegiatan reklamasi lahan terdegradasi pasca-penambangan emas di Jampang, Sukabumi^{47,48,49}. Kemudian, dilanjutkan dengan reklamasi lahan tailing di Pongkor dan Cikotok pada Tahun 2001–2003.

Perjalanan riset reklamasi sampailah kepada kesimpulan bahwa reklamasi melalui revegetasi saja tidak menjamin hilangnya kontaminan dalam tanah walaupun kondisi lingkungan tampak membaik, seperti meningkatnya tutupan lahan, meningkatnya kualitas kesuburan tanah, dan iklim mikro^{24,25,26,27}. Sebagaimana yang kita ketahui lahan bekas penambangan emas, sesuai dengan hasil analisis, mengandung logam berat, seperti Pb, Cd, dan Hg yang cukup tinggi^{50,51,52,53,54}. Oleh karena itu, perlu adanya solusi lain yang dapat merehabilitasi lahan sekaligus membersihkan kontaminan yang terkandung di dalamnya. Dari sini kemudian dirumuskan kerangka pemikiran riset rehabilitasi lahan secara terintegrasi dengan metode fitoremediasi menggunakan sumber

daya tanaman akumulator pembersih logam berat yang sesuai dengan kondisi lingkungan setempat^{12,32,35,45}.

Beberapa penelitian dan pengembangan tanaman akumulator logam berat dan teknik fitoremediasi yang memadukan berbagai disiplin secara sinergi yang telah dilakukan adalah pada 2004–2008 melalui kegiatan DIPA Pusat Penelitian Biologi LIPI, kemudian pada 2007–2009 melalui Kegiatan Kompetitif LIPI, pada 2009–2017 melalui kegiatan kerja sama dengan mitra peneliti asing (Kagoshima University Japan), dan pada 2016–2018 melalui kegiatan kerja sama dengan Kementerian Pertanian. Penelitian dan pengembangan ini diharapkan mencapai hasil akhir tanaman akumulator Hg, Pb, dan Cd serta teknik fitoremediasi yang teruji secara *in-situ* dan siap diaplikasikan.

2.2 Tanaman Hiperakumulator dan Fitoremediasi

Sejarah pemanfaatan tanaman untuk fitoremediasi diawali oleh adanya laporan pertama mengenai tumbuhan hiperakumulator pada 1948 oleh Minguzzi dan Vergnano, yang menemukan kadar nikel setinggi 1,2% dalam daun *Alyssum bertolonii*. Sejak itu, terungkap ada 435 taksa tumbuhan hiperakumulator logam⁵⁵.

Fitoremediasi ialah membersihkan kontaminan yang dimediasi oleh tanaman hiperakumulator. Fitoremediasi terdiri atas beberapa konsep dasar, sebagai berikut. 1) Fitoekstraksi merupakan proses penyerapan polutan oleh tanaman dan diakumulasikan pada daun, batang, dan akar tanaman; 2) Fitovolatilisasi yaitu penyerapan polutan oleh tanaman dan diubah menjadi volatil dan ditranspirasikan; 3) Fitodegradasi merupakan penyerapan polutan oleh tanaman dan dimetabolisme di dalam tanaman dengan melibatkan enzim-enzim; 4) Fitostabilisasi merupakan proses yang mentransformasi polutan di dalam tanah menjadi senyawa yang nontoksik; 5) Rizofiltrasi

ialah proses penyerapan polutan oleh tanaman pada medium cair; dan 6) *Phytomining* yakni fitoekstraksi yang hasil ekstraksi logamnya dimanfaatkan untuk tujuan lain, seperti penambangan nikel menggunakan hiperakumulator^{11,18,19,35}.

Hiperakumulasi logam melibatkan serangkaian proses fisiologis. Pertama, interaksi rizosferik pada zona perakaran, yaitu dengan bantuan eksudat akar maka logam polutan diubah menjadi bentuk yang mudah diserap akar. Akar tanaman hiperakumulator mampu mengubah logam menjadi bentuk yang mudah diserap, mempercepat terlarutnya logam, dan mampu melepaskan kelat yang berfungsi mengikat logam menjadi ikatan logam-kelat sehingga mudah diserap dan ditranslokasikan di dalam tanaman. Penyerapan logam oleh akar ditentukan oleh permeabilitas, transpirasi, dan tekanan akar, serta adanya sistem pemacu penyerapan logam (*enhanced metal uptake system*)^{13,18,35}. Mekanisme ini masih belum banyak diungkap.

Proses selanjutnya ialah translokasi logam dari akar ke tajuk. Translokasi ini dikendalikan oleh dua proses utama yakni pergerakan ion ke silem dan fluks dalam silem. Sekuestrasi (*sequestration*) dan kompleksasi (*complexation*) ialah proses hiperakumulasi yang menentukan bentuk dari ikatan logam dan di bagian jaringan mana akan disimpan^{13,18,35}.

Kemampuan tanaman untuk menyerap dan mengakumulasi kontaminan bergantung dari jenis dan karakteristik tanaman. Kapasitas fitoekstraksi dapat dimaksimalkan dengan memperbaiki faktor internal, seperti faktor genetik dan fisiologis, ataupun faktor eksternal, seperti teknik budi daya dan metode fitoremediasi. Upaya secara internal, yaitu mengombinasikan karakter-karakter yang diinginkan dalam satu jenis tanaman hiperakumulator melalui pemuliaan tanaman dan bioteknologi merupakan salah satu strategi yang mulai banyak

dilakukan^{14,17,18,19}. Meningkatkan fitoekstraksi secara eksternal dapat dilakukan dengan manipulasi pH, aplikasi kelat (*chelating agents*)^{42,56,57,58,59}, inokulasi mikroorganisme^{18,35,41}, dan pemberian pupuk^{18,29,30,31,35}.

Kelat berfungsi membentuk ikatan logam-kelat yang lebih mudah diserap dan ditranslokasi tanaman. Kelat sintetik yang biasa digunakan adalah *ethylene diamine tetracetic acid* (EDTA) untuk meningkatkan ekstraksi Pb, Cu, Ni, dan Zn, serta EGTA (*Triethylene glycol diamine tetraacetic acid*) untuk Cd; sitrat untuk uranium, amonium tiosulfat untuk Hg; dan amonium tiosianit untuk unsur emas (Au)^{18,35}. Asosiasi antara tanaman dan mikroorganisme juga dapat dimanfaatkan sebagai salah satu strategi fitoremediasi yang efektif karena dapat meningkatkan kesuburan tanaman dan meningkatkan akumulasi logam. Biasanya akumulasi logam ditentukan oleh kadar logam dalam tanaman dan biomassa tanaman^{18,35}.

2.3 Pencemaran Logam Berat dan Dampaknya

Merkuri (Hg) merupakan logam berat yang berbentuk cair. Sebagai polutan, Hg dijumpai dalam berbagai bentuk di antaranya Hg⁰, Hg²⁺, Hg₂²⁺, Hg organik, dan metil merkuri, yang tingkat bahayanya 50 kali lebih tinggi dari bentuk yang lainnya. Metil merkuri adalah bentuk yang menyebabkan tragedi di Minamata pada 1953^{9,54,60,61,62}.

Pencemaran Hg banyak terjadi di lingkungan penambangan emas, baik yang dikelola rakyat maupun industri. Di Sulawesi Utara diperkirakan 1,5–2 ton/th Hg dari penambangan rakyat mencemari lingkungan. Air tanah mengandung Hg 521% di atas baku mutu. Sementara itu, air limbah pengolahan emas mengandung Hg 685% di atas standar; ikan dan siput mengandung 296% dan 768% Hg di atas baku mutu (nilai baku mutu Hg di

Lampiran 2). Di Pongkor, Jawa Barat dilaporkan pencemaran Hg sudah menyebar ke udara, air, dan lahan pertanian^{63,64,65,66,67}. Konsentrasi merkuri pada sedimen sungai mencapai 0–2,67 ppm, sedangkan pada tanah mencapai 1–130 ppm (Lampiran 1). Sementara itu, baku mutu Hg untuk perairan 0,02–0,05 ppm (Lampiran 2)^{68,69,70}.

Indonesia merupakan negara terbesar ketiga di dunia yang sudah mengalami polusi Hg setelah Tiongkok dan Filipina⁷¹. Di Indonesia, terdapat sekitar 713 lokasi tambang skala kecil yang tersebar di Jawa, Sumatra, Kalimantan, dan Sulawesi dengan lebih dari 60.000 penambang. Penambangan ini mengakibatkan pencemaran Hg lebih dari 1.000 ton setiap tahunnya⁷¹. Oleh karena itu, sejumlah kasus pencemaran Hg dari proses pertambangan emas di Indonesia telah terindikasi menyebabkan pencemaran lingkungan, yaitu di Kabupaten Minahasa Utara, Sulawesi Utara, Kabupaten Bima, NTB, Sulawesi Tengah, Kalimantan Tengah, Kalimantan Barat, dan Jawa Barat^{62,71}.

Adapun dampak keracunan Hg pada manusia dapat berupa kerusakan saluran pencernaan, gangguan kardiovaskuler, gangguan ginjal, kerusakan syaraf, hingga kematian. Sementara itu, dampak pada bayi yang lahir dari ibu yang keracunan Hg yaitu terjadinya *cerebral palsy*, cacat fisik, dan keterbelakangan mental^{6,9}.

Timbal (Pb) sebagai logam berat kontaminan merupakan logam berat yang ketersediaannya di dalam tanah tergolong tinggi, banyak dijumpai dalam bentuk Pb^{2+} . Baku mutu Pb pada tanah 1,0–100 ppm, sedangkan pada air 0,08–2,0 ppm^{6,9,70}. Dampak keracunan Pb pada manusia berupa terjadinya gangguan sintesis hemoglobin, gangguan syaraf, gangguan fungsi ginjal dan paru-paru, kerusakan sistem reproduksi, serta menyebabkan

penyakit akut. Dampak pada anak-anak dapat menimbulkan IQ rendah dan gangguan mental^{6,9}.

Kadmium (Cd) merupakan logam berat yang konsentrasinya tergolong rendah di lingkungan, namun banyak dijumpai dalam bentuk sulfida, karbonat, dan oksida yang bersifat tidak larut di dalam air. Baku mutu Cd pada tanah adalah 0,1–7,0 ppm dan pada air 0,05–0,1 ppm^{6,9,70}. Kadmium lebih bersifat toksik pada organisme hidup dibandingkan Pb. Dampak keracunan Cd dalam jangka waktu lama dapat menyebabkan kanker paru-paru, anemia, dermatitis, kerusakan ginjal dan hati, gangguan kardiovaskuler, serta degradasi tulang^{6,9,70}.

Pencemaran Pb dan Cd banyak terjadi di lingkungan pertanian yang mendapat irigasi dari sungai yang tercemar. Dilaporkan bahwa sawah dan irigasi dari 16 kecamatan (22 desa) di Kabupaten Bekasi dan 12 kecamatan (24 desa) di Kabupaten Karawang terpapar Pb 16,33–68,35 ppm dan Cd 0,5–6,4 ppm (Lampiran 1)⁴³. Masih banyak kasus pencemaran Hg, Pb, dan Cd di wilayah Indonesia yang tidak dapat disebutkan satu per satu dalam naskah ini.

III. PEMANFAATAN TANAMAN AKUMULATOR UNTUK FITOREMEDIASI

3.1 Tanaman Akumulator Hg

Batasan hiperakumulator masih belum baku untuk semua logam berat, salah satu batasan ialah apabila akumulasi logam lebih dari 11% dari total berat kering tajuk atau 100 kali lebih besar daripada tanaman normal, tergantung pada jenis logamnya. Hiperakumulator Cd ialah tanaman yang dapat menoleransi sedikitnya 100 mg Cd kg⁻¹ bobot kering biomassa, sedangkan hiperakumulator Pb dan Hg masih belum ditetapkan nilai bakunya^{18,35}. Akumulasi Pb dan Hg pada tanaman yang paling tinggi yang pernah ditemukan sebesar 89,13 ppm Hg pada tanaman *Lindernia crustacea*, 196 ppm Pb pada tanaman *Monocharia vaginalis*, dan 180 ppm Pb pada *Eichhornia crassipes*^{35,44,45,47}.

Perkembangan riset fitoekstraksi Hg telah mendeteksi bahwa mekanisme akumulasi Hg dalam tanaman terjadi karena ion-ion Hg (Hg²⁺) *mobile* sehingga mudah ditranslokasi ke tajuk tanaman dan disimpan di tempat-tempat penyimpanan, seperti vakuola subseluler dan sel epidermal daun. Selain itu, juga telah dideteksi adanya transporter spesifik seperti *glutathione conjugates* sebagai transporter Hg yang memompa ion-ion Hg ke dalam vakuola^{13,18,35}.

