



**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
BIDANG TEKNIK LINGKUNGAN**

**PENGEMBANGAN INSTALASI
PENGOLAHAN AIR GAMBUT (IPAG60)
SEBAGAI SARANA PEMENUHAN
HAK DASAR MASYARAKAT
ATAS AIR DI DAERAH GAMBUT**



OLEH:

IGNASIUS DWI ATMANA SUTAPA

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
JAKARTA, 20 AGUSTUS 2019**

**PENGEMBANGAN INSTALASI PENGOLAHAN
AIR GAMBUT (IPAG60) SEBAGAI SARANA
PEMENUHAN HAK DASAR MASYARAKAT ATAS
AIR DI DAERAH GAMBUT**

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



**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
BIDANG TEKNOLOGI LINGKUNGAN**

**PENGEMBANGAN INSTALASI
PENGOLAHAN AIR GAMBUT (IPAG60)
SEBAGAI SARANA PEMENUHAN HAK
DASAR MASYARAKAT ATAS AIR DI
DAERAH GAMBUT**

**OLEH:
IGNASIUS DWI ATMANA SUTAPA**

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
JAKARTA, 20 AGUSTUS 2019**

© 2019 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
Pusat Penelitian Limnologi

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Pengembangan Instalasi Pengolahan Air Gambut (IPAG60) sebagai Sarana Pemenuhan Hak Dasar Masyarakat atas Air di Daerah Gambut/Ignasius Dwi Atmana Sutapa. Jakarta: LIPI Press, 2019.

xi + 79 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-602-496-064-3 (cetak)
978-602-496-065-0 (*e-book*)

1. IPAG60
3. Teknologi

2. Air Bersih

628.162

Copy editor : Risma Wahyu Hartiningsih
Proofreader : Martinus Helmiawan
Penata Isi : Rahma Hilma Taslima
Desainer Sampul : Rusli Fazi

Cetakan I : Agustus 2019



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



Ignasius Dwi Atmana Sutapa, lahir di Gunung Kidul, adalah anak kedua dari Bapak Paulus Yustinus Paidi (alm.) dan Ibu Maria Supiyati. Menikah dengan Rahel Butar Butar, S.E., M.M., dan dikaruniai dua orang anak, yaitu Reynard Parlinggoman Sutopo dan Eldy Nehemia Sutopo.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 18/M Tahun 2012 tanggal 18 Januari 2012 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Utama terhitung mulai tanggal 1 September 2011.

Berdasarkan Surat Keputusan Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Nomor 160/A/2019 tanggal 7 Agustus 2019 tentang Pembentukan Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan pidato Pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri 2 Semin, Gunung Kidul tahun 1979; Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Wonosari, Gunung Kidul tahun 1982; dan Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Wonosari, Gunung Kidul tahun 1985. Memperoleh gelar Sarjana Bidang Kimia dari Universite de Nancy I, Nancy, Prancis tahun 1991; gelar Master of Science (M.Sc.) Bidang Kimia Fisik Molekuler dari Université Nancy I, Nancy, Prancis tahun 1992; dan gelar Doktor Bidang Teknik Kimia dari Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL) di Nancy, Prancis tahun 1996.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait bidang kompetensinya, antara lain *Training of Bioassessment and Monitoring of River*

Basin di Sydney, Canberra, Melbourne dan Darwin, Australia (1998), *Training of Acid Deposition Monitoring* di Kobe, Japan (2006), *Capacity Building Course on Future Development of EANET for Officials and Experts* di Pathumthani, Thailand (2007), *Training of Diplomacy in International Meetings & Conferences* di Jakarta, Indonesia (2010), dan *Training of Integrated Flood Analysis System (IFAS)* di Jakarta, Indonesia (2013).

Riwayat Jabatan Fungsional Peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Pertama, tahun 1998; Peneliti Ahli Muda, tahun 1999; Peneliti Ahli Madya, tahun 2005; dan Peneliti Ahli Utama, tahun 2011. Selama perjalanannya sebagai peneliti pernah ditugaskan sebagai Sekretaris Eksekutif Asia Pasific Centre for Ecohydrology (APCE)–UNESCO Category II Centre, LIPI, tahun 2011–2016; dan sejak tahun 2016 ditunjuk sebagai Direktur Eksekutif APCE–UNESCO Category II Centre, LIPI.

Menghasilkan 96 karya tulis ilmiah (KTI) dan 1 paten. Karya tulis ilmiah, baik yang ditulis sendiri maupun yang ditulis dengan penulis lain diterbitkan dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 22 KTI ditulis dalam bahasa Inggris dan 1 KTI dalam bahasa Prancis.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing jabatan fungsional peneliti pada Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), pengajar diploma 3 (D-III) di Akademi Kimia Analisis (AKA) Bogor, pengajar sarjana strata satu (S1) di Universitas Bina Nusantara, pengajar strata dua (S2) di Institute for Community and Development Studies (ICDS) Jakarta; pembimbing dan penguji skripsi dan tesis di Universitas Gajah Mada (UGM), Institut Pertanian Bogor (IPB), Universitas Sahid Jakarta, Universitas Pakuan Bogor, dan ICDS Jakarta.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu sebagai anggota Masyarakat Limnologi Indonesia (MLI) (tahun 2013–sekarang); Sekretaris Himpunan Peneliti Indonesia (Himpenindo) Cabang LIPI (tahun 2015–sekarang); Sekretaris III Komite Nasional IHP Indonesia (tahun 2012–2017); Wakil Ketua Komite Nasional IHP Indonesia (tahun 2017–sekarang); dan Chairman of UNESCO IHP RSC for Asia Pacific Region (tahun 2017–2019).

Memperoleh sejumlah tanda penghargaan inovasi teknologi dengan kategori “18 Inovasi Iptek Karya Anak Bangsa 2013” (2013) dari Menteri Riset dan Teknologi RI; Inventor LIPI tahun 2017 terkait IPAG60 dari Kepala LIPI; Satyalancana Karya Satya X Tahun (1997), XX Tahun (2007), dan XXX Tahun (2017) dari Presiden Republik Indonesia.

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS.....	v
PRAKATA PENGUKUHAN.....	xi
I. PENDAHULUAN.....	1
II. PERKEMBANGAN LAYANAN DAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR MINUM DI INDONESIA.....	4
2.1 Jumlah Kebutuhan Air Manusia.....	4
2.2 Sejarah Layanan Air Minum di Indonesia	5
2.3 Perkembangan Teknologi Pengolahan Air	8
III. TANTANGAN PEMENUHAN AIR MINUM DI DAERAH DENGAN AIR BAKU GAMBUT.....	11
3.1 Karakteristik Air Baku	11
3.2 Dampak Kualitas Air terhadap Kesehatan	12
3.3 Metode Peningkatan Kualitas Air Gambut	14
IV. PENGEMBANGAN DAN INOVASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR GAMBUT (IPAG60).....	16
4.1 Proses Pengembangan.....	16
4.2 Inovasi dan Kebaruan IPAG60.....	17
4.3 Kinerja dan Reliabilitas IPAG60.....	18
V. IPAG60 SEBAGAI SOLUSI ALTERNATIF TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR GAMBUT MENJADI AIR BERSIH/MINUM	20
5.1 Keunggulan IPAG60	20
5.2 Paten Terakreditasi IPAG60	21
VI. KESIMPULAN	23
VII. PENUTUP	24

UCAPAN TERIMA KASIH	26
DAFTAR PUSTAKA.....	30
LAMPIRAN.....	39
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	49
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA	62
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	67

PRAKATA PENGUKUHAN

Selamat pagi dan salam sejahtera untuk kita semua,
Majelis Pengukuhan Profesor Riset yang mulia dan hadirin yang
saya hormati.

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus,
Allah Yang Mahakuasa, Bapa Yang Kekal, Raja Damai, hanya
karena perkenanan dan karunia-Nya, saya diberi jalan dan
kekuatan untuk menyampaikan Orasi Pengukuhan Profesor
Riset di hadapan majelis yang mulia.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala ke-
rendahan hati, perkenankan saya menyampaikan orasi ilmiah
dengan judul:

**“PENGEMBANGAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR
GAMBUT (IPAG60) SEBAGAI SARANA PEMENUHAN
HAK DASAR MASYARAKAT ATAS AIR
DI DAERAH GAMBUT”**

I. PENDAHULUAN

“In this new century, water, its sanitation, and its equitable distribution pose great social challenges for our world. We need to safeguard the global supply of healthy water and to ensure that everyone has access to it.” (Kofi Annan, UN General Secretary 1997–2006)¹.

Sejarah peradaban manusia dan kehidupannya tidak pernah lepas dari air dan lingkungannya. Ketergantungan manusia terhadap air sangat tinggi sehingga permasalahan yang menyangkut sumber daya air yang terjadi di dunia saat ini menjadi isu penting yang patut untuk diperhatikan. Volume total air di dunia memang tidak berkurang, tetapi kualitasnya cenderung menurun dan kuantitas serta sebarannya terus menerus mengalami perubahan yang cukup drastis², diakibatkan peningkatan jumlah penduduk, aktivitas perekonomian, dan dampak perubahan iklim³.

Air mempunyai fungsi yang sangat penting dalam tubuh manusia sehingga ia menjadi kebutuhan dasar yang harus dipenuhi. Meskipun jumlah kebutuhan air bagi setiap orang berbeda-beda, secara umum kekurangan air dan sanitasi, baik secara kualitas maupun kuantitas, akan sangat berpengaruh terhadap kesehatan manusia, baik langsung maupun tidak langsung. Berbagai penyakit menular, yaitu AIDS, TBC, malaria, atau penyakit menular lainnya yang mewabah di negara berkembang akan sulit diberantas apabila kita tidak sanggup memenangkan pertempuran untuk mendapatkan air minum dan sanitasi yang sehat serta fasilitas kesehatan yang mendasar¹.

Keterbatasan air bersih dan sanitasi yang sehat masih menjadi persoalan utama bagi masyarakat yang tinggal di berbagai wilayah di Indonesia terutama yang berada di lingkungan dengan air baku marginal, yaitu air baku dengan kualitas yang sangat

rendah, seperti air gambut, air payau, air tercemar ataupun air banjir (Lampiran 1)⁴. Ketiadaan sumber air bersih serta kurangnya pengetahuan mengenai dampaknya terhadap kesehatan, memaksa masyarakat yang tinggal di wilayah gambut, seperti di Kalimantan, Sumatra, dan Papua, menggunakan air gambut secara langsung untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari (Lampiran 2)^{5,6}.

Air gambut tergolong air alami di lahan gambut, yang memiliki karakteristik spesifik di antaranya warna cokelat kehitaman, tingkat keasaman tinggi (nilai pH 2,5–3,5), dan mengandung berbagai senyawa organik serta nonorganik, ataupun mikroba dengan konsentrasi yang bervariasi tergantung lokasinya (Lampiran 3)^{7,8}. Tipe air seperti ini dikategorikan kedalam air golongan C atau D sehingga tidak layak untuk digunakan secara langsung oleh masyarakat untuk berbagai keperluan, seperti mandi, mencuci, memasak, minum atau kegiatan sanitasi lainnya. Peningkatan kualitas air gambut perlu dilakukan agar dapat digunakan oleh penduduk setempat⁷.