Riset tanaman akumulator Hg diawali dengan riset penyebaran Hg di lingkungan yang tercemar. Penyebaran cemaran Hg telah terbukti berdampak pada tanah, air, dan udara. Hal ini telah terbukti bahwa kadar Hg di udara dan tumbuhan epifit semakin tinggi dengan makin dekatnya jarak dari aktivitas penambangan. Di lingkungan penambangan emas terdeteksi kadar Hg mencapai 398 ng m⁻³ Hg di udara dan 11.974 ng g⁻¹ Hg di tanaman

epifit (*Asplenium nidus*)^{63,64,65}. Penyebaran Hg juga terdeteksi pada organisme di lingkungan penambangan, seperti keong, tutut, ikan, gabah, dan manusia^{60,51,64,65,69}. Merkuri yang lepas ke udara dari amalgamasi menyebar hingga jarak lebih dari 20 km dari penambangan^{53,54,63,64,65}.

Selanjutnya, dilakukan analisis jenis tanaman yang toleran dan berpotensi akumulator di lingkungan yang tercemar Hg. Dari hasil *skrining* tanaman toleran di lingkungan penambangan emas terpapar Hg terungkap beberapa jenis tanaman yang berpotensi sebagai hiperakumulator Hg, di antaranya *Lindernia crustacea* (89,13 mg Hg per kg berat keringnya), *Digitaria radicata* (50,93 mg/kg), *Paspalum conjugatum* (47 mg/kg Hg), *Cyperus monocephalus* (13,05 mg/kg Hg), *Ipomoea batatas* (18,57–22,57 mg/kg Hg), *Zingiber sp.* (49,33 mg/kg Hg), *Caladium sp.* (9,12 mg/kg Hg), dan *Commelina nudiflora* (30,37 mg/kg Hg)^{20,22,29,30,35}.

Rangkaian riset selanjutnya ialah mendapatkan metode untuk memaksimalkan akumulasi Hg dalam fitoremediasi di antaranya dengan manipulasi pH media tanam, aplikasi kelat, dan penambahan mikroorganisme yang diisolasi dari lingkungan tercemar Hg. Kelat Amonium tiosulfat $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ dan mikroorganisme yang diisolasi dari limbah Hg terbukti dapat mengurangi efek toksik dan meningkatkan akumulasi Hg dalam tanaman^{35,39,41,42}.

Tanaman akumulator dan teknik fitoremediasi Hg dari hasil riset *ex situ* selanjutnya diuji secara *in situ* di beberapa lokasi penambangan emas yang tercemar Hg. Hasil temuan mengungkap bahwa kadar Hg pada sawah menurun setelah aplikasi fitoremediasi dengan empat jenis tanaman akumulator terpilih dalam jangka waktu tiga bulan. Dari hasil pengujian *in situ* ini dapat disimpulkan beberapa jenis tanaman yang berpotensi sebagai hiperakumulator Hg. Beberapa tanaman akumulator tersebut adalah *Commelina nudiflora* dengan potensi akumulasi 114,05

mg/thn dapat menurunkan 73% kadar Hg di sawah (45 ppm–17 ppm), *Salvinia molesta* dengan potensi akumulasi 111,71mg/thn menurunkan 84% Hg (52 ppm–8 ppm), *Paspalum conjugatum* dengan potensi akumulasi 107,11 mg/thn menurunkan 88% Hg (75 ppm–9 ppm), dan *Monocharia vaginalis* dengan potensi akumulasi 68,57 mg/thn menurunkan 66% Hg (29 ppm–10 ppm)^{35,44}.

Teknik fitoremediasi di lahan sawah menggunakan jenis-jenis tanaman akumulator Hg hasil riset ini selanjutnya ditetapkan sebagai model fitoremediasi yang memiliki potensi HKI. Dengan pengujian pada banyak lokasi tercemar Hg dan penyempurnaan teknik fitoremediasi maka model ini dapat dimanfaatkan oleh masyarakat di lingkungan penambangan emas yang tercemar, baik secara kelompok maupun perorangan.

3.2 Tanaman Akumulator Pb dan Cd

Riset fitoekstraksi Pb masih belum banyak berkembang, khususnya mengenai mekanisme fitoekstraksi Pb pada tanaman, karenanya masih perlu diteliti. Salah satu permasalahan riset ini ialah spesies tanaman yang berbeda memiliki mekanisme dalam ekstraksi dan translokasi Pb yang juga berbeda. Pada umumnya, kandungan Pb pada jaringan tanaman ialah sekitar 10 ppm, sedangkan tumbuhan hiperakumulator telah terbukti mampu mengakumulasi Pb pada tajuk hingga 1.000 ppm^{13,14,18,35}.

Demikian juga riset tanaman hiperakumulator Cd belum banyak berkembang. Salah satu perkembangan riset hiperakumulator Cd adalah telah terdeteksinya transporter Fe (II), seperti IRT1 (dari kelompok gen ZIP) dan Nramp yang berfungsi mentranspor Cd di dalam tanaman¹⁸. Kadmium lebih bersifat toksik walaupun dalam kadar yang rendah^{18,43}. Dengan demikian, dapat

disimpulkan bahwa masih banyak riset yang harus dilakukan untuk mengungkap fisiologi fitoekstraksi logam berat ini.

Riset pemanfaatan tanaman akumulator Pb dan Cd yang telah dilakukan penulis diawali dengan analisis dan pemetaan pencemaran Pb dan Cd di lingkungan pertanian terpapar limbah. Hasil riset mengungkap bahwa banyak lahan pertanian penting yang terpapar Pb dan Cd hingga di atas standar baku mutu^{43,70}. Dari hasil *skrining* akumulasi Pb dan Cd di lingkungan terpapar maka didapatkan beberapa jenis tanaman yang toleran dan berpotensi sebagai akumulator Pb dan Cd. Hasil *skrining* tanaman yang dikoleksi dari lahan pertanian tercemar Pb dan Cd terungkap mengandung Pb dan Cd hingga 8,93–65,0 ppm Pb dan 1,0–6,0 ppm Cd⁴³. Dari hasil pengujian lanjutan, diperoleh masing-masing enam jenis tanaman akumulator Pb dan Cd dengan toleransi terhadap Pb hingga taraf 300 ppm dan Cd hingga 75 ppm. Enam jenis tanaman berpotensi akumulator Pb ialah *Saccharum spontaneum* (47 ppm Pb), *Acorus calamus* (55 ppm Pb), *Ipomoea fistulosa* (60 ppm Pb), *Ludwigia hyssopifolia* (50 ppm Pb), *Eichhornia crassipes* (55 ppm Pb), dan *Hymenachne amplexicaulis* (57 ppm Pb). Sementara itu, enam jenis tanaman berpotensi akumulator Cd ialah *Limnocharis flava* (4,3 ppm Cd), *Colocasia* sp. (4,9 ppm), *Ipomoea fistulosa* (4,5 ppm), *Grangea maderaspatana* (5,0 ppm), *Eichhornia crassipes* (6,0 ppm), dan *Ludwigia octovalvis* (5,0 ppm Cd)⁴³. Tanaman *H. amplexicaulis* dan *Saccharum spontaneum* sebagai akumulator Pb mampu memproduksi biomassa tinggi pada paparan Pb hingga 300 ppm; Tanaman lain yang berpotensi sebagai akumulator Pb, yaitu *Crotalaria anagyroides*, yang mampu mengakumulasi Pb hingga 40,81 ppm pada tajuknya dan 31,86 ppm pada akarnya;

Akumulator dari *Eichhornia crassipes* mampu mengakumulasi hingga 180 ppm Pb^{35,43,57,58,59}.

Bukti penggunaan marka molekuler (MAS) pada tanaman dari lingkungan tercemar Pb dan Cd mengungkapkan bahwa *H. amplexicaulis* (rumput paitan) berpotensi akumulator Pb tertinggi, diikuti *S. spontaneum* (kaso), dan *E. crassipes* (eceng). Sementara itu, *I. fistulosa* (tablo) berpotensi akumulator Cd tertinggi, diikuti *Colocasia sp.* (talas liar), dan *E. crassipes* (eceng)⁴³. Hasil riset molekuler ini mendasari riset bioteknologi untuk mendapatkan tanaman hiperakumulator ideal. Hasil riset juga mengungkap bahwa akumulasi Pb dan Cd yang diserap tanaman lebih banyak diakumulasikan di akar. Akumulasi Pb dan Cd di akar dan tajuk meningkat seiring dengan meningkatnya kadar Pb dan Cd pada tanah^{13,18,35,37}.

Fitoekstraksi Pb dan Cd ditingkatkan dengan menggunakan aplikasi kelat *Ethylendiaminetetracetic Acid* (EDTA). Kelat EDTA terbukti meningkatkan serapan Pb oleh tanaman. Ada dugaan Pb dalam tanaman membentuk ikatan kompleks Pb-EDTA sehingga lebih mudah ditranslokasi dari akar ke tajuk dan diakumulasi dalam bentuk ikatan kompleks Pb-EDTA, namun masih perlu diteliti lebih lanjut^{18,35}. Aplikasi kelat masih terkendala karena kurang ekonomis. Untuk itu, masih diperlukan kajian lebih lanjut untuk mendapatkan kelat alami, seperti tumbuhan atau mikroorganisme yang dapat diaplikasikan secara lebih mudah dan ekonomis.

Hasil riset seleksi tanaman akumulator dan metode fitoremediasi secara *ex situ* dilanjutkan dengan uji secara *in situ* di lingkungan pertanian/sawah tercemar Pb dan Cd. Hasilnya dapat disimpulkan bahwa tiga jenis tanaman terbukti potensial sebagai akumulator Pb dan Cd untuk membersihkan sawah tercemar, yakni *H. amplexicaulis*, *E. crassipes*, dan *Acorus calamus*. Dari

hasil pengujian ini diinisiasi *Standard Operasional Procedure* (SOP) pemanfaatan tanaman akumulator untuk fitoremediasi yang diawali dengan perbanyakan, penanaman tanaman akumulator terpilih hingga pemanenan, pemusnahan biomassa akumulator yang mengandung kontaminan dengan pembakaran dan pengabuan, serta disposal sebagaimana limbah B3 agar tidak mencemari lingkungan kembali. SOP ini dibuat secara sederhana dan tepat guna agar dapat dimanfaatkan oleh masyarakat, baik secara kelompok maupun perorangan.

IV. PELUANG, TANTANGAN, DAN STRATEGI PENGEMBANGAN TANAMAN HIPERAKUMULATOR UNTUK FITOREMEDIASI

Pemanfaatan tanaman akumulator dalam fitoremediasi dihadapkan pada berbagai tantangan, walaupun di sisi lain, penerapan inovasi yang telah dihasilkan membuka peluang keberhasilan.

4.1 Peluang

Tidak dapat dihindari di masa yang akan datang pemanfaatan tanaman akumulator untuk fitoremediasi sangat diperlukan di Indonesia. Setiap tahunnya kasus pencemaran terus bertambah, baik dalam jumlah maupun intensitasnya, sedangkan daya dukung tanah dan sumber daya air makin menurun. Di pihak lain, Indonesia kaya akan sumber daya alam yang berpotensi sebagai bioakumulator.

Metode fitoremediasi dapat menjadi solusi yang menjanjikan karena terbukti murah dan mudah diaplikasikan. Biaya *engineering-base methods* untuk logam berat dan radionuclide adalah \$10–\$3.000 per m³ tanah; fitoremediasi adalah \$0,02–\$1 per m³ tanah. Di samping itu, metode ini bersifat ramah lingkungan dan memungkinkan penggunaan kembali logam berat yang bernilai (contoh *phytomining Ni*)¹⁸.

Pertumbuhan ekonomi, termasuk UMKM yang bergerak dalam berbagai sektor sangat membutuhkan pengelolaan sumber air bersih dan limbah buangan secara mandiri. Oleh karena itu, diperlukan teknik-teknik fitoremediasi dengan tanaman akumulator yang teruji, baik untuk skala besar maupun skala kecil dan dirancang tepat guna sesuai dengan kondisinya. Dalam mengatasi limbah dari Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI) yang makin meluas, dapat diaplikasikan inovasi fitore-

mediasi dengan akumulator teruji menggunakan metode yang mudah diaplikasikan seperti sistem IPAL pengolahan limbah secara kelompok.

Saat ini mulai banyak teknik fitoremediasi yang diaplikasikan, seperti *artificial wetland* dan revegetasi di lingkungan bekas penambangan. Namun, beberapa masih bersifat fitostabilisasi yakni imobilisasi kontaminan oleh akar tanaman. Walaupun dengan fitostabilisasi ini kualitas lingkungan membaik, tetapi sumber kontaminan masih tersimpan di dalamnya sehingga lingkungan tersebut belum aman, baik untuk pertanian maupun perikanan. Praktik fitoremediasi yang bersifat fitoekstraksi skala besar belum banyak dilakukan di Indonesia.

Riset bidang fisiologi sendiri masih berpeluang sangat besar, di antaranya pengungkapan mekanisme peningkatan hiperakumulasi pada tanaman, dan respons tanaman terhadap perlakuan agronomis untuk meningkatkan potensi hiperakumulasi. Riset seleksi untuk mendapatkan tanaman hiperakumulator secara molekuler juga baru dimulai akhir-akhir ini dan masih berpeluang sangat besar. Riset mendapatkan kelat-kelat alami juga menjadi peluang tersendiri untuk mencapai HKI dalam bioprospeksi. Di samping itu, masih banyak peluang riset dan pengembangan yang tidak dapat disebutkan satu per satu di dalam naskah ini.

Adapun peluang terkini pemanfaatan tanaman hiperakumulator adalah untuk penambangan logam berat dalam konsep *agromining*, yang hingga saat ini perkembangannya masih pada tahap awal dalam penambangan logam nikel (Ni).

Peluang ini di Indonesia memiliki prospek untuk dikembangkan, termasuk di daerah penambangan nikel.

4.2 Tantangan

Tantangan yang utama dari perkembangan inovasi ini adalah rendahnya kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga lingkungan yang bebas dari pencemar dan kurangnya kemauan pemerintahan untuk melakukan penertiban pengelolaan limbah sumber pencemar. Walaupun peraturan sudah tersedia seperti adanya 1) PP No. 20 Tahun 1990 tentang Baku Mutu Sungai, 2) UU No. 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, 3) PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengendalian Pencemaran, 4) UU No. 7 Tahun 2004 tentang Pengelolaan Sumber Daya Air, dan 5) UU No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, namun penegakan hukum belum tegas konsisten.

Hal inilah yang menjadi peluang bagi pelaku pencemaran untuk tidak patuh terhadap aturan dan tidak merasa berkewajiban untuk melakukan reklamasi. Informasi kuantitatif terkait pencemaran sering kali tidak akurat dan terkesan tertutup sehingga penanganan pencemaran sering tidak tepat sasaran dan tidak efektif.

Riset untuk mendapatkan tanaman hiperakumulator dan teknik fitoremediasi masih kurangnya dukungan dana dan fasilitas sehingga masih berjalan lambat, kurang maju, dan kurang terintegrasi sehingga belum dapat berkiprah di kancah dunia. Tidak sedikit peneliti asing yang memiliki ketertarikan untuk kerja sama riset di Indonesia mengenai kasus-kasus pencemaran dan *bioresources* yang berpotensi sebagai bioindikator dan bioakumulator.

4.3 Strategi Pengembangan

Sangat penting melakukan penyadartahuan masyarakat akan bahaya pencemaran dan mendorong keseriusan pemerintah dalam hal penerapan regulasi dan undang-undang pengelolaan lingkungan secara tegas dan konsisten. Untuk itu, perlu ditingkatkan keterlibatan semua pihak yang didukung dengan (a) Penegakan hukum dan Peraturan Pemerintah tentang pengendalian pencemaran dan pengelolaan lingkungan hidup secara berkelanjutan dan (b) Peningkatkan kesadaran masyarakat dan percepatan alih teknologi dengan diseminasi untuk meningkatkan *awareness* masyarakat tentang bahaya pencemaran dan pentingnya pengelolaan lingkungan yang sehat dan lestari.

Untuk mengatasi kendala data kuantitatif mengenai pencemaran yang masih sangat minim, kurang akurat, dan sering tidak transparan, diperlukan pendataan pencemaran secara lebih serius, objektif, serta transparan dari berbagai pihak secara sinergi. Dengan demikian, akan terkumpul basis data yang terpusat dan dapat diakses secara nasional sehingga informasi terkait pencemaran menjadi lebih akurat dan penanganan pencemaran secara nasional menjadi lebih efektif dan tepat sasaran.

Arah ke depan strategi pengembangan riset hiperakumulator dan fitoremediasi ialah memperkuat sinergisme antar-disiplin ilmu termasuk fisiologi tumbuhan, genetika molekuler, dan lainnya untuk mempercepat pencapaian hasil-hasil riset. Hasil riset yang diharapkan, seperti diperolehnya jenis-jenis tanaman hiperakumulator hibrida transgenik yang unggul dalam kapasitas ekstraksi logam berat, adaptif terhadap lingkungan tercemar, tumbuh cepat dan produksi biomassa tinggi, yang dapat dimanfaatkan masyarakat dan bernilai ekonomi. Selain itu, perlu dilakukan penguatan jejaring dan kerja sama dengan pihak-pihak terkait untuk mempercepat capaian teknologi

fitoremediasi dengan tanaman hiperakumulator sehingga dapat dimanfaatkan secara luas dan mengatasi masalah-masalah pencemaran lingkungan berskala luas dan berkelanjutan. Terakhir, diperlukan fasilitas riset, termasuk laboratorium yang memadai agar diperoleh capaian yang maksimal dan progresif.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas dapat ditarik kesimpulan dan implikasi kebijakan sebagai berikut.

Telah diperoleh empat jenis tanaman akumulator merkuri (Hg) yang mampu mengakumulasi sekitar 107–120 mg Hg/thn yang masih dapat tumbuh pada lingkungan terkontaminasi sedikitnya 50 ppm Hg; enam jenis tanaman akumulator Pb yang mengakumulasi 60–180 ppm Pb pada lingkungan tercemar 300 ppm Pb; dan enam jenis tanaman akumulator Cd yang mengakumulasi 5–6 ppm Cd yang masih dapat tumbuh pada lingkungan terkontaminasi 75 ppm Cd, yang sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia.

Di samping itu, juga telah diperoleh konsep fitoremediasi menggunakan tanaman hiperakumulator secara holistik, dimulai dengan eksplorasi dan inventarisasi, seleksi menggunakan marka molekuler, hingga metode untuk meningkatkan kemampuan fitoekstraksi secara terintegrasi dengan aplikasi kelat, inokulasi mikroorganisme, manipulasi pH, dan pemupukan. Dengan demikian, diperoleh teknik fitoremediasi berbasis tanaman hiperakumulaor yang dapat diaplikasikan secara terpadu sesuai dengan lingkungan yang diremediasi untuk memperbesar peluang keberhasilan. Inovasi ini dapat memberikan dampak yang besar terhadap pengelolaan pencemaran lingkungan sesuai dengan regulasi dan peraturan-peraturan pemerintah, seperti UU Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. UU ini berisi upaya sistematis dan terpadu yang dilakukan untuk melestarikan fungsi lingkungan hidup dan mencegah terjadinya pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup yang meliputi perencanaan, pemanfaatan, pengendalian, pemeliharaan, pengawasan, dan penegakan hukum. Selain itu,

Peraturan Pemerintah Nomor 27 Tahun 2012 yang menyatakan adanya persyaratan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup (AMDAL) atau Upaya Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Upaya Pemantauan Lingkungan Hidup (UKL-UPL) dalam rangka perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup secara berkelanjutan, agar menerapkan konsep bioremediasi berbasis tanaman hiperakumulator.

VI. PENUTUP

Semakin meluasnya masalah pencemaran lingkungan dan risikonya maka urgensi mencari solusi harus menjadi prioritas. Pemanfaatan tanaman hiperakumulator dan teknik fitoremediasi adalah salah satu solusi yang dapat ditawarkan. Konsep riset pemanfaatan tanaman hiperakumulator dan teknologi fitoremediasi, yang telah dibangun secara holistik dan terintegrasi dari riset hulu hingga aplikasi dan pemanfaatannya di lapangan, diyakini dapat menjadi solusi untuk membersihkan dan mengembalikan produktivitas lingkungan yang tercemar dan terdegradasi.

Pemahaman konsep fitoremediasi secara holistik, yang melibatkan berbagai disiplin, perlu dioptimalkan di Indonesia. Konsep dan kerangka pikir fitoremediasi berbasis sumber daya lokal tanaman akumulator secara holistik ini diharapkan dapat menjadi era baru bagi riset dan pengembangan ke depan. Jika temuan ini terus dikembangkan, diyakini akan terjadi perkembangan pesat dalam pemanfaatannya di masyarakat, baik tingkat petani, UKM sampai tingkat industri maupun pertambangan berskala besar. Kemajuan dalam pemahaman berbagai disiplin ilmu terkait, akan mempercepat perkembangan teknologi ini. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu lembaga atau kelompok riset untuk meneliti secara komprehensif dan mendalam mengenai pencemaran dan penanggulangannya di Indonesia. Sebagai teknologi yang sedang berkembang, fitoremediasi menarik banyak pihak termasuk peneliti dan pelaku usaha.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan penghargaan disampaikan kepada Presiden Republik Indonesia atas penetapan penulis sebagai Peneliti Ahli Utama; Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc.; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Ir. Bambang Subiyanto, M.Agr.; Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset LIPI, Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani, D.E.A.; serta Tim Penelaah Naskah Orasi, Prof. Dr. Gono Semiadi, Prof. Dr. I. Made Suidiana, dan Prof. Dr. Ir. Budi Marwoto, M.S. yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan naskah orasi ini.

Ucapan terima kasih dan penghargaan juga disampaikan kepada Plt. Deputy Ilmu Pengetahuan Hayati LIPI, Dr. Yan Rianto M.Eng.; Kepala Biro Sumber Daya Manusia (BOSDM) LIPI Dr. Heru Santoso, M.App.Sc.; Sekretaris Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia LIPI, Rr. Nur Tri Aries Suestiningtyas, S.IP., M.A.; Kepala Pusat Penelitian Biologi LIPI, Dr. Atit Kanti, M.Sc.; Kepala Bidang Botani Pusat Penelitian Biologi LIPI, Dr. Atik Retnowati; serta Deputy Ilmu Pengetahuan Hayati LIPI periode 2014–2019, Prof. Dr. Enny Sudarmonowati, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyampaikan orasi profesor riset di tempat yang terhormat ini.

Penghargaan dan ucapan terima kasih disampaikan pula kepada Direktur Lembaga Biologi Nasional terdahulu Dr. Setijati Sastrapradja, Bapak/Ibu Kepala Pusat Penelitian Biologi LIPI terdahulu, Dr. Sampurno Kadarsan (alm.), Dr. Sutikno Wirjoatmodjo (alm.), Dr. Arie Budiman (alm.), Prof. Dr. Dedy Darnaedi, Dr. Ir. Siti Nuramaliati Prijono, Dr. Ir. Bambang

Sunarko, dan Dr. Ir. Witjaksono, M.Sc.; serta Kepala Bidang Botani terdahulu, Dr. Joeni Setijo Rahajoe.

Para guru dan dosen, khususnya Prof. Dr. Soleh Solahuddin (Alm.) selaku pembimbing program S1; Dr. Don Drennan selaku pembimbing program S2, dan Dr. Mike Dennett selaku pembimbing program S3. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Prof. Takashi Tomiyasu dan Dr. Yuriko Hamada sebagai mitra kerja sama riset dari Kagoshima University, keluarga besar Laboratorium Fisiologi Tumbuhan, rekan peneliti yang pernah bersama-sama dalam tim riset fitoremediasi, Dr. Dwi Setyo Rini, Ir. Titi Juhaeti, M.Si., dan Dra. Fauzia Syarif, serta seluruh karyawan Pusat Penelitian Biologi LIPI yang telah memberikan dukungannya.

Penghargaan dan terima kasih disampaikan kepada kedua orang tua, H. Muhammad Tohir (alm.) dan Hj. Asma yang telah merawat dan mendidik dengan penuh keikhlasan dan kasih sayang; seluruh keluarga besar Bp. M. Tohir; suami tercinta, Dr. Ir. Chalid Talib, M.Si.; anak-anak tersayang, Muhammad Fachrial Talib, S.Tp.; Muhammad Firly Talib, S.Tk., dan Muhammad Chairil Talib, menantu, serta cucu-cucu yang dengan setia selalu memberikan dukungan dan doa.

Mengakhiri orasi ini, dengan kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada panitia pengukuhan orasi profesor LIPI dan para hadirin sekalian. Mohon maaf atas segala kekhilafan dan kekurangan, semoga Allah Swt. senantiasa melimpahkan rahmat, taufik, dan rida-Nya kepada kita sekalian. Aamiin.

Wabillahi taufik wah hidayah,

Wassalamu'alaikum warakhmatullahi wabarakaatuh.

DAFTAR PUSTAKA

1. Miseri RA, Santoso AZPB, Novianto I. Dampak asap kendaraan bermotor terhadap kadar timbal (Pb) dalam tanah dan tanaman di sekitar jalan raya Palimanan Cirebon. Dalam: Prosiding Kongres Nasional VII Himpunan Ilmu Tanah Indonesia: Pemanfaatan Sumberdaya Tanah Sesuai dengan Potensinya Menuju Keseimbangan Lingkungan Hidup dalam Rangka Meningkatkan Kesejahteraan Rakyat; 2–4 November 1999; Bandung: Himpunan Ilmu Tanah Indonesia; 2000. 1457–1466.
2. Effendi H. Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan. Yogyakarta: Penerbit Kanisius; 2003.
3. Kasno A, Adiningsih SJ, Sulaeman, Subowo. Status pencemaran Pb dan Cd pada lahan sawah intensifikasi jalur Pantura Jawa Barat. Prosiding Kongres Nasional VII Himpunan Ilmu Tanah Indonesia: Pemanfaatan Sumberdaya Tanah Sesuai dengan Potensinya Menuju Keseimbangan Lingkungan Hidup dalam Rangka Meningkatkan Kesejahteraan Rakyat; 2–4 November 1999; Bandung: Himpunan Ilmu Tanah Indonesia; 2000. 1537–1546.
4. Darmono. Lingkungan hidup dan pencemaran: hubungannya dengan toksikologi senyawa logam. Jakarta: Universitas Indonesia Press; 2001.
5. Garbisu C, Alkorta I. Basic concepts on heavy metal soil bioremediation. *Eur.J.Min.Proc. & Environ. Protect* 2003; 3: 58–66.
6. Morel JL, Echevarria G, Goncharova N. *Phytoremediation of metal-contaminated soils. the Netherlands* : Springer; 2006: 356 hlm.
7. United Nations Environment Programme (UNEP). 2011. Annual Reports. 116 hlm.
8. United States Environment Protection Agency (USEPA). Mercury Emmision: The Global Context; 2017 [Diakses pada 20 Mei 2019]. Diakses dari <https://www.epa.gov/international-cooperation/mercury-emissions-global-context> à mohon dilengkapi tanggal akses karena saat dicek website sudah tidak aktif.