Tingkat kesulitan yang cukup tinggi untuk mengolah air gambut menjadi air bersih atau air minum dapat tercermin dari masih sedikitnya literatur yang membahas secara komprehensif dan menyeluruh metode pengolahannya. Kajian yang dilakukan cenderung lebih banyak parsial, skala laboratorium, dan sering tidak kompatibel di lapangan⁹. Naskah orasi ilmiah ini akan membahas inovasi teknologi “Instalasi Pengolahan Air Gambut dengan kapasitas produksi 60 liter/menit” disingkat IPAG60, sebagai alternatif teknologi untuk mengolah air gambut menjadi air bersih/minum yang memenuhi standar kesehatan. Hal ini dalam upaya meningkatkan layanan air bersih/minum di wilayah gambut guna memenuhi hak dasar masyarakat. Pemecahan permasalahan untuk mengolah air gambut menjadi air bersih

dimulai dengan melihat sejarah perkembangan layanan dan teknologi pengolahan air bersih di Indonesia yang disampaikan dalam Bab II. Selanjutnya, Bab III mengulas mengenai tantangan dan kendala untuk memenuhi kebutuhan air bersih/minum di daerah dengan air baku gambut. Bab IV menyampaikan tahapan pengembangan IPAG60 sebagai bagian dari kontribusi ilmiah, yang diawali dengan memahami karakteristik air baku dan berbagai proses, di antaranya peningkatan dan pengondisian kualitas air baku, baik menggunakan tanaman, pH maupun turbiditas^{10,11}; penggunaan sistem lumpur aktif untuk mempercepat proses pengendapan secara biologis^{12,13}; aplikasi koagulan untuk mendapatkan proses flokulasi optimal^{14,15}; dan kombinasi rancangan desain IPAG60 yang mampu mengolah air gambut secara efektif^{9,16,17,18}. Keunggulan, implementasi, dan apresiasi terhadap IPAG60 ditampilkan dalam Bab V, diikuti dengan kesimpulan pada Bab VI, dan penutup pada Bab VII.

II. PERKEMBANGAN LAYANAN DAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR MINUM DI INDONESIA

2.1 Jumlah Kebutuhan Air Manusia

Air adalah senyawa sederhana yang paling penting bagi kehidupan makhluk hidup di bumi. Tanpa senyawa ini, berbagai jenis tumbuhan, hewan bahkan manusia akan mengalami kepunahan.

Makhluk hidup terdiri atas komponen air sekitar 50–80%. Penyusun utama tubuh orang dewasa adalah air yang mencapai 55–60% dari berat badan atau 70% dari bagian tubuh tanpa lemak (*lean body mass*). Tubuh anak-anak memiliki kandungan air lebih besar dibandingkan orang dewasa. Sekitar 75% berat badan bayi baru lahir terdiri atas air, sedangkan tubuh orang tua memiliki kandungan air sebesar 55%¹⁹. Air memiliki fungsi di antaranya adalah sebagai pelarut zat-zat gizi dan alat angkut sisa-sisa metabolisme tubuh; sebagai katalisator berbagai reaksi biologis dalam sel; sebagai pelumas dalam cairan sendi-sendi tubuh; sebagai fasilitator pertumbuhan jaringan tubuh; sebagai pengatur suhu tubuh dengan menyalurkan panas ke seluruh tubuh; sebagai penjaga keseimbangan pH (asam-basa); sebagai cairan yang berfungsi dalam proses mekanis, seperti absorpsi, pelumas, pembersih, dan perlindungan; sebagai pelindung terhadap benturan dari organ-organ penting tubuh, seperti mata, saraf tulang belakang, dan bayi dalam kandungan²⁰.

Kebutuhan air setiap orang berbeda-beda jumlahnya tergantung pada ukuran dan komposisi tubuh, tingkat aktivitas, suhu dan kelembapan lingkungan. Orang dewasa yang melakukan aktivitas dengan mengeluarkan 2.400 kalori per hari akan kehilangan sekitar 2,4 liter air per hari. Oleh karena itu, seorang

dewasa membutuhkan air paling sedikit 2,4 liter per hari untuk menggantikan air yang hilang karena tubuh tidak dapat menyimpan air^{19,20}.

Jumlah air minimal yang perlu disediakan untuk berbagai jenis kebutuhan, antara lain untuk kelangsungan hidup minimal 5 liter/orang/hari; persiapan makanan: 10 liter/orang/hari; sanitasi: 20 liter/orang/hari; persyaratan kebersihan: 15 liter/orang/hari²¹. Berdasarkan data tersebut, dapat dihitung jumlah air (dalam volume) yang harus disediakan sesuai dengan kebutuhan dan tergantung lokasinya. Persyaratan minimum kebutuhan air adalah 50 liter/orang/hari; untuk masyarakat di kota sedang: 100 liter/orang/hari; dan masyarakat di kota besar: 150 liter/orang/hari. Perhitungan ini masih digunakan sampai hari ini dalam membuat perencanaan pembangunan instalasi pengolahan air bersih oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) di Indonesia.

Ditjen Cipta Karya²² mencatat bahwa setiap orang Indonesia menggunakan air rata-rata sebanyak 144 liter/hari. Jumlah ini tidak sama di setiap daerah sehingga standar kebutuhan air dihitung berdasarkan lokasi wilayah. Wilayah perdesaan memiliki kebutuhan sekitar 60 liter/kapita/hari, wilayah perkotaan memiliki kebutuhan rata-rata 110 liter/kapita/hari, sedangkan wilayah kota metropolitan memiliki kebutuhan mencapai 150 liter/kapita/hari.

2.2 Sejarah Layanan Air Minum di Indonesia

Layanan air minum di Indonesia memiliki sejarah yang panjang. Pemenuhan kebutuhan air dimulai dengan pengambilan air sungai yang masih sangat jernih ataupun air sumur, sampai terbentuknya Perusahaan Air Minum (PAM), baik sebelum maupun sesudah kemerdekaan.

2.2.1 Masa Sebelum Indonesia Merdeka

Jauh sebelum kemerdekaan, Kali Ciliwung memiliki kondisi yang bagus sehingga menjadi sumber air minum bagi warga masyarakat yang tinggal di wilayah Batavia (Jakarta). Pada tahun 1648-an air sungai ditampung di sebuah waduk (*water-plaats*) yang semula dibangun di dekat Benteng Jacatra di utara kota, kemudian dipindahkan ke kali di daerah *Molenvliet* (daerah Harmoni). Para pedagang air mengangkutnya dari tempat ini untuk dijual di daerah kota²³.

Sistem penyediaan air minum di masa pra-kemerdekaan diduga sudah hadir pada era 1800-an. Penguasa Inggris mencatat bahwa pada tahun 1817 penduduk di Pulau Jawa telah terbiasa merebus air sebelum diminum untuk menjaga kesehatan. Kebiasaan ini kemudian ditiru oleh bangsa Belanda yang tinggal di Batavia. Perusahaan Air Minum (PAM) didirikan pada tahun 1918 setelah Pemerintah Kota Batavia terbentuk pada tahun 1905, dengan mendatangkan air baku dari mata air di Ciomas, Bogor. Penduduk kota Batavia pada waktu itu kurang menyukai air sumur bor yang dibangun PAM Batavia karena airnya berwarna hitam apabila untuk menyeduh teh. Hal ini karena kandungan zat besi (Fe) yang tinggi. Di Jawa bagian timur, konsesi pengelolaan mata air Umbulan di Pasuruan menjadi awal berdirinya Perusahaan Air Minum di kota Surabaya pada tahun 1900. Sementara itu, PAM juga didirikan di beberapa kota lain, seperti di Medan, Padang, Samarinda, Malang, Magelang, dan Bogor. Kapasitas produksi air minum di seluruh Indonesia mencapai sekitar 3.000 liter per detik di akhir masa prakemerdekaan^{23,24}.

2.2.2 Masa Setelah Indonesia Merdeka

Hampir tidak ada pembangunan sektor air minum di Indonesia dalam lima tahun pertama era kemerdekaan 1945–1950. Pemerintah Indonesia mulai melakukan pembangunan, termasuk pem-

bangunan sektor air minum yang terbengkalai karena Perang Dunia II (1939–1945) dan perang kemerdekaan Indonesia 1945–1950. Kebijakan yang diambil adalah memprioritaskan pembangunan sarana prasarana air minum pada kota-kota besar, kota dengan pelabuhan, kota industri, daerah wisata, dan objek vital lainnya. Kerja sama segitiga antara Pemerintah Indonesia, Pemerintah Prancis, dan perusahaan Degremont pada tahun 1950-an menjadi awal pembangunan instalasi pengolahan air (IPA) di sejumlah ibu kota provinsi di Indonesia termasuk IPA Pejompongan I yang didorong oleh kebutuhan sangat mendesak penduduk Kota Jakarta^{24,25}.

Pengembangan air minum pada masa Orde Baru dilaksanakan melalui Pembangunan Lima Tahun (Pelita) I–VI (1969–1998), meliputi kebijakan prioritas pengembangan, pendanaan, teknis-teknologis, kelembagaan, pengaturan, dan peran serta masyarakat. Kebijakan dan strategi yang spesifik atau khusus dikembangkan dalam setiap tahapan, baik jangka pendek (pelita), menengah (dasarwarsa) maupun panjang (25 tahun), sesuai kondisi pada saat itu. Pada akhir Pelita IV, terdapat penambahan kapasitas produksi air minum sebesar 14.000 liter per detik untuk 8,2 juta jiwa penduduk, yang tentu masih jauh dari kebutuhan. Selain itu, juga masih banyak masyarakat yang kesulitan mendapatkan air bersih yang layak. Capaian yang relatif kecil ini disebabkan antara lain sumber mata air yang letaknya sangat jauh dan tidak ekonomis untuk dimanfaatkan. Sementara itu, sumber air permukaan yang tersedia berupa air payau, gambut atau telah terpapar pencemaran. Pada akhir Pelita VI, tingkat layanan air minum berbasis lembaga (PDAM) pada tahun 1998 baru mencapai 39% dan hanya mencapai 17% setelah krisis ekonomi melanda Indonesia. Pada tahun 2005, cakupan pelayanan air minum di perkotaan baru mencapai 40% meliputi sekitar 33 juta penduduk, sedangkan di perdesaan baru mencapai 8% atau sekitar 10 juta jiwa^{24,26}.

2.3 Perkembangan Teknologi Pengolahan Air

Penggunaan jenis teknologi untuk mengolah air baku menjadi air bersih/minum terus mengalami perkembangan seiring dengan kemajuan teknologi, inovasi ataupun perubahan kualitas lingkungan. Pada umumnya, masyarakat masih mengambil air secara langsung di sungai, mata air, ataupun sumur dangkal dengan menggunakan teknologi yang sangat sederhana. Perusahaan air minum yang didirikan pada masa pra-kemerdekaan masih fokus pada pengelolaan dan penyaluran air yang berasal dari mata air melalui perpipaan, tanpa melakukan pengolahan terlebih dahulu atau dengan pengolahan yang sangat sederhana berupa penyaringan dan pengendapan. Seperti telah disampaikan sebelumnya bahwa upaya untuk membunuh kuman/bakteri dilakukan dengan merebus air sebelum dikonsumsi telah dikenal pada masa tersebut. Aplikasi teknologi untuk mengolah air baku yang mengandung lumpur mulai digunakan saat beroperasinya IPA Pejompongan I Jakarta pada era kemerdekaan 1945–1950²⁴. Pembubuhan bahan kimia (obat-obatan kimia) dilakukan untuk mengendapkan lumpur dan aneka jenis kotoran lainnya dalam kolam sedimentasi, kemudian ditampung dalam reservoir sebelum dialirkan ke masyarakat pengguna²⁷.