9. Heryando P. Pencemaran dan toksikologi logam berat. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta; 2004.
10. Wislocka W, Krawczyk J, Klink A, Morrison L. Bioaccumulation of heavy metals by selected plant species from uranium mining dumps in the Sudety Mts., Poland. *Polish J. of Envir. Stud.* 2006; 15(5): 811–818.
11. **Hidayati N.** Fitoremediasi dan potensi tumbuhan hiperakumulator. *Jurnal Hayati* 2005; 2(1): 35–40.
12. **Hidayati N.** Fitoremediasi dan prospeknya. Dalam: Rahmansyah M, Hidayati N, Juhaeti T, editor. *Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambang-an emas.* Jakarta: LIPI Press; 2009: 13–18.
13. **Hidayati N.** Mekanisme fisiologis tumbuhan hiperakumulator logam berat. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 2013; 14(2): 75–82.
14. Kramer U, Chardonens AN. The use of transgenic plants in the bioremediation of soils contaminated with trace elements. *Appl. Microbiol. Biotechnol* 2001; 55: 661–672.
15. Manara A. Dalam: A Furini, editor. *Plants and heavy metals.* Springer Briefs in Molecular Science Biometals. New York: Springer; 2012. DOI: 10.1007/978-94-007-4441-72.
16. Ebbs S, Kochian L, Lasat M, Pence N, Jiang T. An integrated investigation of the phytoremediation of heavy metal and radionuclide contaminated soils: From laboratory to the field. Dalam: Wise DL, Trantolo DJ, Cichon EJ, Inyang HI, Stottmeister U, editor. *Bioremediation of cotaminated soils.* New York: Marcek Dekker Inc.; 2000. 745–769.
17. Lai HY, Su SW, Guo HY, Chen ZS. Heavy metals contaminated soils and phytoremediation strategies in Taiwan. Dalam: Pascucci S, editor. *Soil Contamination*; 2011.
18. Wise DL, Trantolo DJ, Cichon EJ, Inyang HI, Stottmeister U, editor. *Bioremediation of cotaminated soils.* New York: Marcek Dekker Inc.; 2000.

19. Rodríguez CV, Gutiérrez GA, Canales J, Cañas RA, Kirby EG, Avila C, Cánovas FM. Poplar trees for phytoremediation of high levels of nitrate and applications in bioenergy. *Plant Biotechnol J*. Januari 2016;14(1): 299–312. doi: 10.1111/pbi.12384.
20. Juhaeti T, Syarif F, **Hidayati N**. Inventarisasi jenis tumbuhan hipertoleransi tailing limbah pengolahan emas PT. Antam Pongkor. *Biodiversitas: Journal of Biological Diversity* 2005; 5(3): 20–24.
21. Juhaeti T, Syarif F, **Hidayati N**. Characterisation of potential plants for phytoremediation of degraded areas. *Biodiversitas: Journal of Biological Diversity* 2005; 6(1): 31–33.
22. Juhaeti T, Syarif F, **Hidayati N**. Potensi tumbuhan liar dari lokasi penampungan limbah tailing PT Antam Cikotok untuk fitoremediasi lahan tercemar sianida. *Jurnal Teknologi Lingkungan (BPPT Edisi Khusus Hari Lingkungan Hidup)* Juli 2006; 8(1): 174–180.
23. **Hidayati N**, Juhaeti T, Syarif F, Sambas EN. Pencemaran dan kondisi lingkungan tercemar limbah penambangan emas. Dalam: Rahmansyah M, N Hidayati, T Juhaeti, editor. *Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambangan emas*. Jakarta: LIPI Press; 2009. 5–12.
24. **Hidayati N**, Naiola BP, Sambas EN, Syarif F, Sudiana M, Suciati-mih, Juhaeti T, Suhardjono Y. Perubahan bioekofisik lahan bekas penambangan emas di Jampang dan metode pendekatannya untuk reklamasi. Dalam: Abdulhadi R, Siregar M, Hidayati N, editor. *Reklamasi Lahan Bekas Penambangan di Jampang*. Bogor: Puslitbang Biologi LIPI; 2000. 3–18.
25. **Hidayati N**, Juhaeti T, Syarif F. Status Hara Tanah Pasca Reklamasi. Dalam: Abdulhadi R, Siregar M, Hidayati N, editor. *Reklamasi Lahan Bekas Penambangan di Jampang*. Bogor: Puslitbang Biologi LIPI; 2000. 75–88.
26. **Hidayati N**. Perubahan iklim mikro pasca reklamasi lahan bekas penambangan emas Jampang. Dalam: Abdulhadi R, Siregar M, Hidayati N, editor. *Reklamasi Lahan Bekas Penambangan di Jampang*. Bogor: Puslitbang Biologi LIPI; 2000. 142–150.

27. **Hidayati N**, Syarif F. Dampak reklamasi terhadap kondisi fisik, kimia dan biologi lahan terdegradasi oleh penambangan emas. *Jurnal Gakuryoku* 2000; 6(2): 143–148.
28. Sambas EN, **Hidayati N**, Juhaeti T, Syarif F. Tumbuhan berpotensi akumulator di lingkungan penambangan emas. Dalam: Rahmansyah M, Hidayati N, Juhaeti T, editor. *Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambangan emas*. Jakarta: LIPI Press; 2009. 33–46.
29. Syarif F, Juhaeti T, **Hidayati N**, Hidayat S. Jenis rumput-rumputan berpotensi akumulator. Dalam: Rahmansyah M, Hidayati N, Juhaeti T, editor. *Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambangan emas*. Jakarta: LIPI Press; 2009. 47–70.
30. Syarif F, **Hidayati N**, Juhaeti T. Tumbuhan berdaun lebar berpotensi akumulator. Dalam: Rahmansyah M, Hidayati N, Juhaeti T, editor. *Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambangan emas*. Jakarta: LIPI Press; 2009. 71–99.
31. Juhaeti T, **Hidayati N**, Syarif F, Hidayat S. Tumbuhan air berpotensi akumulator. Dalam: Rahmansyah M, Hidayati N, Juhaeti T, editor. *Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambangan emas*. Jakarta: LIPI Press; 2009: 101–112.
32. **Hidayati N**, Juhaeti T, Syarif F. Mercury and cyanide contaminations in gold mine environment and possible solution of cleaning up by using phytoextraction. *Jurnal Hayati* 2009; 16(3): 88–94.
33. **Hidayati N**. Degradasi lahan pasca penambangan emas dan upaya reklamasinya: Kasus penambangan emas di Jampang-Sukabumi. *Prosiding Kongres Nasional VII Himpunan Ilmu Tanah Indonesia (HITI)*; 2–4 November 1999; Bandung. 283–294.
34. **Hidayati N**. Environmental degradation and biological reclamation of mined land: Cases of gold mining in Jampang-West Java. *Proceeding Workshop on Vegetation Recovery in Degraded Land Areas*. 27 Oktober–3 November 2001; Kalgoorlie, Western Australia. 57–66.

35. Rahmansyah M, **Hidayati N**, Juhaeti T, editor. Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambangan emas. Jakarta: LIPI Press; 2009: 163 hlm.
36. **Hidayati N**, Saefudin. Potensi hipertoleransi dan serapan beberapa jenis tumbuhan pada limbah penambangan emas. *Jurnal Biologi Indonesia* 2005; 3(9): 351–359.
37. **Hidayati N**, Juhaeti T, Syarif F. Tumbuhan hiperakumulator. Dalam: Rahmansyah M, Hidayati N, Juhaeti T, editor. Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambangan emas. Jakarta: LIPI Press; 2009. 19–32.
38. **Hidayati N**, Syarif F, Juhaeti T. Performan dan akumulasi merkuri *Cyperus monocephala* Endl. dan *Digitaria radicata* Presl. Miq. yang ditanam pada media terkontaminasi merkuri dengan perlakuan kelat dan pH. *J. Biologi Indonesia* 2008; 5(4): 453–468.
39. Juhaeti T, **Hidayati N**, Syarif F. Pertumbuhan dan akumulasi merkuri berbagai jenis tumbuhan yang ditanam pada media limbah penambangan emas dengan perlakuan berbagai tingkat konsentrasi merkuri dan kelat amonium tiosulfat. *Berita Biologi* 2009; 9(5): 529–538.
40. **Hidayati N**. Potensi *Enterolobium cyclocarpum* (Willd.) Griseb dan *Centrosema pubescens* Benth. sebagai akumulator pencemar merkuri. *Jurnal Berita Biologi* 2012; 11(1): 15–19.
41. **Hidayati N**, Syarif F, Juhaeti T. Pemanfaatan *Salvinia molesta* D.S. Mitchell, akumulator merkuri di sawah tercemar limbah penambangan emas. *Jurnal Teknik Lingkungan BPPT* 2009; 10(3): 249–256.
42. **Hidayati N**, Juhaeti T, Syarif F. Efektivitas EDTA (Ethylene diamine tetracetate acid) dalam meningkatkan akumulasi timbal pada *Saccharum spontaneum* yang tumbuh di limbah penambangan. *Jurnal Biologi Indonesia* 2006; 4(1): 29–37.
43. **Hidayati N**, Rini DS. Possible solution of cleaning up heavy metals contamination in agriculture area using accumulator plants. Dalam: *Proceeding The 7th International Symposium for*

Sustainable Humanosphere (ISSH); 1–2 November 2017; Bogor. 83–92.

44. Juhaeti T, **Hidayati N**, Hidayat S. Fitoremediasi kontaminan merkuri: studi kasus upaya mengatasi pencemaran di lahan sawah yang tercemar merkuri penambangan emas rakyat. Prosiding Seminar Nasional Pertanian Ramah Lingkungan; 29 Mei 2013; Litbang Pertanian, Cimanggu. 595–607.
45. **Hidayati N**. Pemanfaatan tumbuhan akumulator *indigenous* untuk fitoremediasi di lingkungan penambangan emas. Seminar Nasional Bioremediasi ke-3; 23–24 Oktober 2013; Bogor.
46. Juhaeti T, **Hidayati N**, Syarif F, Hidayat S. Model Fitoremediasi. Dalam: Rahmansyah M, Hidayati N, Juhaeti T, editor. Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambangan emas. Jakarta: LIPI Press; 2009. 113–134.
47. Juhaeti T, **Hidayati N**, Syarif F. Uji potensi tumbuhan akumulator merkuri untuk fitoremediasi lingkungan tercemar akibat kegiatan penambangan emas tanpa izin (PETI) di kampung Leuwi Bolang, Desa Bantar Karet, Kecamatan Nanggung, Bogor. Jurnal Biologi Indonesia 2009; 6(1): 1–12.
48. Abdulhadi R, **Hidayati N**, Siregar M, editor. Reklamasi Lahan Bekas Penambangan di Jampang. Bogor: Puslitbang Biologi LIPI; 2000. 160 hlm.
49. Kono Y, Rahajoe JS, Hidayati N, Kanzaki R, Kodamatani H, Tomiyasu T. One-site measurements of atmospheric mercury around a small-scale gold mining area along the Cikaniki River, Indonesia. Society of Environmental Toxicology and Chemistry Asia Pacific Annual Meeting (SETAC AP); 2012.
50. Kono Y, Rahajoe JS, **Hidayati N**, and Tomiyasu T. Distribution of mercury in river water around artisanal and small-scale gold mining areas in West Java, Indonesia. International Conference on Mercury as a Global Pollutant (ICMGP). Korsel, 14–19 May 2015.