Peningkatan kebutuhan air akibat jumlah penduduk yang terus bertambah terutama di kota-kota besar menuntut PAM untuk mengolah air baku dalam skala yang lebih besar dan waktu yang lebih cepat. Teknologi pengolahan air yang lebih kompleks mulai digunakan dengan mengombinasikan beberapa proses, seperti koagulasi, flokulasi, pengendapan, dan penyaringan serta disinfeksi. Konsep ini dikenal sebagai teknologi dasar pengolahan air baku menjadi air bersih/minum selama lebih dari 75 tahun terakhir yang masih dipakai sampai saat ini. Inovasi dan pengembangan konsep dasar tersebut terus dilakukan sesuai dengan tuntutan dan perkembangan zaman yang sebagian besar

didorong oleh tiga faktor utama, yaitu penemuan kontaminan baru, penetapan standar kualitas air baru, dan biaya. Industri air minum telah beradaptasi dengan teknologi baru secara bertahap²⁷. Beberapa teknologi dan inovasi baru terus dikembangkan, diuji, ditunjukkan, dan diperkenalkan ke pasar pengolahan air perkotaan dalam 30 tahun terakhir, di antaranya filtrasi membran²⁸, iradiasi UV²⁹, oksidasi lanjutan³⁰, pertukaran ion³¹, dan filtrasi biologis³². Penggunaan salah satu jenis teknologi baru oleh industri ataupun pihak lain sangat tergantung dari beberapa hal, seperti biaya, kesesuaian dan keandalan, lokasi atau pengoperasian dan perawatannya. Sebagai contoh, teknologi filtrasi membran dan kombinasinya dapat digunakan untuk menggantikan filtrasi konvensional pengolahan air permukaan, namun besarnya biaya menjadi hambatan utama dari implementasinya dalam skala besar. Pengembangan IPAG60 dilakukan untuk menjawab permasalahan teknologi pengolahan air gambut menjadi air bersih/minum. Modifikasi dan inovasi terhadap konsep dasar pengolahan air telah dilakukan melalui pembuatan desain kompak dengan mengintegrasikan tangki koagulator, flokulator, dan sedimentasi; penyiapan bahan pengolah yang efisien dan efektif; penyusunan perangkat instalasi sistem *knock down*; serta pengoperasian dan perawatan yang mudah dan relatif murah⁹.

Meskipun upaya peningkatan layanan air bersih/minum terus ditingkatkan seiring dengan perubahan lingkungan, air baku, jumlah kebutuhan, dan perkembangan teknologi, namun tingkat akses terhadap air minum masih relatif rendah terutama di wilayah perdesaan. Hal ini memerlukan inovasi dan terobosan untuk mendukung percepatan peningkatan layanan air bersih/minum. Sejalan dengan target pembangunan berkelanjutan (Sustainable Development Goals, SDGs 2030) No. 6, yaitu “Air bersih dan sanitasi untuk semua”, Indonesia perlu berupaya untuk mencapai target tersebut agar tingkat layanan air bersih

bagi masyarakat dapat mencapai 100%³³. Pemenuhan kebutuhan air bersih/minum di wilayah marginal gambut, dengan kualitas air baku yang rendah harus menjadi prioritas mengingat masih rendahnya akses air bersih/minum bagi masyarakat setempat.

III. TANTANGAN PEMENUHAN AIR MINUM DI DAERAH DENGAN AIR BAKU GAMBUT

3.1 Karakteristik Air Baku

Di Indonesia, penelusuran terhadap kualitas air baku telah dilakukan di beberapa lokasi yang berbeda dalam kurun waktu 1998 sampai dengan 2013. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Sungai Citarum³⁴, Sungai Ciliwung (Jawa Barat, DKI Jakarta)³⁵, Sungai Cikeas (Jawa Barat)³⁶, Sungai Sala (Kalimantan Tengah)⁷, Sungai Air Raja (Riau)³⁷, Sungai Rei Tersil, Pangkoh (Kalimantan Tengah)³⁸, telah mengalami pencemaran kategori sedang sampai berat. Demikian juga kualitas beberapa sumur dangkal di Desa Karadenan (Jawa Barat)³⁹ dan beberapa sumur dangkal di Desa Tanjung Leban (Riau)⁶, terindikasi tercemar dan tidak layak untuk digunakan oleh masyarakat setempat.

Salah satu wilayah dengan karakteristik air baku marginal adalah daerah gambut. Lahan gambut merupakan tipe tanah yang pembentukannya berasal dari tumpukan bahan organik sisa-sisa tanaman yang sudah atau sedang dalam proses pembusukan. Data dari Kementerian Pertanian RI Tahun 2008⁴⁰, menunjukkan bahwa distribusi lahan gambut terbesar di Indonesia terletak di Pulau Sumatra, yaitu di Provinsi Riau dan Kalimantan, di Provinsi Kalimantan Tengah, dengan total luas lahan gambut mencapai ± 21 juta ha. Proses pembentukan lahan gambut sangat berpengaruh terhadap karakteristik air gambut yang terkandung di dalam tanah atau yang keluar di permukaan.

Studi komprehensif yang dilakukan di Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau menunjukkan bahwa air gambut di beberapa lokasi sampling memiliki karakteristik, antara lain warna cokelat kehitaman, tingkat keasaman yang tinggi (pH rendah), mengandung

bahan organik tinggi, kekeruhan sedang, kesadahan sedang, mengandung *E. Coli* dan *Coliform* cukup tinggi serta konsentrasi Fe sedang sampai tinggi^{7,8}. Sementara itu, hasil analisis menggunakan metode *Storet* menunjukkan bahwa kualitas air gambut, baik yang berasal dari Kabupaten Bengkalis maupun dari Kabupaten Katingan masuk dalam golongan C⁴¹. Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan No. 907 Tahun 2002⁴², air dengan kualitas golongan C hanya dapat digunakan untuk aktivitas pertanian dan perikanan. Namun, tidak dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari masyarakat, seperti untuk minum, memasak, mandi mencuci atau kegiatan sanitasi lainnya. Air baku yang berasal dari air gambut perlu ditingkatkan kualitasnya menjadi air bersih/minum agar bisa digunakan oleh penduduk setempat.

3.2 Dampak Kualitas Air terhadap Kesehatan

Keterbatasan akses terhadap sumber air bersih menjadi penyebab utama bagi sebagian masyarakat yang tinggal di daerah gambut, yang terpaksa menggunakan air gambut secara langsung untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Hasil observasi langsung di lapangan menunjukkan bahwa sebagian besar masyarakat, baik di Desa Tanjung Leban Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau maupun di Desa Hyang Bana Kabupaten Katingan, Provinsi Kalimantan Tengah, menggunakan air gambut untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Mereka mengambil air langsung dari sungai atau dari sumur-sumur dangkal yang mereka buat sendiri. Sisanya adalah rumah tangga yang memenuhi kebutuhan air mereka dengan menggunakan air tanah dari stasiun-stasiun pompa air yang dibangun oleh pemerintah daerah. Air hujan menjadi alternatif sumber air minum terutama pada musim penghujan^{6,16}.

Rendahnya kualitas air gambut berdampak bagi kesehatan masyarakat apabila digunakan secara langsung dan terus menerus

dalam waktu yang panjang. Hal ini sangat erat kaitannya dengan kandungan bahan pencemar pada air gambut, di antaranya tingkat keasaman tinggi dapat menyebabkan kerusakan gigi dan penyakit pencernaan; kandungan bahan organik tinggi dapat menimbulkan bau dan menyediakan kondisi yang optimal untuk pertumbuhan mikroorganisme⁴³. Selain itu, adanya kemungkinan terbentuknya senyawa *Three Halo Methane* (THM), seperti organo-klorin bersifat karsinogenik; serta kandungan besi dan mangan dapat menyebabkan kerusakan organ-organ tubuh jika dikonsumsi dalam jangka waktu lama⁴⁴.

Berbagai penyakit juga dapat ditimbulkan akibat rendahnya kualitas air dan sanitasi, seperti (a) penyakit yang ditularkan langsung melalui air minum (*water borne diseases*) karena air yang diminum mengandung kuman patogen sehingga menyebabkan sakit (kolera, tifus, disentri); (b) penyakit yang berkaitan dengan kekurangan air higiene perorangan (*water washed diseases*), seperti skabies, infeksi kulit, dan selaput lendir, trakom, lepra; (c) penyakit yang penyebabnya memiliki sebagian siklus hidup yang berhubungan dengan air (*water based diseases*), seperti Schistosomiasis; (d) penyakit yang ditularkan oleh vektor penyakit yang sebagian atau seluruhnya perindukannya berada di air (*water related vectors*). Penyakit yang termasuk ke dalam kelompok ini adalah malaria, demam berdarah dengue, dan filariasis (kaki gajah)⁴⁵.

Oleh sebab itu, untuk mengatasi masalah kualitas sumber air sangat diperlukan pengembangan teknologi pengolahan air, khususnya untuk daerah marginal. Implementasi IPAG60 dapat menjadi solusi untuk meningkatkan kualitas air gambut menjadi air bersih/minum yang memenuhi standar kesehatan⁹.

3.3 Metode Peningkatan Kualitas Air Gambut

Sejauh ini telah dikembangkan beberapa metode untuk mengolah air, khususnya gambut, dalam skala laboratorium atau pilot, seperti penyerapan, filtrasi, koagulasi dan flokulasi, serta menggabungkan karbon aktif untuk konsentrasi tinggi senyawa organik. Hal penting yang perlu dicatat bahwa proses perawatan harus menjadi metode yang paling menguntungkan, layak secara ekonomi serta mudah dioperasikan untuk menghasilkan air berkualitas tinggi di lokasi tertentu⁴⁶.

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengolah air gambut menjadi air bersih, di antaranya adalah metode koagulasi dan flokulasi, metode absorpsi, dan metode filtrasi dengan membran. Dari hasil kajian dalam skala laboratorium, metode *reverse osmosis* (osmosis terbalik) dinilai paling baik dibandingkan metode koagulasi-flokulasi dan metode absorpsi walaupun ada permasalahan *fouling*⁴⁷. Jadi, kombinasi beberapa metode merupakan cara yang dinilai cukup efektif dan efisien untuk mengolah air gambut menjadi air bersih.

Meskipun ada kemajuan dalam penelitian untuk mengolah air baku yang berbeda, termasuk air gambut, masih ada beberapa kendala terkait dengan penyediaan air bersih di negara-negara berkembang. Kendala tersebut adalah faktor politik (sektor air dan sanitasi tidak dalam prioritas), keuangan (kemiskinan), kelembagaan (kurangnya lembaga yang tepat, lembaga yang tidak berfungsi), teknis (penyebaran permukiman dan faktor iklim, seperti banjir dan kekeringan), serta permasalahan ketidakberlanjutan layanan air bersih akibat kurangnya partisipasi masyarakat dan kurangnya penerimaan publik terhadap teknologi baru^{48,49}.

Bertolak dari kajian-kajian tersebut maka dikembangkan teknologi alternatif pengolahan air gambut dengan harapan dapat membantu masyarakat mengatasi kesulitan akses air bersih/minum yang layak pakai.

IV. PENGEMBANGAN DAN INOVASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR GAMBUT (IPAG60)

4.1 Proses Pengembangan

Perjalanan panjang aktivitas penelitian dalam upaya mencari solusi yang optimal terkait teknologi pengolahan air bersih/minum dengan berbagai jenis air baku telah dilakukan. Pengondisian awal air baku menggunakan beberapa jenis tanaman air, seperti *Myriophyllum* sp. terbukti dapat meningkatkan kualitasnya¹⁰. Sementara itu, air baku yang tercemar limbah domestik atau industri perlu ditingkatkan kualitasnya menggunakan metode lumpur aktif, yang proses oksidasi material/limbah organik dilakukan dengan bakteri aerobik^{12,13}. Dalam sistem lumpur aktif, proses bioflokulasi sangat menentukan terjadinya pemisahan air dan bahan pencemar⁵⁰. Konsentrasi biomassa⁵¹, waktu peremajaan bakteri⁵², atau keberadaan bakteri filamen^{53,54} diduga berperan penting dalam proses pengendapan lumpur aktif secara efektif.

Secara umum, kombinasi antara beberapa metode (*pre-treatment*, koagulasi, flokulasi, filtrasi, disinfeksi) masih merupakan pilihan terbaik, dalam sistem pengolahan air bersih/minum^{9,18}. Proses koagulasi dan flokulasi merupakan tahap penting dalam sistem ini karena hampir sebagian besar pemisahan air dan bahan pencemar terjadi^{8,11,13,15}. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas dan efisiensi proses koagulasi dan flokulasi sangat dipengaruhi oleh jenis koagulan (Lampiran 4)¹⁶, tingkat turbiditas dan pH air baku¹¹, serta waktu tinggal dalam instalasi¹⁷. Oleh karena itu, perlu ditentukan kondisi optimal operasional agar pengolahan air dapat memperoleh efisiensi yang diharapkan.

4.2 Inovasi dan Kebaruan IPAG60

Air gambut memiliki karakteristik yang berbeda dari air baku biasa sehingga perlu dilakukan beberapa inovasi dan penyesuaian untuk mengolahnya menjadi air bersih atau air minum⁵. Kajian komprehensif dan menyeluruh telah menghasilkan desain instalasi baru dengan beberapa karakteristik^{5,6}. Tingkat kekeruhan air gambut yang cenderung bervariasi memerlukan pengondisian awal untuk menstabilkannya pada tangki pengendapan¹⁶. Penyesuaian tingkat keasaman (pH) perlu dilakukan sebelum atau bersamaan dengan proses koagulasi dan menggunakan koagulan yang sesuai⁷. Tangki koagulator dan tangki flokulator telah didesain sedemikian rupa agar proses pembentukan flok serta pengendapannya dapat berjalan secara efektif dan efisien dalam waktu kurang dari 30 menit^{55,56,57}. Hal ini dilakukan agar dapat dipadukan dengan tangki sedimentasi yang memiliki struktur menyatu. Dengan demikian, komponen koagulator, flokulator, dan tangki sedimentasi secara fisik berbentuk kompak dan dapat memisahkan air bersih dari sebagian besar bahan pencemar (fisik, kimia, biologi) dalam air gambut dengan efisiensi di atas 90%⁹ (Lampiran 5). Filtrasi untuk menghilangkan bahan pencemar dan partikel-partikel halus yang lolos dari tahap sebelumnya dilakukan dengan menggunakan tangki filtrasi berkomposisi pasir silika beberapa ukuran dilengkapi karbon aktif^{18,55}. Tangki filter ini dapat bekerja lebih ringan karena sebagian besar bahan/partikel pencemar telah diendapkan pada tahap sebelumnya sehingga frekuensi pencucian filter (*back wash*) dapat dikurangi¹¹. Tahap akhir dari proses pengolahan air gambut menjadi air bersih/minum adalah menghilangkan bakteri pencemar yang mungkin masih ada dalam air produksi¹⁴. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hampir sebagian besar bakteri *E. Coli* dan *Coliform* yang ada di dalam air gambut telah hilang selama proses flokulasi dan sedimentasi^{18,55,58,59,60}.

Penambahan bahan disinfektan dalam jumlah minimal dapat menjadi pilihan mengingat penggunaan kombinasi sistem *reverse osmosis* (RO) dan tabung sinar ultraviolet (UV) memerlukan biaya yang relatif lebih mahal, mencapai 2–3 kali lipat^{16,49,61}. Selanjutnya, penampungan air bersih yang dihasilkan oleh IPAG60 dapat ditampung dalam tangki reservoir dan siap didistribusikan atau digunakan oleh masyarakat. Kombinasi antara peningkat pH dan koagulan serta desain konstruksi instalasi IPAG60 telah ditemukan sehingga proses koagulasi-flokulasi dan sedimentasi dapat menghasilkan efisiensi yang mencapai 90%^{16,18,55}. Penambahan disinfektan apabila diperlukan untuk menghilangkan sisa bakteri yang lolos, dapat menggunakan klorin atau gas klor dengan jumlah yang sangat sedikit dan relatif mudah ditemukan di pasaran apabila sistem RO dan UV tidak memungkinkan untuk digunakan^{6,9,61}.

4.3 Kinerja dan Reliabilitas IPAG60

Permasalahan kompatibilitas teknologi bagi masyarakat setempat menjadi masukan penting dalam pengembangan instalasi pengolahan air gambut (IPAG). Prinsip sederhana dan mudah dalam pengoperasian serta biaya produksi dan perawatan yang relatif murah merupakan beberapa aspek yang harus dipertimbangkan^{5,6}. Berdasarkan karakteristik dan kebutuhan masyarakat yang tinggal di perdesaan, dengan jumlah penduduk relatif tersebar maka IPAG dibuat dengan kapasitas produksi air bersih 60 liter per menit ($3,6 \text{ m}^3/\text{jam}$) dapat memenuhi 400–500 jiwa per hari apabila dioperasikan selama 10 jam (Lampiran 6). Edukasi dan keterlibatan masyarakat terhadap rencana implementasi IPAG60 di wilayahnya perlu dilakukan sejak awal agar pemanfaatan teknologi tersebut optimal dan berkelanjutan⁶.

Suatu instalasi pengolahan air dinilai andal apabila dapat memenuhi ambang batas pembuangan yang ditetapkan, tidak

ada pelanggaran terhadap batas baku mutu yang ditentukan oleh peraturan serta tidak mengalami kegagalan dalam prosesnya^{62,63,64}. Berdasarkan hal tersebut, uji kinerja dan reliabilitas terhadap IPAG60 dilakukan untuk mendapatkan informasi terkait kemampuan dan keandalan instalasi dalam mengolah air gambut yang berbeda, baik kualitas maupun lokasinya.

Hasil uji kinerja dan reliabilitas menunjukkan bahwa IPAG60 meningkatkan kualitas air gambut, yang berasal dari beberapa lokasi berbeda, secara signifikan⁹. Dengan menggunakan metode asesmen *Storet*, kualitas air bersih yang diproduksi oleh IPAG60 memiliki skor *Storet* total yang sama dengan 0, dan diklasifikasikan ke dalam kelas A dengan status baik dan memenuhi standar (Lampiran 6). Hasil ini juga didukung oleh nilai efisiensi peningkatan kualitas untuk tiga kelompok parameter fisika, kimia, dan biologi yang digunakan, yang mencapai di atas 90%⁴⁶.

Uji kemampuan IPAG60 untuk mengolah air baku selain air gambut juga telah dilakukan. Tiga jenis air baku yang berasal dari Situ Cibuntu, Cibinong¹¹, air Sungai Cikeas, Bogor³⁶ serta air Sungai Ciliwung, Bogor⁶⁴, dapat diolah menjadi air bersih dengan kualitas yang memenuhi baku mutu. Hal ini membuktikan bahwa IPAG60 memiliki kemampuan dan keandalan untuk menghasilkan air bersih dari berbagai jenis air gambut ataupun air nongambut dengan status baik dan memenuhi standar berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 492/2010⁶⁵.

V. IPAG60 SEBAGAI SOLUSI ALTERNATIF TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR GAMBUT MENJADI AIR BERSIH/MINUM

5.1 Keunggulan IPAG60

Inovasi teknologi IPAG60 telah berhasil dilakukan untuk menjawab sebagian permasalahan rendahnya akses air bersih/minum di daerah gambut. Beberapa kemajuan penting yang telah dicapai di antaranya adalah desain kompak yang mengintegrasikan tangki koagulator, flokulator, dan sedimentasi; kombinasi bahan pengolah air gambut yang efisien dan efektif; perangkat instalasi sistem *knock down*; pengoperasian dan perawatan yang mudah dan relatif murah¹⁸.

IPAG60 dengan desain kompak dan sistem *knock down* akan sangat memudahkan dalam mobilisasi dan pemasangannya di lokasi serta tidak membutuhkan lahan yang luas. Kapasitas produksi air bersih 60 liter per menit sangat cocok dengan sebaran penduduk di daerah gambut termasuk di wilayah transmigrasi di Kalimantan Tengah, dengan akses jalan darat yang belum memadai¹⁶.

Kombinasi bahan koagulan, peningkat pH, dan desain konstruksi instalasi yang optimal dapat mengurangi biaya produksi air bersih. Berdasarkan asumsi harga bahan-bahan pada periode 2009–2013 maka harga pokok produksi air bersih dari air gambut berkisar antara Rp5.000,—Rp10.000,— per m³, tergantung lokasinya⁸. Sistem pengoperasian dan perawatan IPAG60 yang relatif mudah dapat menjadi daya tarik tersendiri bagi masyarakat di daerah gambut. Implementasi IPAG60 di Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau dan di Kabupaten Katingan, Provinsi Kalimantan Tengah menunjukkan bahwa masyarakat

di Desa Tanjung Leban dan Desa Hyang Bana cukup cepat dalam mempelajari, memahami, dan mengoperasikan IPAG60 setelah mendapatkan pelatihan selama 1 minggu^{6,16} (Lampiran 7). Namun, antusiasme masyarakat di perdesaan perlu mendapat perhatian dan dukungan berupa peningkatan kapasitas personal atau kelembagaan di tingkat desa agar IPAG60 dapat digunakan secara optimal³. Masyarakat pada dasarnya telah memiliki kearifan lokal dalam mengelola air untuk memenuhi kebutuhannya. Sebagai sebuah sistem yang berbasis kearifan lokal, pengelolaan air dalam masyarakat memiliki ciri-ciri, yakni pengelolaan air merupakan identitas bagi komunitas, merupakan elemen perekat (kohesi) lintas warga, dan mendorong kebersamaan sebagai sebuah komunitas yang terintegrasi^{66,67,68}.

5.2 Paten Terakreditasi IPAG60

IPAG60, sebagai temuan baru, telah diproses dan mendapatkan perlindungan hak kekayaan intelektual (HKI) berupa paten yang telah terakreditasi (*granted*) oleh Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia (Kemenkumham) No. IDP000041590, Tahun 2016¹⁸. Aspek-aspek yang dilindungi dari temuan ini adalah desain alat meliputi penyesuai pH, koagulator, flokulator, tangki sedimentasi, tangki filtrasi, dan tangki air bersih/minum yang tersusun seperti dalam Lampiran 5 dan Lampiran 6 serta kombinasi bahan-bahan yang terdiri dari penetral keasaman (pH), koagulan, dan disinfektan, yang digunakan dalam proses pengolahan air gambut menjadi air bersih yang memenuhi standar kesehatan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 492/Menkes/Per/IV/2010⁶⁵.

Dalam implementasinya, IPAG60 telah mendapat pengakuan dari Kementrian Riset dan Teknologi RI, dengan memperoleh penghargaan dalam kategori “18 Inovasi Iptek Karya Anak Bangsa Tahun 2013” yang diberikan oleh Menteri Riset dan

Teknologi RI, Prof. Dr. M. Hatta (Lampiran 8)⁶⁹. Selain itu, LIPI juga memberikan penghargaan berupa Inventor LIPI 2017 yang diberikan oleh Kepala LIPI pada tanggal 23 Agustus 2017 (Lampiran 8)⁷⁰. Dukungan dari beberapa media nasional berupa artikel yang membahas IPAG60 telah diperoleh di antaranya Inovasi Iptek Anak Bangsa Pilihan Media Indonesia 2013⁷¹; Mengolah Air Gambut menjadi Air Sehat (Kompas 2012)⁷²; Air Gambut Disulap Lembut (Tabloid Prioritas 2014)⁷³; Pengolah Air Gambut menjadi Air Minum (Koran Sindo 2018)⁷⁴; Inovasi Teknologi Pengolahan Air untuk Daerah Marginal (DAII TV 2016)⁷⁵; dan Mencegah Generasi Stunting dengan Pola Hidup Bersih dan Sehat (Berita Satu TV 2018)⁷⁶.