51. Tomiyasu T, Kono Y, Kodamatani H, **Hidayati N**, Rahajoe JS. The distribution of mercury around the small-scale gold mining area along the Cikaniki river, Bogor, Indonesia. *Environmental Research* 2013; 125: 12–19.
52. **Hidayati N**. The use of green plants to clean up heavy metals contamination (Hg, Pb, Cd): An overview. *International Conference on Tropical Plant Conservation and Utilization*; 18–20 June 2017; Bogor.
53. Tomiyasu T, Kono Y, Kodamatani H, **Hidayati N**, Rahajoe JS. The distribution of mercury around the small-scale gold mining area along the Cikaniki river, Bogor, Indonesia. *Environmental Research* 2013; 125: 12–19.
54. Tomiyasu T, Kodamatani H, Kono Y, Matsuyama A, Imura R, **Hidayati N**, Rahajoe JS. Distribution of total mercury and methylmercury around the small-scale gold mining area along the Cikaniki River, Bogor, Indonesia. *Environmental Science and Pollution Research J. Environment Science and Pollution* 2017; 24(3): 2643–52. DOI 10.1007/s 11356-016-7998-x.
55. Minguzzi C, Vergano O. II. Contenuto di nichel nelle ceneri di *Allysum bertolonii*. *Desv. Memorie Societa Toscana Di Scienze Naturali Serie A* 1948; 55: 49–77.
56. **Hidayati N**, Syarif F, Juhaeti T. Potensi *Centrosema pubescens*, *Calopogonium mucunoides* dan *Mikania cordata* dalam membersihkan logam kontaminan pada limbah penambangan emas. *Biodiversitas* 2006; 7(1): 4–6.
57. Syarif F, **Hidayati N**, Juhaeti T. Potensi hipertoleransi *Calopogonium mucunoides* Desv, *Centrosema pubescens* Benth dan *Cajanus cajan* (L.) Millsp yang tumbuh pada limbah penambangan emas. terkontaminasi sianida dan merkuri. *Jurnal Biologi Indonesia* 2007; 4(4): 239–247.
58. **Hidayati N**, Juhaeti T, Syarif F. Potensi hiperakumulator *Saccharum spontaneum* pada limbah tailing terkontaminasi sianida. *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati* 2008; 13(2): 97–105

59. **Hidayati N**, Syarif F, Juhaeti T. Potensi hiperakumulasi *Saccharum spontaneum* pada limbah tailing terkontaminasi sianida. Kipnas LIPI: Harmonisasi Iptek, Alam, dan Budaya Menuju Masyarakat Sejahtera; 22–23 November 2007; Jakarta: LIPI.
60. Tomiyasu T, Bransano C, Hamada Y, Kodamatani H, Kanzaki R, **Hidayati N**, Rahajoe JS. Distribution of total and organic mercury concentrations in soils around ASGM area, West Java, Indonesia, and dependence of mercury concentrations on organic matter content. International Conference on Mercury as a Global Pollutant (ICMGP); 16–21 Juli 2017; Rhode island, USA.
61. Gunradi R, Sukmana TZ, Nixon. Laporan penyelidikan pemantauan unsur Hg (merkuri) akibat penambangan emas tanpa ijin (PETI) di Daerah Pongkor, Jawa Barat, dengan pemetaan geokimia. Koordinator Urusan Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Jawa Barat; 2000.
62. Hidayati N, Yulintina RD, Nuzula S, Nurjanah S, Dewi SP. Toksikologi lingkungan logam berat merkuri (Hg). Yogyakarta: Politeknik Kesehatan Yogyakarta, Jurusan Kesehatan Lingkungan; 2012. 13 hlm.
63. Kono K, Rahajoe JS, **Hidayati N**, Kodamatani H, Tomiyasu T. Distribution of dissolved mercury in river water around artisanal and small-scale gold mining areas in West Java, Indonesia. The 11th International Conference on Mercury as a Global Pollutant; 26–27 Juli 2013; Birmingham, UK.
64. Kono Y, Rahajoe JS, **Hidayati N**, Kodamatani H, Tomiyasu T. Using native epiphytic ferns to estimate the atmospheric mercury levels in a small-scale gold mining area of West Java, Indonesia. *Chemosphere Journal* 2012; 89(3): 241–248.
65. Kono Y, **Hidayati N**, Rahajoe JS, Kodamatani H, Kanzaki R, Tomiyasu T. Estimation of atmospheric mercury levels with native epiphytic ferns in small-scale gold mining area, West Java, Indonesia. The 10th International Conference on Mercury as a Global Pollutant (ICMGP); 7 Juni 2011; Canada.

66. Tomiyasu T, Hamada YK, Baransano C, Kodamatani H, Matsuyama A, Imura R, **Hidayati N**, Rahajoe JS. Mercury concentration in paddy field soil and freshwater snails around a small-scale gold mining area, West Java, Indonesia. *Toxicology and Environmental Health Sciences* 2020; 12(1): 1-9. DOI: 10.1007/s13530-020-00045-7.
67. Tomiyasu T, Kodamatani H, Kono Y, Matsuyama A, Imura R, **Hidayati N**, Rahajoe JS. Distribution of total mercury and methylmercury around the small-scale gold mining area along the Cikaniki River, Bogor, Indonesia. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017; 24(3): 2643–52. DOI 10.1007/s 11356-016-7998-x. ISSN 0944-1344 P.
68. Tomiyasu T, Hamada YK, Kodamatani H, **Hidayati N**, Rahajoe JS. Transport of mercury species by river from artisanal and small-scale gold mining in West Java, Indonesia. *Journal of Environmental Science and Pollution Research* 2019; 26(24): 25262–74. Ref.: Ms. No. ESPR-D-18-10081R1. DOI: 10.1007/s11356-019-05718-6.
69. Tomiyasu T, Hamada YK, Baransano C, Kodamatani H, Matsuyama A, Imura R, **Hidayati N**, Rahajoe JS. Mercury concentrations in paddy field soil and freshwater snails around a small-scale gold mining area along the Cikaniki River, West Java, Indonesia. *Journals Toxicology and Environmental Health Sciences* 2020; 12: 23–29.
70. Peraturan Pemerintah RI No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Perairan. Jakarta: Sekretaris Negara Republik Indonesia.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Paparan Logam Berat Hg, Pb, dan Cd Hasil Pengukuran di Beberapa Lokasi^{2,4,9,43,70}

No.	Lokasi dan Jenis Sampel	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Hg (ppm)
1	Karawang – Bekasi			
	- Air sungai dan irigasi	1,40–39,32	0,50–2,83	
	- Tanah sawah dan sedimen	16,33–71,16	0,50–6,40	
	- Beras/gabah	1,50–47,80	0,50–2,65	
2	Palimanan, Cirebon			
	- Lahan pertanian	30,08		
	- Padi/gabah			
	Brebes-Tegal			
	- Lahan pertanian		1,83	
	- Bawang merah	2,46–3,67	0,135–0,285	
3	Pongkor			
	- Sedimen sungai			0–178,75
	- Sedimen kolam PETI			62,27–598,14
	- Tanah sawah			7,73–88,712
	- Air Sungai			0–99,40
	- Padi/gabah			0,45–
	- Jerami padi			5,34
4	Lombok Tengah, NTB			
	- Sungai dan tailing			3,48–692,35
	- Tanah			0,7–3,0

Lampiran 2. Nilai Baku Mutu Timbal (Pb), Kadmium (Cd), dan Merkuri (Hg)^{2,4,9,43,70}

No.	Unsur	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Hg (ppm)
1	Air	0,08–2,0	0,05–0,1	0,0005–0,001
2	Tanah	1,0–100	0,1–10,0	0,005–1,80
3	Sayuran	2,0	0,1	0,1
4	Padi	2,0	0,24	0,05–0,1

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Buku

1. Rahmansyah M, **Hidayati N**, Juhaeti T. Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambangan emas. Jakarta: LIPI Press; 2009. 143 hlm.
2. Abdulhadi R, **Hidayati N**, Siregar M. Reklamasi lahan bekas penambangan di Jampang. Puslitbang Biologi LIPI; 2000. 160 hlm.
3. **Hidayati N**, Talib C. Tanah kritis pencegahan dan pemulihannya. Ende, Flores: Penerbit Nusa Indah; 1994. 60 hlm.

Bagian dari Buku

4. **Hidayati N**, Juhaeti T, Syarif F, Sambas EN. Pencemaran dan kondisi lingkungan tercemar limbah penambangan emas. Dalam: Rahmansyah M, Hidayati N, Juhaeti T, editor. Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambangan emas. Jakarta: LIPI Press; 2009. 5–12.
5. **Hidayati N**. Fitoremediasi dan prospeknya. Dalam: Rahmansyah M, Hidayati N, Juhaeti T, editor. Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambangan emas. Jakarta: LIPI Press; 2009. 13–18.
6. **Hidayati N**, Juhaeti T, Syarif F. Tumbuhan hiperakumulator. Dalam: Rahmansyah M, Hidayati N, Juhaeti T, editor. Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambangan emas. Jakarta: LIPI Press; 2009: 19–32.
7. Sambas EN, **Hidayati N**, Juhaeti T, Syarif F. Tumbuhan berpotensi akumulator di lingkungan penambangan emas. Dalam: Rahmansyah M, Hidayati N, Juhaeti T, editor. Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambangan emas. Jakarta: LIPI Press; 2009. 33–46.

8. Syarif F, Juhaeti T, **Hidayati N**, Hidayat S. Jenis rumput-rumputan berpotensi akumulator. Dalam: Rahmansyah M, Hidayati N dan Juhaeti T, editor. Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambangan emas. Jakarta: LIPI Press; 2009: 47–70.
9. Syarif F, **Hidayati N**, Juhaeti T. Tumbuhan berdaun lebar berpotensi akumulator. Dalam: Rahmansyah M, Hidayati N dan Juhaeti T, editor. Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambangan emas. Jakarta: LIPI Press; 2009. 71–99.
10. Juhaeti T, **Hidayati N**, Syarif F, Hidayat S. Tumbuhan air berpotensi akumulator. Dalam: Rahmansyah M, Hidayati N, Juhaeti T, editor. Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambangan emas. Jakarta: LIPI Press; 2009. 101–112.
11. Juhaeti T, **Hidayati N**, Syarif F, Hidayat S. Model fitoremediasi. Dalam: Rahmansyah M, Hidayati N, Juhaeti T, editor. Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambangan emas. Jakarta: LIPI Press; 2009. 113–134.
12. **Hidayati N**, Naiola BP, Sambas EN, Syarif F, Sudiana M, Suciathim, Juhaeti T, Suhardjono Y. Perubahan bioekofisik lahan bekas penambangan emas di Jampang dan metode pendekatannya untuk reklamasi. Dalam: Abdulhadi R, Hidayati N, Siregar M, editor. Reklamasi lahan bekas penambangan di Jampang. Puslitbang Biologi LIPI; 2000. 3–18.
13. **Hidayati N**, Syarif F, Suciathim. Pertumbuhan tanaman Puspa (*Schima wallichii*), Damar (*Agathis dammara*) dan Manii (*Mae-sopsis eminii*) dengan perlakuan pemupukan di hutan terdegradasi Bojong Pari. Dalam: Abdulhadi R, Hidayati N, Siregar M, editor. Reklamasi lahan bekas penambangan di Jampang. Puslitbang Biologi LIPI; 2000. 51–58.
14. **Hidayati N**, Juhaeti T, Syarif F. Status hara tanah pasca reklamasi. Dalam: Abdulhadi R, Hidayati N, Siregar M, editor. Reklamasi lahan bekas penambangan di Jampang. Puslitbang Biologi LIPI; 2000. 75–88.

15. **Hidayati N.** Perubahan iklim mikro pasca reklamasi lahan bekas penambangan emas Jampang. Dalam: Abdulhadi R, Hidayati N, Siregar M, editor. Reklamasi lahan bekas penambangan di Jampang. Puslitbang Biologi LIPI; 2000. 142–150.
16. Sumarnie, Utami NW, Praptiwi, Trimurningsih, **Hidayati N.** Pengumpulan data fisiologi tumbuhan. Dalam: Rugayah, Widjaja EA, Praptiwi. Pedoman pengumpulan data keanekaragaman flora. Bogor: Pusat Penelitian Biologi LIPI; 2004.
17. **Hidayati N.** Begonia Rajah. Dalam: Tanaman hias dalam ruangan di Indonesia. PROSEA; 2006: 42–43.

Jurnal Internasional

18. Tomiyasu T, Hamada YK, Baransano C, **Hidayati N**, Rahajoe JS. Time variation in transfer amounts of mercury by a river system near an artisanal and small-scale gold mining area in West Java, Indonesia. *Environmental Earth Sciences* Desember 2019; 78(24): 686. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8727>.
19. Tomiyasu T, Hamada YK, Kodamatani H, **Hidayati N**, Rahajoe JS. Transport of mercury species by river from artisanal and small-scale gold mining in West Java, Indonesia. *Environmental Science and Pollution Research* Agustus 2019; 26(24): 25262–74. Ref.: Ms. No. ESPR-D-18-10081R1. DOI: 10.1007/s11356-019-05718-6.
20. Darmadi D, Junaedi A, Sopandie D, Supijatno, Lubis I, Homma K, **Hidayati N.** Evaluation of water-saving rice status based on morphophysiological characteristics and water use efficiency. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 3 September 2019; 20(10): 2815–2823.
21. Tomiyasu T, Hamada YK, Baransano C, Kodamatani H, Matsuyama A, Imura R, **Hidayati N**, Rahajoe JS. Mercury concentrations in paddy field soil and freshwater snails around a small-scale gold mining area along the Cikaniki River, West Java, Indonesia. *Journals Toxicology and Environmental Health Sciences* 10 Maret 2020. 1–7.