Beberapa aspek yang perlu dikembangkan untuk melengkapi dan menyempurnakan kinerja IPAG60 di masa mendatang di antaranya adalah perangkat sistem otomatisasi, baik untuk pemantauan kualitas air baku maupun air produksi; pengaturan penambahan bahan koagulan ataupun bahan lainnya yang dapat dipantau secara *online* serta kompatibel dengan kondisi masyarakat di perdesaan; penggunaan bahan koagulan dengan ukuran nano diduga dapat meningkatkan efisiensi proses koagulasi dan proses pembentukan flok.

VI. KESIMPULAN

Kualitas air gambut yang sangat rendah dan tidak layak digunakan secara langsung dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan, seperti gigi keropos, kulit gatal-gatal, gangguan ginjal atau penyakit lainnya. Oleh karena itu, inovasi teknologi IPAG60 telah berhasil diterapkan dalam rangka memecahkan permasalahan rendahnya akses air bersih/minum di daerah gambut.

Berdasarkan karakteristik dan kebutuhan masyarakat yang tinggal di perdesaan, dengan jumlah penduduk relatif tersebar serta mempertimbangkan prinsip sederhana dan mudah dalam pengoperasian, juga relatif murah biaya produksi dan perawatannya, IPAG60 dapat mengolah berbagai jenis air gambut menjadi air bersih. Di samping itu, IPAG60 juga memiliki kemampuan dan keandalan untuk mengolah air nongambut. Hasil uji terhadap kualitas air menunjukkan bahwa air produksi IPAG60 memenuhi standar air golongan A. Di samping itu, beberapa kemajuan penting yang perlu dicatat adalah desain kompak yang mengintegrasikan tangki koagulator, flokulator, dan sedimentasi memudahkan mobilisasi; kombinasi bahan pengolah air gambut yang efisien dan efektif; perangkat instalasi sistem *knock down*; serta pengoperasian dan perawatan yang mudah dan relatif murah.

VII. PENUTUP

Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk terbesar keempat di dunia, yaitu sekitar 265 juta jiwa. Untuk itu, pemerintah memerlukan strategi khusus dalam memenuhi kebutuhan dasar, seperti air bersih dan sanitasi untuk mendukung terwujudnya masyarakat yang sehat dan produktif. Berbagai upaya yang telah dilakukan pemerintah dalam menyediakan layanan air bersih masih perlu ditingkatkan mengingat akses air bersih masih relatif rendah terutama bagi masyarakat yang berada di perdesaan.

IPAG60 sebagai salah satu inovasi teknologi untuk mengolah air gambut menjadi air bersih/minum dengan kualitas yang baik, dapat digunakan untuk mendukung upaya peningkatan layanan air bersih/minum di daerah gambut. IPAG60 dapat memproduksi air bersih untuk memenuhi kebutuhan 400–500 jiwa per hari. Sementara itu, beberapa aspek perlu dikembangkan ke depan untuk menyempurnakan dan meningkatkan kinerja dan reliabilitas IPAG60, yaitu pengintegrasian sistem pemantauan *online*, substitusi bahan koagulan dengan bahan yang berasal dari lokasi pemasangan, serta perbaikan sistem pergantian filter. Faktor sosial masyarakat juga perlu dipertimbangkan mengingat masyarakat telah memiliki kearifan lokal dalam mengelola air untuk memenuhi kebutuhannya. Implementasi konsep ekohidrologi yang mengintegrasikan empat prinsip, yaitu hidrologi, ekologi, ekoteknologi, dan budaya masyarakat dapat menjamin keberlanjutan ketersediaan sumber daya air di masa yang akan datang.

Dukungan terhadap penelitian dan pengembangan di bidang teknologi pengolahan air bersih dan air minum masih sangat diperlukan untuk mendukung percepatan peningkatan akses

air bersih/minum bagi semua penduduk. Selain itu, juga dalam rangka mengantisipasi semakin terbatasnya ketersediaan air baku yang memenuhi syarat, baik akibat dampak perubahan iklim, aktivitas antropogenik, maupun bencana alam. Di samping itu, peran serta para pemangku kepentingan (*stakeholders*), seperti Kementerian PUPR, Pemerintah Daerah, PDAM serta masyarakat sangat diperlukan dalam mendukung implementasi inovasi teknologi IPAG60 di wilayah yang memerlukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya akhiri orasi ini dengan mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus, Allah Sumber Pengharapan dan Air Kehidupan Kekal sehingga dengan izin-Nya, saya dapat menyampaikan orasi ini, setelah melalui proses dan tahapan yang sangat panjang. Dalam proses penulisan naskah orasi ini, berbagai pihak telah banyak memberikan dukungan, masukan konstruktif dan berharga, serta arahan ataupun bantuan, baik dari para senior, rekan sejawat, maupun keluarga.

Pertama, ucapan terima kasih saya haturkan kepada Presiden Republik Indonesia, Ir. H. Joko Widodo, yang telah menetapkan diri saya menjadi Peneliti Ahli Utama dalam menjalani karier sebagai Peneliti. Penghargaan dan ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala LIPI, Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc. yang telah mengizinkan saya melakukan orasi ini; Kepala LIPI tahun 2014–2017, almarhum Prof. Dr. Iskandar Zulkarnain yang telah memberikan semangat dan dorongan serta kesempatan dalam kancah internasional; Prof. Dr. Ir. Bambang Subiyanto, M.Agr. selaku Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset dan Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani selaku Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset yang juga memberikan masukan dan arahan dalam berbagai kesempatan; Sestama LIPI, Rr. Nur Tri Aries Suestiningtyas, M.A. yang selalu mendukung dan memberi masukan terkait pentingnya *positioning* dan *branding* organisasi; Deputy IPK LIPI, Prof. Dr. Zainal Arifin yang telah banyak memberikan arahan dan masukan kepada saya dalam menjalankan tugas, baik sebagai PME IPK maupun dalam organisasi internasional; para Deputy di Lingkungan LIPI; serta Tim Penelaah Naskah Orasi: Prof. Dr. Robert Delinom; Prof. Dr. I Made Sudiana, dan Prof. Dr. Hidayat Pawitan. Tentu ucapan terima kasih saya tujukan pula kepada Prof. Dr. Hery Harjono,

Prof. Dr. Tarzan Sembiring, dan Prof. Dr. Tri Nuke Pudjiastuti, yang telah menjadikan naskah orasi ini layak disampaikan pada sidang pengukuhan ini.

Kedua, ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. Dr. Hery Harjono, Kepala Puslit Limnologi LIPI periode 1998–2001, Deputi IPK LIPI periode 2006–2011, dan Direktur Eksekutif APCE 2011–2016 yang telah berbagi banyak ilmu, pengalaman, nasihat, dan arahan dalam mengelola organisasi secara komprehensif; seluruh pimpinan dan staf APCE untuk dukungan, kontribusi, dan *sharing*-nya selama ini dalam menjalankan organisasi; demikian juga kepada Kepala Puslit Limnologi LIPI lainnya (Prof. Anugerah Nontji; Prof. Peter Hehanusa (alm.), Prof. Dr. Gadis Sri Haryani, Dr. Tri Widiyanto, dan Dr. Fauzan Ali).

Ketiga, kepada Ketua Harian KNIU, Kemdikbud, Prof. Dr. Arief Rachman, yang selalu memberi nasihat serta dukungan dalam mengelola organisasi internasional; Direktur UNESCO Office Jakarta, Prof. Dr. Shahbaz Khan, sebagai sahabat sekaligus mitra kerja yang selalu mendukung dan memberikan masukan orisinal dan kreatif dalam mengelola organisasi internasional APCE sebagai UNESCO Category II Centre; Dr. Giuseppe Arduino dan Dr. Hans Thulstrup, UNESCO Senior Program Specialist, yang selalu cepat merespons dalam pelaksanaan program IHP dan UNESCO C2C; Kementerian Luar Negeri RI (Dr. Kamapradipta Isnomo, Direktur SOSBUD OINB; Mbak Elvie; Mas Oldrin) Prof. Dr. Y. Purwanto, Direktur Program MAB–LIPI, untuk kerja samanya selama ini.

Keempat, ucapan terima kasih kepada kolega, yang telah memberikan kontribusi sangat berharga dalam perjalanan karier akademis saya. Pimpinan dan staf pengelola Program Beasiswa LN OFP Kementerian Riset dan Teknologi RI periode 1987–

1996; Prof. Dr. Christian Prost dan Prof. Dr. Nicolas Roche (Supervisors S3), LSGC-ENSIC-INPL, Nancy-France; Dr. Genvieve Roques, Direktur CRIFIC; Prof. Dr. Jacques Bessiere (Supervisor S2), Université Nancy I, Nancy-France; Pimpinan dan staf KBRI di Paris; Rekan-rekan satu angkatan OFP3 di Nancy dan di Prancis; Rekan-rekan seangkatan diklat kepemimpinan LDP LIPI 2013; Saudara-saudara seiman dalam Nancy Christian Fellowship; Mr. Ev. Francois Longerong dari EEV-Nancy; Mr. Philippe Wagler dan keluarga; Mr. Guillaume Diou; Pelayanan Bersama Eropa: Dr. Alamsya Ganardi, Dr. Bambang Budijanto M.A. (ICDS), Ev. Daniel Alexander; Pdt. Sutadi Rusli (GBI), Dr. Rachmat Manullang, M.Si. (GKKD); Kepala Sekolah beserta para Guru SMAN I Wonosari Gunung Kidul (GK); Bapak Wendy Razief, Guru SMA Regina Pacis Bogor yang telah mendukung dan membantu pengurusan administrasi pendaftaran beasiswa ke Luar Negeri; Kepala Sekolah beserta para Guru SMPN I Wonosari GK; Kepala Sekolah beserta para Guru SDN II Semin GK.

Kelima, ucapan terima kasih dan apresiasi yang tinggi disampaikan kepada rekan-rekan Tim Penelitian Teknologi Pengolahan Air Bersih/Minum di P2 Limnologi: Eka Prihatinningtyas, S.T., M.T., Dr. Reliana Lumban Toruan, Bpk. Djoko Santoso, Fifia Zulti, M.Si., Hasan Fauzi, Eva Nafisyah A.Md., Nurul Setiadewi, S.T., Agus Nurhidayat, S.T.; Ir. Daryanta, M.Si. (PDAM); Sri Unon Purwati, M.Si. (KLHK), serta rekan-rekan lainnya atas dukungannya selama ini. Ucapan terima kasih kepada seluruh kolega di lingkungan LIPI, khususnya di Kedeputan IPK dan lebih terutama kepada kolega di P2 Limnologi yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama ini.

Keenam, ucapan terima kasih yang tidak terkira disampaikan kepada istri tercinta, Rahel Butar Butar, S.E., M.M. dan kedua

anak-anak saya, Reynard P. Sutopo dan Eldy N. Sutopo, yang tidak pernah bosan selalu memberikan semangat, dukungan, dan kasih. Kepada Bapak saya, Paulus Yustinus Paidi (alm.) dan Ibu saya, Maria Supiyati, yang tidak pernah lelah mengirim doanya dan telah membesarkan serta mendidik saya dengan penuh tanggung jawab dan kasih sayang; kepada kakak saya, C.J. Suharyadi (alm.) dan adik-adik saya: C.T. Lestari, Y. Basuki, dan Yustine N.S., untuk dukungan, doa serta kasih sayangnya; kepada Bapak mertua, Efraim Butar Butar (alm.) dan Ibu mertua Tioria Hasibuan (almh.) untuk dukungan doa, kasih, dan perhatiannya; Drs. Saidi Butar Butar (Anggota DPR RI Periode 2004–2009 dan 2009–2014), Sebulon Butar Butar, S.H., M.M. serta keluarga besar Butar Butar; kepada keluarga Bapak F.X. Toegiyo di Wonosari GK, keluarga Bapak Drs. Agus Taufiq, M.Si. di Bogor, keluarga Bapak Kapten Polisi (Purn.) Wakiman di Slipi Jakarta, keluarga Bapak Suparjan di Cibubur yang telah memberikan dukungan, doa, dan perhatiannya.

Terakhir, terima kasih saya sampaikan kepada Plt. Kepala Pusat Pembinaan, Pendidikan dan Pelatihan LIPI, Dr. Yan Rianto, M.Eng.; Kepala Biro Organisasi dan Sumber Daya Manusia LIPI, Dr. Heru Santoso, M.App.Sc.; Sekretariat Pengukuhan Profesor Riset, LIPI Press, Sekretaris Deputi IPK LIPI (Ibu Erly, Sdri. Fani, Nana, dan Hesti), Sekretariat dan Kepegawaian P2 Limnologi LIPI (Widya, Helmi (alm.), Retno L., dan Eka Purwarahayu), Sekretariat APCE (Prita Nuvatti, Nurya Utami, dan Pak Nalih) dan seluruh undangan sehingga acara ini dapat terselenggara dengan baik, lancar penuh hikmat. Dengan mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus, saya akhiri orasi ilmiah ini. Terima kasih atas perhatian para hadirin semua dan mohon maaf atas kekurangan dan kekhi-lafan dalam menyampaikan orasi ilmiah ini.

Terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

1. Annan K (*former UN General Secretary*). Meeting the promises of the World Summit for Children. Prepared by UNICEF for the United Nations; September 2001. 102 hlm.
2. **Sutapa IDA**. Ecohydrology approach to support water security challenges in marginal areas. 8th UNESCO Global FRIEND-Water Conference; Beijing–China, 6–9 November 2018; 41–45.
3. **Sutapa IDA**. Tantangan Pemerintah dalam mewujudkan air guna pakai. Dalam APCE Best learning pengelolaan sumber daya air. Yogyakarta: Penerbit Sekolah PascaSarjana UGM; 2018. 37–51.
4. **Sutapa IDA**. Problem of water services in Indonesia and alternative solutions to increase water services level. International Conference on Water Processing for Sustainable Development. In Islamabad-Pakistan, 1–2 Agustus 2017; 205–211.
5. **Sutapa IDA**, Daryanta, Prihatinningtyas E, Nafisyah E, Santoso D. Implementasi teknologi pengolahan air bersih untuk daerah gambut. Tinjauan limnologis permasalahan dan solusi perairan darat Indonesia; 2013. 145–158.
6. **Sutapa IDA**, Toruan RL. Pengembangan instalasi pengolahan air gambut (IPAG60) di area Cagar Biosfer Giam Siak Kecil Bukit Batu, Propinsi Riau. Jakarta: Man and the Biosphere (MAB)–UNESCO; 2013. 120.
7. **Sutapa IDA**. Kualitas air gambut Sungai Sala, Kabupaten Katingan–Kalimantan Tengah. Jurnal Oseanologi dan Limnologi di Indonesia. 2014; 40(3): 335–346.
8. **Sutapa IDA**. Perbandingan efisiensi koagulan poli aluminium khlorida dan aluminium sulfat dalam menurunkan turbiditas air gambut dari Kabupaten Katingan Provinsi Kalimantan Tengah. Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan. 2014; 24(1): 13–21.
9. **Sutapa IDA**. Study of IPAG60 Plant performance reliability in treating different peat water to support clean water services in peatland areas. Jurnal Teknologi Indonesia. 2017; 40(3): 97–107.

10. **Sutapa IDA**, Prihatinningtyas E, Nopianti D. 2006. Pemanfaatan gulma air *Myriophyllum sp.* sebagai biofilter yang ditanam dalam tangki tersusun seri. Prosiding Seminar Nasional Limnologi, Pengelolaan Sumberdaya Perairan Darat Secara Terpadu; 2006. 175–182.
11. **Sutapa IDA**, Prihatinningtyas E, Setyaningsih TY. Efisiensi instalasi pengolahan air bersih dengan air baku dari Situ Cibuntu–Cibinong. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Lingkungan III; 2005.136–142.
12. **Sutapa IDA**. Kajian unjuk kerja reaktor seri dalam menurunkan beban organik dan mencegah bulking. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia II. Jakarta, 21–22 Maret 2000; D1.1–D1.8.
13. **Sutapa IDA**, Hoerunisa. Pengaruh koagulasi terhadap efisiensi penyisihan COD dalam pengolahan limbah cair industri tekstil. Prosiding Seminar Nasional Tjipto Utomo. ITENAS, Bandung 12 Agustus 2004; C1.1–C1.6.
14. **Sutapa IDA**, Prihatinningtyas E, Soviandi M. Pengaruh *sludge volume index* pada pola pengendapan *activated sludge* dalam sistem pengolahan limbah cair industri tekstil. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Teknologi Oleo & Petrokimia Indonesia. Pekanbaru, 21 Desember 2005; A01.1–A01.9.
15. **Sutapa IDA**, Setyaningsih TY. Efektivitas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sebagai koagulan partikel koloid air tergenang dari Situ Cibuntu. Prosiding Seminar Nasional Viable Manufacturing System. Yogyakarta, 17 Juli 2004; 605–610.
16. **Sutapa IDA**, Daryanta, Toruan RL, Prihatinningtyas E, Nafisyah E, Santoso D. Inisiasi implementasi teknologi pengolahan air bersih untuk daerah gambut. Tinjauan Limnologis Permasalahan dan Solusi Perairan Darat Indonesia; 2012. 111–122.

17. **Sutapa IDA.** Resident time distribution determination of IPAG60 in order to increase efficiency of drinking water treatment plant for peatland area. International Conference on Application of Radiation Science and Technology (ICARST). Vienna-Austria, 24–28 April 2017; PB 381–386.
18. **Sutapa IDA.** Paten *Granted*. Unit pengolahan air baku menjadi air bersih. No. IDP000041590. 14 April 2016; 2016.
19. Ingraham P. Ugly bags of mostly water: The chemical composition of human biology. Vancouver–Canada; 2017. <https://www.pain-science.com/articles/mostly-water.php>. Diakses pada Februari 2019.
20. Laskey J. The health benefits of water: We all need water to survive, but how exactly does it help? <https://www.everydayhealth.com/water-health/water-body-health.aspx>. Terakhir diperbarui 16 Februari 2015.
21. Gleick PH. Basic water requirements for human activities: meeting basic needs. Water International, 1996; 21(2): 83–92. Printed in the USA: IWRA; 27 Mei 2014. Tersedia pada <https://www.researchgate.net/publication/245581462>.
22. Direktorat Jenderal Cipta Karya. Satu orang Indonesia konsumsi air rata-rata 144 liter/hari. <http://ciptakarya.pu.go.id/v3/news.php?id=IOI>; 2007.
23. Reid A. Asia Tenggara dalam kurun niaga 1450-1680. Jakarta: Yayasan Pustaka Obor Indonesia; 2014. 322 hlm.
24. Badan Pendukung Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum (BPPSPAM) Kementerian PUPR. Beberapa catatan sejarah air minum Indonesia 1800–2005: bunga rampai perkembangan air minum di Indonesia. Jakarta: BPPSPAM; 2015. 88 hlm.
25. The World Bank. Indonesia - Enabling water utilities to serve the urban poor. Washington, DC: World Bank; 2016. 85 hlm. <http://documents.worldbank.org/curated/en/600501468044120733/Indonesia-Enabling-water-utilities-to-serve-the-urban-poor>.

26. The World Bank. Making the New Indonesia Work for the Poor. Washington, DC: World Bank; 2006. 359 hlm. <http://documents.worldbank.org/curated/en/880681468267341607/Making-the-new-Indonesia-work-for-the-poor>.
27. Najm I, Trussell RR. 11 New and emerging drinking water treatment technologies. Identifying Future Drinking Water Contaminants. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/9595; 1999. 220–260.
28. Wenten IG. Teknologi membran dan aplikasinya di Indonesia. Bandung: Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung; 2010. 57 hlm.
29. ANSI/NSF Standard 55-1991. Ultraviolet microbiological water treatment systems. Ann Arbor, Mich.: NSF International; 1991. 30 hlm.
30. Aieta EM, Reagan KM, Lang JS. Advanced oxidation processes for treating groundwater contaminated with TCE and PCE: Pilot-scale evaluations. Journal of the American Water Works Association. 1988; 80(5): 64–72.
31. Bessiere J, Kleber A, **Sutapa IDA**, Perdicakis M. Dielectric control of the behaviour of ion-exchange resins. Sensors and Actuators B: Chemical. 1995; 27(1–3): 411–413.
32. **Sutapa IDA**. Physico-chemical properties and settleability of activated sludge in relation with oxygen transfer and biofloculation in waste water treatment plant system [PhD Thesis]. [Nancy-France]: Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL); 27 Juni 1996; 198 hlm.
33. Jimenez-Cisneros B. Summary of Evaluations: Main Achievements of IHD and IHP. Water People and Cooperation. 50 Years of Water Program for Sustainable Development at UNESCO. Prancis: UNESCO; 2015. 74–81.
34. Purwati SU, **Sutapa IDA**. Keanekaragaman hayati mikrobiota di beberapa Sungai Prokasi. Jurnal Studi Pembangunan, Masyarakat dan Lingkungan. 1999; 1(3): 12–24.

35. **Sutapa IDA**, Purwati U, Sudarso Y, Suryono T, Sulawesti F, Apip, NomosatRIO S, Ridwansyah I. 1998. Study of water quality effect on macroinvertebrate community structure at Angke and Ciliwung Rivers. UNESCO Office Jakarta: Regional Science Bureau for Asia and The Pacific; 75 hlm.
36. **Sutapa IDA**. Potency of Cikeas River as source of raw water for drinking water treatment plant. Proceedings International Conference on Ecohydrology. Yogyakarta, 10–12 November 2014; 203–214.
37. Toruan RL, **Sutapa IDA**. Water Quality and Water Use in Peatlands Area of the Transitional Zone of Giam Siak Kecil–Bukit Batu Biosphere Reserve, Sumatera Island. Proceedings of The 10th International Symposium on Southeast Asian Water Environment. 2012; 20–25.
38. **Sutapa IDA**, Maftuah E, Sunaryani A, Pawitan H. Comprehensive ecohydrology study to support agriculture and water resources management in peatland area–Central Kalimantan. Jurnal Teknologi Indonesia. 2017; 40(2): 66–75.
39. **Sutapa IDA**, Aini L. Uji korelasi pengaruh limbah tapioka terhadap kualitas air sumur di Desa Karadenan Kabupaten Bogor. Jurnal Limnotek Tahun. 2000; II(1): 52–70.
40. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian, Kementerian Pertanian RI. Laporan tahunan 2008: Konsorsium penelitian dan pengembangan perubahan iklim pada sektor pertanian. Bogor: BB Litbang SDLP, Kementerian Pertanian RI. 2008; 235 hlm.
41. **Sutapa IDA**. Classification of peat water quality in Giam Siak Kecil, Bukit Batu Biosphere Reserve Area, Riau Province. Jurnal Teknologi Indonesia. 2015; 38(2): 82–92.
42. Menteri Kesehatan Republik Indonesia. Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/Menkes/Sk/Vii/2002 Tanggal 29 Juli 2002 tentang Syarat-syarat dan pengawasan kualitas air minum; 2002.