22. Tomiyasu T, Kodamatani H, Kono Y, Matsuyama A, Imura R, **Hidayati N**, Rahajoe JS. Distribution of total mercury and methyl mercury around the small-scale gold mining area along the Cikaniki River, Bogor, Indonesia. *Environment Science and Pollution Research* Januari 2017; 24(3): 2643–52. DOI 10.1007/s11356-016-7998-x. ISSN 0944-1344 P.
23. Tomiyasu T, Kono Y, Kodamatani H, **Hidayati N**, Rahajoe JS. The distribution of mercury around the small-scale gold mining area along the Cikaniki river, Bogor, Indonesia. *Environmental Research* Agustus 2013; 125: 12–19.
24. Ramansyah M, **Hidayati N**, Juhaeti T and Sugiharto A. Mixed of bio-inorganic fertilizer used to productivity improvement of well-adapted variety of local maize (*Zea mays ceratina* L.). *ARPN: Journal of Agriculturan and Biological Science (JABS)* 2013; 8(3). 233–240.
25. Kono Y, Rahajoe JS, **Hidayati N**, Kodamatani H, Tomiyasu T. Using native epiphytic ferns to estimate the atmospheric mercury levels in a small-scale gold mining area of West Java, Indonesia. *Chemosphere* 2012; 89(3): 241–248.
26. **Hidayati N**, Mansur M, Juhaeti T. Physiological characteristic related to carbon sequestration of tree species in highland forest ecosystem of Halimun-Salak National Park. *Journal of Forestry Research* 2012; 9(2): 49–62.
27. Herdiawan I, Abdullah L, Sopandie D, Karti PDMH, **Hidayati N**. Morphological characteristics of *Indigofera zollingeriana* at different levels of drought stress and interval pruning. *Indonesian Journal of Animal and Veterinary Science (JITV)* 2012; 17(4): 276–283.
28. **Hidayati N**, Dennett MD, Talib C. Developmental stages and partitioning of assimilates to different plant organs of *Vicia faba* L assessed by simulated model. *Indonesian Journal of Crop Science* 1997; 12(1): 30–36.

Jurnal Nasional

29. **Hidayati N**, Syarif F. Pertumbuhan dan produksi tanaman jiwawut [*Setaria italica* (L.) P. Beauv.] pada perlakuan dosis radiasi dengan pengurangan frekuensi penyiraman untuk seleksi toleran kekeringan. *Jurnal Biologi Indonesia* 2019; 15(2): 177–185.
30. **Hidayati N**, Juhaeti T, Syarif F. Respon fisiologis dan pertumbuhan cacao (*Theobroma cacao*), kopi (*Coffea arabica*), karet (*Havea brasiliensis*) dan cengkih (*Zysigium aromaticum*) fase bibit terhadap naungan dan pemupukan. *Jurnal Biologi Indonesia* 2015; 11(1): 31–40.
31. **Hidayati N**, Mansur M, Juhaeti T. Variasi serapan karbondioksida (CO₂) jenis-jenis pohon di "Ecopark", Cibinong dan kaitannya dengan potensi mitigasi gas rumah kaca. *Buletin Kebun Raya* 2014; 16(1): 38–50.
32. Juhaeti T, **Hidayati N**, Rahmansyah M. Pertumbuhan dan produksi jagung pulut lokal Sulsel yang ditanam di polibag pada berbagai kombinasi pupuk organik. *Jurnal Biologi Indonesia* 2013; 9(2): 219–232.
33. Herdiawan I, Abdullah L, Sopandie D, Karti PDMH, **Hidayati N**. Respon fisiologis tanaman pakan *Indigofera zollingeriana* pada berbagai tingkat cekaman kekeringan dan interval pemangkasan. *Indonesian Journal of Animal and Veterinary Science (JITV)* 2013; 18(1): 54–62.
34. **Hidayati N**. Mekanisme fisiologis tumbuhan hiperakumulator logam berat. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 2013; 14(2): 75–82.
35. Mansur M, **Hidayati N**, Juhaeti T. Struktur dan komposisi vegetasi pohon serta estimasi biomasa, kandungan karbon dan laju fotosintesis di Taman Nasional Gunung Halimun-Salak. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 2011; 12(2): 161–169.
36. **Hidayati N**. Potensi *Enterolobium cyclocarpum* (Willd.) Griseb dan *Centrosema pubescens* Benth. sebagai akumulator pencemar merkuri. *Jurnal Berita Biologi* 2012; 11(1): 73–83.

37. **Hidayati N**, Sukamto LA, Juhaeti T. Pengujian ketahanan keke-
rangan pada tanaman Garut (*Maranta arundinacea* L.) hasil mu-
tasi dengan radiasi sinar gamma. *Jurnal Biologi Indonesia* 2012;
8(2): 303–316.
38. **Hidayati N**, Mansur M, Juhaeti T. Biological diversity contribu-
tion to reducing CO₂ in the atmosphere: CO₂ absorption of tree
species in lowland forest ecosystem of Pelabuhan Ratu-West
Jawa. *Berita Biologi Edisi khusus* 2012; 11(1-a): 113–122.
39. **Hidayati N**, Reza M, Mansur M, Juhaeti T. Serapan karbon-
dioksida (CO₂) jenis-jenis pohon di taman buah Mekar Sari Bo-
gor, kaitannya dengan potensi mitigasi gas rumah kaca. *Jurnal
Biologi Indonesia* 2011; 7(1): 133–155.
40. **Hidayati N**, Juhaeti T, Syarif F. Mercury and cyanide contamina-
tions in gold mine environment and possible solution of cleaning
up by using phytoextraction. *Hayati Journal of Biosciences* 2009;
16(3): 88–94.
41. Juhaeti T, **Hidayati N**, Syarif F. Pertumbuhan dan akumulasi
merkuri berbagai jenis tumbuhan yang ditanam pada media
limbah penambangan emas dengan perlakuan berbagai tingkat
konsentrasi merkuri dan kelat amonium tiosulfat. *Berita Biologi*
2009; 9(5): 529–538.
42. **Hidayati N**, Syarif F, Juhaeti T. Pemanfaatan *Salvinia molesta*
D.S. Mitchell, akumulator merkuri di sawah tercemar limbah
penambangan emas. *Jurnal Teknik Lingkungan BPPT* 2009;
10(3): 249–256.
43. Juhaeti T, **Hidayati N**, Syarif F, Hidayat S. Uji potensi tumbuhan
akumulator merkuri untuk fitoremediasi lingkungan tercemar aki-
bat kegiatan penambangan emas tanpa izin (PETI) di kampung
Leuwi Bolang, Desa bantar Karet, Kecamatan Nanggung, Bogor.
Jurnal Biologi Indonesia 2009; 6(1): 1–11.
44. **Hidayati N**, Juhaeti T, Syarif F. Potensi hiperakumulator *Saccha-
rum spontaneum* pada limbah tailing terkontaminasi sianida. *Bio-
ta: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati* 2008; 13(2): 97–105.

45. Syarif F, **Hidayati N**, Juhaeti T. Fitoekstraksi sianida pada *Centrosema pubescens* Benth yang tumbuh di limbah tailing terkontaminasi sianida. *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati* 2009; 14(1): 1–7.
46. **Hidayati N**, Syarif F, Juhaeti T. Performan dan akumulasi merkuri *Cyperus monocephala* Endl. dan *Digitaria radicata* Presl. Miq yang ditanam pada media terkontaminasi merkuri dengan perlakuan kelat dan pH. *Jurnal Biologi Indonesia* 2009; 5(4): 453–468.
47. Syarif F, **Hidayati N**, Juhaeti T. Potensi hipertoleransi *Calopogonium mucunoides* Desv, *Centrosema pubescens* Benth dan *Cajanus cajan* (L.) Millsp yang tumbuh pada limbah penambangan emas terkontaminasi sianida dan merkuri. *Jurnal Biologi Indonesia* 2007; 4(4): 239–247.
48. **Hidayati N**, Juhaeti T, Syarif F. Efektivitas EDTA (Ethylene diamine tetracetine Acid) dalam meningkatkan akumulasi timbal pada *Saccharum spontaneum* yang tumbuh di limbah penambangan. *Jurnal Biologi Indonesia* 2006; 4(1): 29–37.
49. **Hidayati N**, Syarif F, Juhaeti T. Potensi *Centrosema pubescens*, *Calopogonium mucunoides* dan *Mikania cordata* dalam membersihkan logam kontaminan pada limbah penambangan emas. *Biodiversitas, Journal of Biological Diversity* 2006; 7(1): 4–6.
50. Juhaeti T, Syarif F, **Hidayati N**. Potensi tumbuhan liar dari lokasi penampungan limbah tailing PT Antam Cikotok untuk fitoremediasi lahan tercemar sianida. *Jurnal Teknologi Lingkungan BPPT Edisi Khusus Hari Lingkungan Hidup* 2006: 191–197.
51. **Hidayati N**. Fitoremediasi dan potensi tumbuhan hiperakumulator. *Hayati Journal of Biosciences* 2005; 12(1): 35–40.
52. **Hidayati N**, Saefudin. Potensi hipertoleransi dan serapan beberapa jenis tumbuhan pada limbah penambangan emas. *Jurnal Biologi Indonesia* 2005; 3(9): 351–359.
53. Juhaeti T, Syarif F, **Hidayati N**. Inventarisasi jenis tumbuhan hipertoleran di tailing limbah pengolahan emas PT. Antam Pongkor. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 2005; 1(1): 36–38.

54. Juhaeti T, Syarif F, **Hidayati N**. Characterisation of potential plants for phytoremediation of degraded areas. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 2005; 6(1): 31–33.
55. **Hidayati N**. Pertumbuhan cabai (*Capsicum annum* L.) pada kondisi iklim yang berbeda. *Jurnal Ilmiah Pertanian Gakuryoku* 2004; 10(1): 81–85.
56. Syarif F, **Hidayati N**. Respon tanaman *Enterolobium cyclocarpum* Griseb, *Gmelina arborea* Roxb dan *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen terhadap cekaman air pada fase bibit. *Jurnal Ilmiah Pertanian Gakuryoku* 2003; 9(1): 9–12.
57. **Hidayati N**. Hubungan air dan tanaman dipelajari secara terintegrasi dengan model simulasi dinamik. *Berita Biologi* 2000; 5(2): 187–202.
58. **Hidayati N**, Syarif F. Dampak reklamasi terhadap kondisi fisik, kimia dan biologi lahan terdegradasi oleh penambangan emas. *Jurnal Ilmiah Pertanian Gakuryoku* 2000; 6(2): 143–148.
59. **Hidayati N**. Leaf area development of *Vicia faba* L. under different environmental conditions assessed by simulation model. *Jurnal Biologi Indonesia* 1999; 2(4): 163–177.
60. **Hidayati N**. Crop water use and potential production of *Vicia faba* L under contrasting water regimes by simulation. *Agrivita: Journal of Agricultural Science* 1997; 20(4): 228–231.

Prosiding Internasional

61. **Hidayati N**, Rini DS. Possible solution of cleaning up heavy metals contamination in agriculture area using accumulator plants. *Proceeding The 7th International Symposium for Sustainable Humanosphere (ISSH)*; 1–2 November 2017; Bogor; 4 Juli 2018. 83–92.
62. **Hidayati N**, Syarif F. Foxtail millet [*Setaria italica* (L.) P. Beauv], The Healthy cereal : Evaluation on nutrients, growth and response to fertilization of radiation induced mutants. *Proceeding International Symposium on Bioeconomics of Natural Resources Utilization (ISBINARU)*.; 12–14 October 2017; Bogor. 170–180.

63. Wijayanti ST, Sulistyawati E, Yustiana Y, **Hidayati N**. Characteristics of local tree species of Mount Papandayan in terms of nutrient absorption. Proceedings of the International Conference on Sustainable Forest Development in view of Climate Change (SFDCC); 8–11 Agustus 2016; Malaysia. 17–21.
64. Senoputri M, Sulistyawati E, Yustiana Y, **Hidayati N**. Native species characteristics of Mount Papandayan in terms of energy usage. Proceedings of the International Conference on Sustainable Forest Development in view of Climate Change (SFDCC); 8–11 Agustus 2016; Malaysia. 22–26.
65. Adzani T, Sulistyawati E, Yustiana Y, **Hidayati N**. Characteristics of local species in Mount Papandayan based on transpiration rate at leaf and canopy level. Proceedings of the International Conference on Sustainable Forest Development in view of Climate Change (SFDCC); 8–11 Agustus 2016; Malaysia. 62–65.
66. Prasetyo RT, Sulistyawati E, Yustiana Y, **Hidayati N**. CO₂ absorption capability of several local species of Mount Papandayan, Indonesia. Proceedings of the International Conference on Sustainable Forest Development in view of Climate Change (SFDCC); 8–11 Agustus 2016; Malaysia. 77–80.
67. Adelina LY, Sulistyawati E, Hadiyane A, **Hidayati N**. Tree species characteristic based on their capacity to decrease reflectance of solar radiation. The 6th International Conference on Mathematics and Natura Science; 2–3 November 2016; Institut Teknologi Bandung. 284–285.
68. Irsan MF, Sulistyawati E, Hadiyane A, **Hidayati N**. Transpiration capability of several local tree species of Bangka Belitung Island. The 6th International Conference on Mathematics and Natura Science; 2–3 November 2016; Institut Teknologi Bandung.
69. **Hidayati N**, Juhaeti T. Biological diversity contribution to reducing CO₂ in the atmosphere 5: CO₂ absorption of highland and lowland tree species at different level of light intensities. Proceeding The 6th International Symposium for Sustainable Humanosphere (ISSH); 15–16 November 2016; Bogor. 189–198.