43. Mu'min B. Penurunan zat organik dan warna pada pengolahan air gambut menggunakan membran ultrafiltrasi dengan aliran cross flow yang didahului dengan proses koagulasi/flokulasi dan adsorpsi karbon aktif [Tesis]. [Bandung]: Teknik Lingkungan ITB; 2002. 76 hlm.
44. Mangmeechai A, Chaiwatpongsakorn C, Marhaba TF, Wattanachira S. Trihalomethane formation potential of shrimp farm effluents in Chachoengsao Province, Thailand. Songklanakarin J. Sci. Technol (Suppl. 1). 2004: 185–198.
45. World Health Organization (WHO), Health and sustainable development. Water-related Diseases. https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/diseases/; 2018.
46. **Sutapa IDA**, Prihatinningtyas E, Daryanta. IPAG60 as alternative solution to provide clean water in peatland areas. Proceedings of the Sustainable Urban Water International Seminar (SUWIS); 24 Januari 2019. Bogor; (*under printing*).
47. Dzulkhairi H. Teknologi pengolahan air gambut Indonesia. Article December 2015, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung. <https://www.researchgate.net/publication/287647501>; 2015: 1–8.
48. Carter RC, Tyrrel SF, Howsam P. Impact and sustainability of community water supply and sanitation programmes in developing countries. Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management. 1999; 13: 292–296.
49. Brikké F, Bredero M. Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply and sanitation. Geneva: WHO and IRC Water and Sanitation Centre; 2003. 136 hlm.
50. **Sutapa IDA**. Teori bioflokulasi sebagai dasar pengelolaan sistem lumpur aktif. Jurnal Studi Pembangunan, Kemasyarakatan dan Lingkungan. Februari 2000; 2(1): 77–84.

51. **Sutapa IDA**, Sofyandi, Hoerunisa. Pengaruh konsentrasi biomassa terhadap pola pengendapan lumpur aktif dari sistem pengolahan limbah cair industri tekstil. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia & Proses; 21–22 Juli 2004. Semarang. H6.1–H6.7.
52. **Sutapa IDA**, Respati VMNR. Pengaruh waktu peremajaan terhadap kinetika pertumbuhan bakteri filamen. Prosiding Seminar Nasional PIT PERMI 2004; 27–28 Agustus 2004. Semarang. 1–11.
53. **Sutapa IDA**, Koamesakh R, Respati VMNR, Santoso D. Studi awal bakteri filamen sebagai bahan bantu koagulan dalam sistem pengolahan air bersih: isolasi dan kinetika pertumbuhan. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Lingkungan II; 6–7 Oktober 2004. ITS Surabaya. 3.1.8–3.1.13.
54. **Sutapa IDA**, Octaviani S, Nurwidyohening W. 2004. Isolasi dan karakterisasi morfologi bakteri filamen dari sistem pengolahan limbah cair industri tekstil. Prosiding Seminar Nasional Viable Manufacturing System; 17 Juli 2004. Yogyakarta. 563–569.
55. **Sutapa IDA**. Coagulation-flocculation efficiency level of water treatment plant prototype. Jurnal Teknologi Indonesia. 2014; 37(2): 100–105.
56. **Sutapa IDA**. Efisiensi penambahan koagulan dalam proses koagulasi air gambut di Propinsi Kalimantan Tengah. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Lingkungan VI 2009; 10 Agustus 2009. Surabaya. 210–216.
57. **Sutapa IDA**, Koamesakh R. Kombinasi $Al_2(SO_4)_3$ dan bentonit untuk meningkatkan kualitas flok dan efisiensi koagulasi. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia & Proses; 23–24 Juli 2003. Semarang. F12.1–F12.5.
58. **Sutapa IDA**, Setyaningsih TY, Santoso D. Studi kinetika pertumbuhan bakteri indikator pencemar sebagai dasar pengelolaan kualitas air minum. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Lingkungan II; 6–7 Oktober 2004. ITS Surabaya. 3.2.7–3.2.14.

59. **Sutapa IDA**. Efisiensi penurunan jumlah bakteri indikator pencemar dalam sistem pengolahan air bersih skala pilot. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”; 26 Januari 2010. Yogyakarta. J06.1–J06.6.
60. **Sutapa IDA**. Pengaruh penambahan koagulan terhadap efisiensi penurunan jumlah bakteri indikator pencemar dalam sistem pengolahan air bersih. Jurnal Limnotek Perairan Darat Tropis di Indonesia. 2013; 20(2): 200–206.
61. **Sutapa IDA**, Setyaningsih TY, Santoso D. Kajian efektivitas klorin sebagai disinfektan dalam pengolahan air bersih dengan air baku Situ Cibuntu. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Lingkungan II; 6–7 Oktober 2004. ITS Surabaya. 3.1-1–3.1-7.
62. Metcalf & Eddy. Wastewater engineering treatment and reuse. 4th Edition. Tchobanoglous G, Burton FL, Stensel HD. New York: Metcalf & Eddy, Inc.; 2003.1819 hlm.
63. Kottegoda NT, Rosso R. Statistic, probability, and reliability for civil and environmental engineers. 2nd Edition. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.; 2008.718 hlm.
64. **Sutapa IDA**. Efektifitas bentonit sebagai bahan bantu koagulan pada tahap flokulasi: kasus air baku dengan tingkat kekeruhan rendah. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia V; 2003: D3.1–D3.7.
65. **Sutapa IDA**. Optimalisasi dosis koagulan aluminium sulfat dan poli-aluminium klorida (PAC) untuk pengolahan air sungai Tanjung dan Kreung Raya. Jurnal Teknik Hidraulik. 2014; 5(1): 29–42.
66. Sufia R, Sumarmi, Amirudin A. Kearifan lokal dalam melestarikan lingkungan hidup (Studi kasus masyarakat adat Desa Kemiren Kecamatan Glagah Kabupaten Banyuwangi). Jurnal Pendidikan. April 2016; 1(4): 726–731.

67. **Sutapa IDA.** Ecohydrology approach to support water security challenges in marginal areas. 8th UNESCO Global FRIEND-Water Conference. Beijing-China; 6–9 November 2018. 41–45.
68. **Sutapa IDA.** APCE–UNESCO contribution in Implementing ecohydrology concept and approach for sustainable water resources management in Asia and The Pacific Region. International seminar of i-WWSM. in Daejeon-Korea; 12 Mei 2017: 26–31.
69. **Sutapa IDA.** Penghargaan inovasi IPAG60 pada kategori “18 Inovasi Iptek Karya Anak Bangsa Tahun 2013” dari Menteri Riset dan Teknologi RI, Prof. Dr. M. Hatta, 29 Agustus 2013.
70. **Sutapa IDA.** Penghargaan sebagai inventor LIPI 2017 dari Kepala LIPI pada tanggal 23 Agustus 2017.
71. **Sutapa IDA.** Mengejar target air bersih 2015. Rubrik Kiprah, Koran Media Indonesia. Edisi Minggu, 24 Februari 2013.
72. **Sutapa IDA.** Akses air bersih: Mengolah air gambut menjadi air sehat. Rubrik Iptek, Koran Kompas. Edisi Jumat, 3 Agustus 2012:14.
73. **Sutapa IDA.** Air gambut disulap lembut. Rubrik Iptek, Tabloid Prioritas. Edisi 34/Tahun I, 3–9 September 2012.
74. **Sutapa IDA.** Pengolah air gambut menjadi air minum. Rubrik Sains, Koran Sindo. Edisi Minggu, 15 Juli 2018.
75. **Sutapa IDA.** Inovasi teknologi pengolahan air untuk daerah marginal. DAAI TV. 23 Maret 2016.
76. **Sutapa IDA.** Mencegah generasi stunting dengan pola hidup bersih dan sehat. Berita Satu TV–Lunch Talk 13.00–14.00, Jakarta 9 April 2018.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Air baku marginal merupakan air baku, yang tersedia untuk diolah menjadi air bersih atau air minum, dengan kualitas yang sangat rendah (masuk golongan C atau D). Air baku yang termasuk dalam kategori ini adalah air gambut, air payau, air tercemar, dan air banjir.

Lampiran 2. Keterbatasan akses air bersih memaksa masyarakat setempat menggunakan air gambut untuk mandi, mencuci, sanitasi dan lain-lain.



Foto: Ignasius Dwi Atmana Sutapa (2012)

Gambar 1. Anak-anak sedang mandi di sungai air gambut (kiri) dan masyarakat sedang mencuci alat masak di air sungai gambut (kanan) (dokumen pribadi).

Lampiran 3. Klasifikasi kualitas air dengan menggunakan metode Storet. Tiga kelompok parameter fisika, kimia dan biologi, digunakan untuk menilai berdasarkan aturan yang ditampilkan dalam Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Penentuan Sistem Nilai untuk Status Kualitas Air⁷

Number of Parameter	Values	Parameter		
		Physical	Chemical	Biologycal
<10	Maximum	-1	-2	-3
	Minimum	-1	-2	-3
	Average	-3	-6	-9
>10	Maximum	-2	-4	-6
	Minimum	-2	-4	-6
	Average	-6	-12	-18

Table 2. Klasifikasi Status Kualitas Air dengan Metode Storet⁷

Classification	Status	Water quality	Score
Class A	Good	Meet the standard	0
Class B	Fair	Slighly polluted	-1 s/d -10
Class C	Bad	Polluted	-11 s/d -30
Class D	Very Bad	Highly polluted	≥ -31

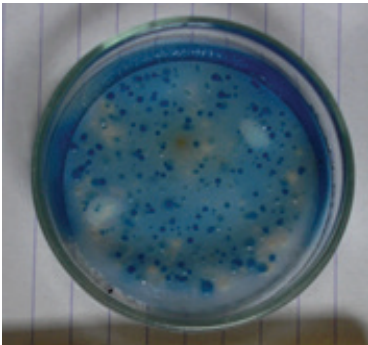
Tabel 3. Contoh Hasil Analisis Kualitas Air Gambut⁷

No	Parameter	Unit	Standar*	Score
Physical parameter				
1	Color	TCU	15	-1
2	Odour	-	Odourless	-1
3	Taste	-	Tasteless	-1
4	Conductivity	mS/cm	-	0
5	Turbidity	NTU	5	-1
6	Dissolved oxygen	mg/l	-	0
7	Temperature	°C	Air Temp.	0
8	Salinity	%	-	0
Chemical parameter				
1	pH	-	6.5 – 8.5	-12
2	Ammonia	mg/l	1.5	0
3	Nitrate	mg/l	50	0
4	Nitrite	mg/l	3	0
5	Total N	mg/l	-	0
6	Total P	mg/l	-	0
7	Sulphate	mg/l	250	0
8	TOM	mg/l	-	0
9	TDS	mg/l	500	-4
10	Iron (Fe)	mg/l	0,3	0
11	Manganese (Mn)	mg/l	0,1	0
12	TOM	mg/l	-	0
Biological parameter				
1	<i>E. Coli</i>	Col/100 ml	0	-3
2	<i>Coliform</i>	Col/100 ml	0	-3
Total score = -26 (<i>polluted</i>)				-26

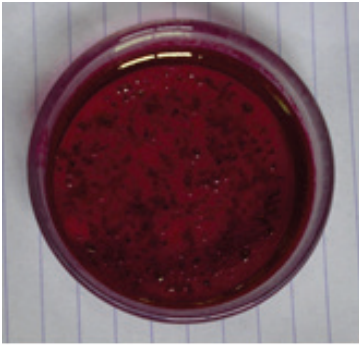
*) Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 492/2010.