70. **Hidayati N**, Mansur M, Juhaeti T. Biological diversity contribution to reducing carbondioxide (CO₂) in the atmosphere: CO₂ absorption and carbon sequestration of tree species in BOPUNJUR area-West Java, Indonesia. Dalam: Lee SS, Mas'ud AF, Siregar CA, Pratiwi, Mindawati N, Pari G, Turjaman M, Krisdianto, Krisnawati H, Siregar IZ, Laba W, Mardiasuti A, Wahyudi I. Celebrating a 100-year Forestry Research in Indonesia: Forestry Research for Sustainable Forest Management and Community Welfare. Prosiding 2nd International Conference of Indonesia Forestry Researcher INAFOR; 27–28 Agustus 2013; Jakarta. Jakarta: Kementerian Kehutanan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan; 2014. 379–396.
71. **Hidayati N**. Biological diversity contribution to reducing CO₂ in the atmosphere 4: CO₂ absorption of tree species for different purposes. Seminar Internasional Tropical Biology (BIOTROP); 3–4 Oktober 2013; Bogor.
72. **Hidayati N**, Juhaeti T, Mansur M. Biological diversity contribution to reducing CO₂ in the atmosphere I. International Seminar on Achieving Resilient-Agriculture to Climate Change through Development of Climate-Based Risk Management Scheme; 17–19 November 2009; Bogor.
73. **Hidayati N**. Environmental degradation and biological reclamation of mined land: Cases of gold mining in Jampang-West Java. Proceeding Workshop on Vegetation Recovery in Degraded Land Areas; 27 Oktober–3 November 2001; Kalgoorlie, Western Australia. 57–66.
74. Suciati, **Hidayati N**. Application of mycosymbiont and organic fertilizer on fast-growing legume trees for reclamation of degraded lands. Dalam: Smith FA, Janse JM. Proceedings of International Conference on Mycorrhizas in Sustainable Tropical Agriculture and Forest Ecosystems; 27–30 Oktober 1997; The University of Adelaide– Pusaat Penelitian Biologi LIPI. Bogor; 1999: 181–189.

Prosiding Nasional

75. **Hidayati N**, Syarif F. Evaluasi lima aksesori jiwawut lokal [*Setaria italica* (L.) P. Beauv]: Karakter pertumbuhan dan responnya terhadap pemupukan. Dalam: Hasby RM, Adawiah A, Yuliawati A, Paujiah E. Eksplorasi dan Pemanfaatan BIIDIVERSITAS Untuk Menghadapi Masyarakat Ekonomi ASEAN. Prosiding Seminar Nasional Biologi (SEMABIO); 31 Mei 2016. Bandung. Bandung: Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati; 2016. 226–233.
76. **Hidayati N**, Mansur M, Juhaeti T. Karakter fisiologi yang berkaitan dengan penyerapan CO₂ beberapa jenis pohon yang ditanam pada kondisi cahaya yang berbeda. Dalam: Yuzammi, Hadiah JT, Asikin D, Risna RA. Membangun Kebun Raya untuk Penyelamatan Keanekaragaman Hayati dan Lingkungan Menuju Ekonomi Hijau. Prosiding Ekspose dan Seminar Pembangunan Kebun Raya Daerah; April 2015. Bogor. Jakarta: LIPI Press; 2015. 735–746.
77. Juhaeti T, **Hidayati N**. Physiological and growth of rambutan, mango, durian and avocado seedlings on various light intensity and nitrogen fertilization (Respon fisiologi dan pertumbuhan bibit rambutan, mangga, durian dan alpukat terhadap berbagai intensitas cahaya dan pemupukan nitrogen). Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia Maret 2015; 1(4): 947–953.
78. Juhaeti T, **Hidayati N** dan Sukamto AL. Karakter Fisiologi Tumbuhan Garut (*Maranta arundinacea* L.) Hasil Induksi Mutasi Sinar Gamma untuk Ketahanan terhadap Kekeringan. Dalam: Prabowo RE, Maharning AR, Ardli ER, Pramono H, Wijayanti GE, Sastranegara MH, Sistina Y, editor. Peran Biologi dalam Pendayagunaan Bioresources Indonesia untuk Meningkatkan Daya Saing Bangsa Prosiding Seminar Nasional Biologi XXII Perhimpunan Biologi Indonesia; 31 Agustus–1 September 2013; Purwokerto. Purwokerto: Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman; 2014: 472–478.

79. **Hidayati N**, Juhaeti T, Sulianti SB. Performan fisiologis jagung pulut lokal Sulawesi Selatan (*Zea mays*) sebagai tanaman sela pada tegakan jati dengan berbagai kerapatan dan diberi perlakuan pupuk hayati. Dalam: Antonius S, Ermayanti TM, Nugroho S, Suryasari Y, Mulyaningsih ES, Wahyuni, Martin AF. Biore-sources Untuk Pembangunan Ekonomi Hijau. Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Unggulan Bidang Pangan Nabati; 25 September 2014; Bogor. Bogor: Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI. Desember 2015: 469–478.
80. Juhaeti T, **Hidayati N**, Hidayat S. Fitoremediasi kontaminan merkuri: Studi kasus upaya mengatasi pencemaran di lahan sawah yang tercemar merkuri penambangan emas rakyat. Prosiding Seminar Nasional Pertanian Ramah Lingkungan; 29 Mei 2013; Bogor. Cimanggu: Badan Litbang Pertanian. 595–607.
81. **Hidayati N**. Pemanfaatan tumbuhan akumulator *indigenous* untuk fitoremediasi di lingkungan penambangan emas. Seminar Nasional Bioremediasi ke-3; 23–24 Oktober 2013; IPB International Convention Center Bogor.
82. Juhaeti T, Sukamto LA, **Hidayati N**. Pengaruh media tanam terhadap pertumbuhan dan produksi Garut (*Maranta arundinacea* L.). Dalam: Melati M, Aziz SA, Efendi D, Armini NM, Sudarsono, Ekana'ul N, Al Tapsi S. Mendukung Kedaulatan Pangan dan energi yang Berkelanjutan. Prosiding Simposium dan Seminar Bersama PERAGI-PERHORTI-PERIPI-HIGI; 1–2 Mei 2012; Bogor. Bogor: Departemen Agronomi dan Hortikultural, Fakultas Pertanian IPB; 2012.
83. **Hidayati N**, Mansur M, Juhaeti T. Variasi serapan karbondioksida (CO₂) jenis-jenis pohon di Kebun Raya-Ecopark, Cibinong, kaitanya dengan potensi mitigasi gas rumah kaca. Prosiding Seminar Nasional "Konservasi Tumbuhan Tropika: Kondisi Terkini dan tantangan Ke Depan" Kebun Raya Cibodas; 7 April 2011; Bogor. Bogor; Kebun Raya Cibodas.

84. **Hidayati N.** Tumbuhan penyerap limbah logam berat di pertambangan emas tradisional. Seminar Biodiversitas Indonesia Keaneekaragaman Hayati untuk Kesehatan Bumi dan Keberlanjutan Hidup Manusia dalam Rangka Hari Bumi dan Menyambut Hari Keaneekaragaman Hayati; 19 April 2011; Bogor.
85. **Hidayati N, Saefudin.** Pertumbuhan dan produktivitas Kumis Kucing (*Orthosiphon aristatus*) pada iklim mikro yang berbeda dan perlakuan pupuk organik cair. Prosiding Simposium Nasional II Tumbuhan Obat dan Aromatika; 8–10 Agustus 2001; Bogor. Bogor: Puslit Biologi LIPI; 2002. 322–327.
86. **Hidayati N, Syarif F.** Respon tumbuhan liar berpotensi obat asal Papua, Wati (*Piper methysticum* G. Frost) pada kondisi lingkungan berbeda dan perlakuan pupuk organik cair (Potential responses of wild plant origin drugs papua, kava plant (*Piper methysticum* G Frost) in different environmental conditions and treatment liquid organic fertilizer). Dalam: Prosiding Simposium Nasional II Tumbuhan Obat dan Aromatik: Prosiding; 8–10 Agustus 2001; Bogor.
87. **Hidayati N.** Degradasi lahan pasca penambangan emas dan upaya reklamasinya: Kasus penambangan emas di Jampang-Sukabumi. Prosiding Kongres Nasional VII Himpunan Ilmu Tanah Indonesia (HITI); 2–4 November 1999; Bandung. 283–294.
88. **Hidayati N, Saefudin.** Efektivitas zat tumbuh dengan berbagai taraf pupuk N pada kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.). Prosiding Seminar Nasional Biologi XV Perhimpunan Biologi Indonesia (PBI); 24–26 Juli 1997; Universitas Lampung, Bandar Lampung. Lampung: Perhimpunan Biologi Indonesia; 1997. 1139–1143.
89. **Hidayati N, Saefudin.** Uji ketahanan tanaman asal biji dan stek terhadap stres kekeringan. Dalam: Sentana S, editor. Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengembangan Fisika Terapan dan Lingkungan; 25–26 Juni 1996; Bandung. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Fisika Terapan LIPI; 1996. 283–293.

90. **Hidayati N**, Widiyono W. Efektivitas zat pengatur tumbuh pada pertumbuhan dan produksi dua varietas jagung. Dalam: Sentana S, editor. Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengembangan Fisika Terapan dan Lingkungan; 25–26 Juni 1996; Bandung. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Fisika Terapan LIPI; 1996. 294–304.

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

Skripsi/Disertasi

1. **Hidayati N.** Dynamic model of *Vicia faba* L. growth under different water regimes [disertasi Doctor of Philosophy (S3)]. [UK]: The University of Reading; 1993. 243 hlm.
2. **Hidayati N.** The Growth of *Vicia faba* L. under different water regimes [tesis Magister Science (S2)]. [UK]: The University of Reading; 1989. 65 hlm.
3. **Hidayati N.** Pengaruh zat pengatur tumbuh terhadap pertumbuhan dan produksi kacang tanah. (*Arachis hypogaea* L.) [skripsi]. [Bogor]: Institut Pertanian Bogor; 1983: 56 hlm.

Karya Tulis Ilmiah dipresentasikan di Seminar Internasional

4. **Hidayati N, Rini DS.** Assessment on lead and cadmium bioaccumulators for phytoremediation contaminated rice fields in Bekasi Districts, West Java [Poster]. International Symposium for Sustainable Humanosphere (ISSH LIPI): Integrated Smart Technology and Society for Sustainable Humanosphere; 28–29 Oktober 2019; Bogor: Grand Savero Hotel.
5. Davis **LM, Hidayati N.** Physiological characteristics and CO₂ absorption of tree species for revegetation. The 7th JASTIP symposium on “Biodiversity, Genetic Resources and Innovative Bioresource Technology: Toward 2025 Sustainable Use of Biodiversity”; 24 Oktober 2019; Serpong
6. **Hidayati N, Rini DS.** In-Situ trials of lead and cadmium accumulators for phytoremediation contaminated rice fields in Karawang, West Java. The 3rd International Conference on Biosciences (ICoBio); 9 Agustus 2019; FMIPA IPB Bogor.

7. Tomiyasu T, Bransano C, Hamada Y, Kodamatani H, Kanza-ki R, **Hidayati N**, Rahajoe JS. Distribution of total and organic mercury concentrations in soils around ASGM area, West Java, Indonesia, and dependence of mercury concentrations on organic matter content. International Conference on Mercury as Global Pollutan (ICMGP); 16–21 Juli 2017; Rhode island, USA.
8. **Hidayati N**. The use of green plants to clean up heavy metals contamination (Hg, Pb, Cd): An overview. International Conference on Tropical Plant Conservation and Utilization; 18–20th Juni 2017; Bogor: Kebun Raya Bogor. à18–20 Mei 2017
9. Tomiyasu T, Kodamatani H, Kono Y, Matsuyama A, Imura R, **Hidayati N**, Rahajoe JS. Mercury concentration in paddy field soil and freshwater snails around the small-scale gold mining area, Cikaniki River, West Java, Indonesia. ICMGP 2015: 12th International Conference on Mercury as Global Pollutan; 14–19 Juni 2015; Jeju, Korea Selatan.
10. Kono Y, Rahajoe JS, **Hidayati N**, and Tomiyasu T. Distribution of mercury in river water around artisanal and small-scale gold mining areas in West Java, Indonesia. ICMGP 2015: 12th International Conference on Mercury as Global Pollutan; 14–19 Juni 2015; Jeju, Korea Selatan.
11. Kono Y, Rahajoe JS, **Hidayati N**, Tomiyasu T. Speciation and distribution of atmospheric mercury in artisanal and small-scale gold mining areas in West Java, Indonesia. The 17th International Conference on Heavy Metals in the Environment; 22–26 September 2014; Giyang, China.
12. Kono Y, Rahajoe JS, **Hidayati N**, Kodamatani H, Tomiyasu T. Distribution of dissolved mercury in river water around artisanal and small-scale gold mining areas in West Java, Indonesia. The 11th International Conference on Mercury as a Global Pollutant; 28 Juli–2 Agustus 2013; Birmingham, UK.

13. Kono Y, Rahajoe JS, Hidayati N, Kanzaki R, Kodamatani H, Tomiyasu T. One-site measurements of atmospheric mercury around a small-scale gold mining area along the Cikaniki River, Indonesia. Society of Environmet Toxicology and Chemistry Asia Pacific Annual Meeting (SETAC AP); 24–27 September 2012; Kumamoto, Jepang.
14. **Hidayati N**. Green technology of phytoremediation supporting green economy. The 12th Science Council of Asia (SCA) Conference and Internasional Symposium; 10–12 Juli 2012; Bogor.
15. Kono Y, **Hidayati N**, Rahajoe JS, Kodamatani H, Kanzaki R, Tomiyasu T. Estimation of atmospheric mercury levels with native epiphytic ferns in small-scale gold mining area, West Java, Indonesia. The 10th International Conference on Mercury as a Global Pollutant; 7 Juni 2011; Kanada.
16. Kono Y, Rahajoe JS, **Hidayati N**, Kodamatani H, Kanzaki R, Tomiyasu T, Shigeru T. Atmospheric biomonitoring mercury of small-scale gold mining in West Java Region, Indonesia. The 71st Analytical Chemistry Seminar; Mei 2010; Kagoshima University.
17. **Hidayati N**, Juhaeti T, Mansur M. Biological diversity contribution to reducing CO₂ in the atmosphere II. Seminar Internasional ATBC; 21–23 Juli 2010; Bali.
18. Juhaeti T, **Hidayati N**, editor. Prospek dan teknologi budi daya beberapa jenis sayuran lokal. Jakarta : LIPI Press; 2014. 166 hlm.

Publikasi populer

19. **Hidayati N**. Strategi riset di era otonomi daerah perlu diubah. Radar Bogor. 22 Juni 2001.
20. **Hidayati N**. Kawasan bioregional di era otonomi daerah. Radar Bogor. 18 Juli 2002.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama : Dr. Ir. Nuril Hidayati, M.Sc.
Tempat, Tanggal Lahir : Surabaya, 3 Agustus 1959
Anak ke- : 7 dari 11 bersaudara
Jenis Kelamin : Perempuan
Nama Ayah Kandung : H. Muhammad Tohir (Alm.)
Nama Ibu Kandung : Hj. Asma
Nama Suami : Dr. Ir. Chalid Talib, M.S.
Jumlah Anak : 3 orang
Nama Anak : 1. Muhammad Fachrial Talib,
S.Tp.
2. Muhammad Firly Talib, S.Tk.
3. Muhammad Chairil Talib
Nama Instansi : Pusat Penelitian Biologi LIPI
Judul Orasi : Tanaman Akumulator Merkuri
Hg), Timbal (Pb) dan Kadmium
(Cd) Untuk Fitoremediasi
Bidang Kepakaran : Botani
No. SK Pangkat Terakhir : 0582/D/2013
No. SK Peneliti Ahli
Utama : 72/M Tahun 2009

B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/PT	Tempat	Tahun Lulus
1	SD	Madrasah TAQUMA	Surabaya	1972
2	SMP	Muhammadiyah IV	Surabaya	1975
3	SMA	Proyek Perintis Sekolah Pembangunan (PPSP) – IKIP	Surabaya	1979
4	S1	Institut Pertanian Bogor	Bogor	1983
5	S2	The University of Reading	Reading, UK	1989
6	S3	The University of Reading	Reading, UK	1993

C. Pendidikan NonFormal

No.	Nama Kursus/ Pelatihan	Durasi (Hari)	Tempat	Tahun
1	Program BASIC	20	Reading, UK	1990
2	Program FORTRAN	40	Reading, UK	1990
3	Climatological Data Analysis and Modelling	10	Reading, UK	1990
4	Program SAS	15	Reading, UK	1991
5	Modelling in Agriculture	7	Nottingham, UK	1992

D. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1	Asisten Peneliti Muda (Gol. III/b)	1 Juni 1995
2	Ajun Peneliti Muda (Gol. III/c)	1 Juli 1997
3	Ajun Peneliti Madya (Gol.III/d)	1 Maret 1999
4	Peneliti Muda (Gol.IV/a)	1 September 2002
5	Peneliti Madya (Gol. IV/b)	1 Agustus 2004
6	Peneliti Ahli Madya (Gol. IV/c)	1 Januari 2006
7	Peneliti Ahli Utama (Gol. IV/d)	1 Januari 2009
8	Peneliti Ahli Utama (Gol. IV/e)	1 Juni 2013

E. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No.	Kegiatan Ilmiah	Penyelenggara, Tempat, Waktu
1	Presenter oral pada <i>Workshop Modelling in Agriculture</i> berjudul “Modelling on <i>Vicia faba</i> L. under Different Water Regimes”.	Nottingham University, UK, 1992
2	Presenter oral pada <i>Workshop Vegetation Recovery in Degraded Land Areas</i> berjudul “Environmental Degradation and Biological Reclamation of Mined Land: Cases of Gold Mining in Jampang-West Java”.	Asia-Pacific Network (APN)-Japan, Kalgoorlie, Australia, 3 November 2001
3	Anggota <i>Working Group</i> dalam <i>Workshop Vegetation Recovery</i> di Hyogo Prefecture, Japan	Asia-Pacific Network (APN)-Japan, Hyogo Prefecture, Japan July 2002
4	Presenter oral di International Seminar on <i>Achieving Resilient-Agriculture to Climate Change through Development of Climate-Based Risk Management Scheme</i> berjudul “Biological Diversity Contribution to Reducing CO ₂ in The Atmosphere I”.	PERHIMPI, Bogor, 19 November 2009
5	Narasumber di Seminar Biodiversitas Indonesia mengenai “Keaneekaragaman Hayati untuk Kesehatan Bumi dan Keberlanjutan Hidup Manusia dalam Rangka Hari Bumi dan Hari Keanekaragaman Hayati”.	Puslit Biologi LIPI, Bogor, 19 April 2011

No.	Kegiatan Ilmiah	Penyelenggara, Tempat, Waktu
6	Pembahas dalam <i>Forum Group Discussion</i> mengenai “Bioremediasi Lahan Pertanian Menuju Lahan yang Sehat dan Berkualitas untuk Mendukung Ketahanan Pangan”	BPPT, Jakarta, 10 November 2011
7	Presenter oral di The Second International Conference of Indonesia Forestry Research (INAFOR) berjudul “Biological Diversity Contribution to Reducing CO ₂ in The Atmosphere 3: CO ₂ Absorption and Carbon Sequestration of Tree Species in Bopuncur Area, West Java”.	Ministry of Forestry, Jakarta, 28 August 2013
8	Presenter oral pada 1 st International Conference on Tropical Biology berjudul “Enhancing and Promoting the Real Values of Tropical Biodiversity of Southeast Asia”.	SEAMEO BIOTROP, Bogor, 4 Oktober 2013
9	Presenter oral di Seminar Nasional Bioremediasi ke-3 berjudul “Perkembangan Penerapan dan Regulasi Bioremediasi di Indonesia”.	Forum Bioremediasi Indonesia, Bogor, 24 Oktober 2013
10	Narasumber dalam <i>Forum Group Discussion</i> Lemna berjudul “Pemanfaatan Ganda Lemna sebagai Akumulator dan Pakan Ternak”.	Limnologi, Bogor, 2014
11	Memberikan kuliah umum di Universitas Indonesia (UI) mengenai “Fitoremediasi Sebagai Solusi untuk Rehabilitasi Lingkungan”.	Depok, 12 Februari 2016

No.	Kegiatan Ilmiah	Penyelenggara, Tempat, Waktu
12	Narasumber dalam <i>Forum Group Discussion</i> Saguling berjudul “Fitoteknologi untuk Peningkatan Kualitas Lingkungan”.	Limnologi-Asia Pacific Centre for Ecohydrology (APCE) Bogor, 10 Oktober 2016

G. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Jurnal Ilmiah/Penerbit	Jabatan	Tahun
1	Jurnal Hayati/IPB	Mitra Bestari	2005
2	Berita Biologi/LIPI	Mitra Bestari	2012, 2013, 2015, 2016, 2017
3	Jurnal Biologi Indonesia/LIPI-PBI	Mitra Bestari	2010, 2011, 2014, 2017
4	Reinwardtia/LIPI	Mitra Bestari	2014
5	BIOTROPIA/BIOTROP	Mitra Bestari	2017, 2019
6	Buletin Kebun Raya/LIPI	Mitra Bestari	2016, 2018
7	Widya Riset/Pusbindiklat LIPI	Mitra Bestari	2016
8	Jordan Journal of Biological Sciences-JJBS. ISSN 1995-6673 (P); 2307-7166 (E).	<i>Reviewer</i>	2018, 2019

H. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1	Penulis Tunggal	19
2	Bersama Penulis Lainnya	71
	Total	90

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1	Bahasa Indonesia	60
2	Bahasa Inggris	30
3	Bahasa Lainnya	-
	Total	90

I. Pembinaan Kader Ilmiah

Mengajar/Memberi Kuliah Umum

No.	Universitas/PT Tempat Mengajar	Tahun Mengajar
1	Universitas Pakuan	1984–1986
2	Universitas Indonesia	2005, 2016
3	Fasilitator Diklat Jabatan Fungsional Peneliti LIPI	2016

Membimbing Mahasiswa dan Menguji Disertasi

No.	Nama	PT/Universitas	Peran/ Tugas	Tahun
1	Iwan Herdiawan/S3	Institut Pertanian Bogor (IPB)	Pembim- bing diser- tasi	2012
2	Ridwan/S3	Institut Pertanian Bogor (IPB)	Pembim- bing diser- tasi	2018
3	Eka Sari/S1	Universitas Bangka Belitung	Pembim- bing skripsi	2011
4	Dyah Sandra Fiona/S1	Universitas Bangka Belitung	Pembim- bing skripsi	2011
5	Lina Artiningsih/S1	Sekolah Tinggi MIPA Bogor	Pembim- bing skripsi	2014
6	Syahdiana Saragih/S1	Sekolah Tinggi MIPA Bogor	Pembim- bing skripsi	2016
7	Afifah Meidivia Firdaus/S1	Universitas Indonesia (UI)	Pembim- bing skripsi	2016
8	Adelina Listyo Yuwono/S1	Institut Teknologi Bandung (ITB)	Pembim- bing skripsi	2016
9	Mega Senoputri/ S1	Institut Teknologi Bandung (ITB)	Pembim- bing skripsi	2016

No.	Nama	PT/Universitas	Peran/ Tugas	Tahun
10	Thyfani Adzani/ S1	Institut Teknologi Bandung (ITB)	Pembim- bing skripsi	2016
11	Muhammad Fahmi Irsan/S1	Institut Teknologi Bandung (ITB)	Pembim- bing skripsi	2016
12	Wijayanti S.T./ S1	Institut Teknologi Bandung (ITB)	Pembim- bing skripsi	2016
13	Prasetyo R.T./ S1	Institut Teknologi Bandung (ITB)	Pembim- bing skripsi	2016
14	Darma Eka Putra/S1	Universitas Negeri Jakarta (UNJ)	Pembim- bing skripsi	2017
15	Diana Hani Andayani/S1	Universitas Pakuan (Unpak)	Pembim- bing skripsi	2017
16	Wahyu Widiyono/S2	Universitas Indonesia (UI)	Penguji tesis	2002
17	Wahyu Widiyono/S3	Universitas Indonesia (UI)	Penguji disertasi	2008
18	Edy Nurtjahja/ S3	Institut Pertanian Bogor (IPB)	Penguji disertasi	2008

J. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Nama Organisasi	Jabatan	Tahun
1	Perhimpunan Biologi Indonesia (PBI)	Anggota	2012
2	Forum Bioremediasi Indonesia	Anggota	2013
3	Perhimpunan Agronomi Indonesia (PERAGI)	Anggota	2018
4	Himpunan Peneliti Indonesia (Himpenindo)	Anggota	2019

K. Tanda Penghargaan

No.	Nama /Jenis Penghargaan	Pejabat/ Instansi yang Memberikan	No. SK/ Tahun
1	Satyalancana Karya Satya X	Presiden RI Soeharto	055/TK/1997
2	Satyalancana Karya Satya XX	Presiden RI Susilo Bambang Yudoyono	3129/K/ KP/2007
3	Satyalancana Karya Satya XXX	Presiden RI Joko Widodo	63/TK/ 2015



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.