Tabel 4. Contoh Hasil Klasifikasi Kualitas Air Gambut setelah Diolah dengan IPAG60⁴¹

Parameter	Unit	Standard*	Peat water	Treated water	Storet score
Color	TCU	15	462 - 503	2	0
Odour	-	Odourless	Odour	Odourless	0
Taste	-	Tasteless	Sour	Tasteless	0
Turbidity	NTU/ FAU	5	7.5	1	0
pH	-	6.5-8.5	3.52	6.7	0
Iron (Fe)	Mg/l	0.3	0.174	< 0.009	0
Manganese (Mn)	Mg/l	0.1	0.071	0.039	0
Total score = 0 (<i>meet the standard</i>)					0



A

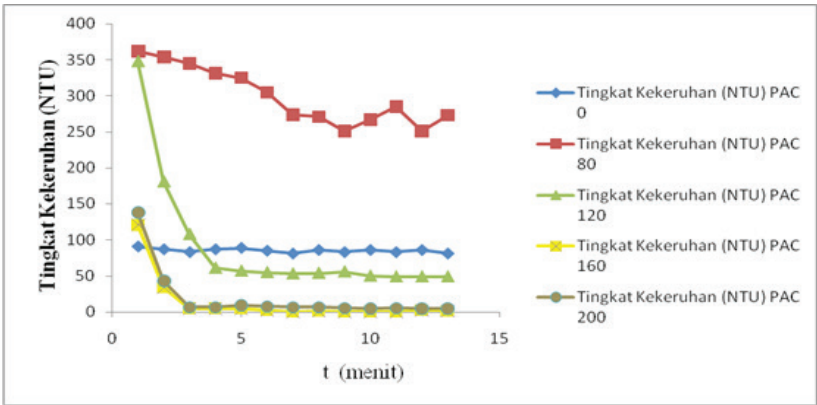


B

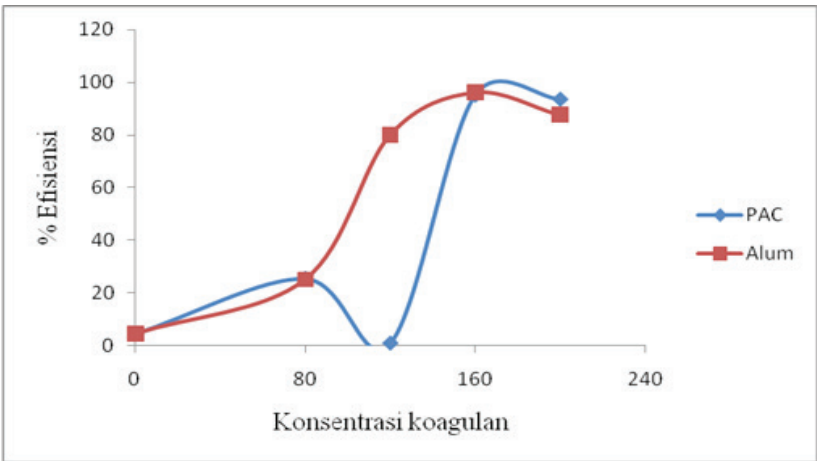
Foto: Ignasius Dwi Atmana Sutapa (2012)

Gambar 2. (A) Koloni *E. Coli*; (B) Koloni Coliform

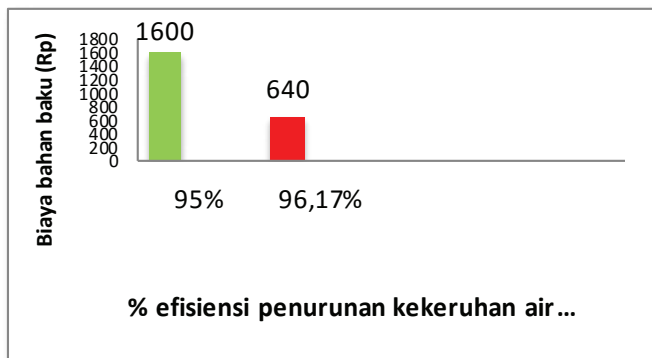
Lampiran 4. Penentuan kondisi optimal koagulasi/flokulasi sebagai dasar perancangan desain instalasi.



Gambar 3. Contoh Pola Variasi Tingkat Kekeruhan setelah Penambahan Koagulan⁸



Gambar 4. Persentase Efisiensi Penurunan Kekeruhan⁸

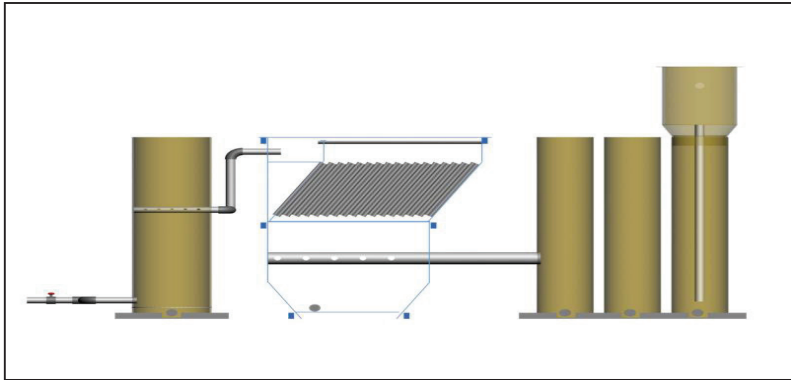


Gambar 5. Persentase Efisiensi Koagulan dan Harga Bahan Baku⁸

Lampiran 5. Parameter Kunci dan Desain IPAG60

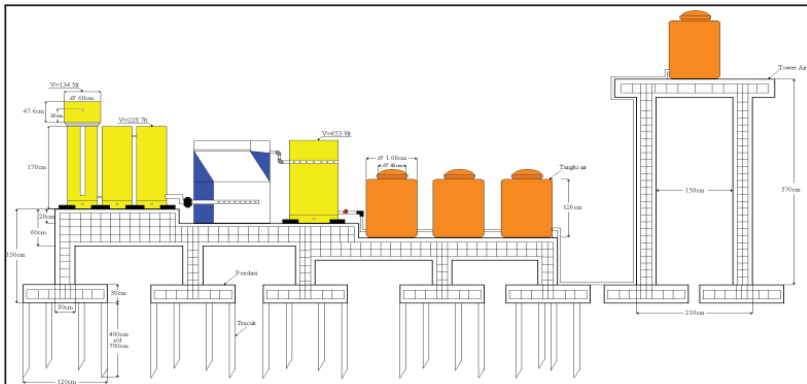
Tabel 5. Rekapitulasi Parameter untuk Rancangan Design IPAG60⁶

No.	Parameter	Terukur	Rancangan IPAGambut	Referensi IPABersih
1	Ts (waktu sedimentasi)	< 5 mn	30 mn	30 mn
	Vs (kecepatan sedimentasi)	0.9 m/jam	0.6–1.2 m/jam	0.6–1.2 m/jam
2	VI (Volume lumpur) 30 mn	20–25 ml/L	40–50 ml/L	10–15 ml/L
3	Kecepatan pengadukan di koagulator (Flash Mix)	100 RPM G : 500–1000	100 RPM G : 500–1000	100 RPM G : 500–1000
4	Kecepatan pengadukan di flokulator (Slow mix)	20 RPM G : 100–20	20 RPM G : 100–20	20 RPM G : 100–20



Gambar 6. Desain IPAG60¹⁸

Lampiran 6. Rancangan instalasi IPAG60 perlu disesuaikan dengan kondisi lapangan di daerah gambut yang memerlukan konstruksi fondasi khusus.



Gambar 7. Desain Konstruksi IPAG 60 Terpasang dengan Fondasinya¹⁸

Tabel 6. Contoh Hasil Uji Kinerja IPAG60⁹

Parameter	Peat Water			Clean Water		
	TL	KH	HB	TL	KH	HB
Physical	-4	-6	-5	0	0	0
Chemical	-12	-20	-16	0	0	0
Biological	-6	-6	-6	0	0	0
Total	-22	-32	-27	0	0	0
Storet Score						
Classification	C	C	C	A	A	A
Status	Bad	Very Bad	Bad	Good	Good	Good
Water Quality	Polluted	Highly Polluted	Polluted	Meet the Standard	Meet the Standard	Meet the Standard

*Ket.: TL: Tanjung Leban; KH: Katingan Hilir; HB: Hyang Bana.

Lampiran 7. Sosialisasi dan partisipasi masyarakat lokal sangat penting dimulai dari perencanaan, pembangunan, pengoperasian dan pemeliharaan instalasi untuk mendukung optimalisasi pemanfaatan IPAG60 secara berkelanjutan.



Foto: Ignasius Dwi Atmana Sutapa (2013)

Gambar 8. Pelatihan Calon Operator IPAG60 dari Warga Masyarakat Setempat



Foto: Ignasius Dwi Atmana Sutapa (2013)

Gambar 9. Masyarakat sangat antusias untuk dapat menyediakan air bersih dengan mengolahnya sendiri.

Lampiran 8. Penghargaan terhadap inovasi teknologi IPAG60 dari Menristek RI dan Kepala LIPI.



Foto: Ignasius Dwi Atmana Sutapa (2013)

Gambar 10. Penghargaan Kategori “18 Inovasi Iptek Karya Anak Bangsa” dari Menristek RI, 29 Agustus 2013



Foto: Ignasius Dwi Atmana Sutapa (2017)

Gambar 11. Penghargaan Kategori “Inventor LIPI 2017” dari Kepala LIPI, 23 Agustus 2017

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Buku

1. **Sutapa IDA**. Tantangan pemerintah dalam mewujudkan air guna pakai. Buku APCE Best Learning Pengelolaan Sumber Daya Air. Yogyakarta: Penerbit Sekolah Pasca Sarjana UGM; 2018. 37–51.
2. **Sutapa IDA**, Toruan RL. Pengembangan instalasi pengolahan air gambut (IPAG60) di area cagar biosfer giam siak kecil bukit batu, Propinsi Riau. Jakarta: Man and the Biosphere (MAB)–UNESCO; 2013. 120 hlm.
3. **Sutapa IDA**, Purwati U, Sudarso Y, Suryono T, Sulawesti F, Apip, Nomosatrio S, Ridwansyah I. Study of water quality effect on macroinvertebrate community structure at Angke and Ciliwung Rivers. UNESCO Office Jakarta: Regional Science Bureau for Asia and The Pacific; 1998. 75 hlm.

Bagian dari Buku

4. **Sutapa IDA**, Daryanta, Prihatinningtyas E, Nafisyah E, Fauzi H. Pembuatan *blue print* teknologi pengolahan air bersih untuk PDAM berbasis air gambut. Tinjauan limnologis permasalahan dan solusi perairan darat Indonesia; 2014. 163–174.
5. **Sutapa IDA**, Daryanta, Prihatinningtyas E, Nafisyah E, Santoso D. Implementasi teknologi pengolahan air bersih untuk daerah gambut. Tinjauan limnologis permasalahan dan solusi perairan darat Indonesia; 2013. 145–158.
6. **Sutapa IDA**, Daryanta, Toruan R.L., Prihatinningtyas E., Nafisyah E. dan Santoso D. Inisiasi implementasi teknologi pengolahan air bersih untuk daerah gambut. Tinjauan limnologis permasalahan dan solusi perairan darat Indonesia; 2012. 111–122.

Jurnal Internasional

7. **Sutapa IDA**. Managing water: from local wisdom to modern science. Free flow, reaching water security through cooperation. London: UNESCO Publishing, Tudor Rose. 2013; 188–191.
8. **Sutapa IDA**. IPAG60: alternative technology to provide clean water in peatland area. *Journal of Hydrological Environment (JHE)*. 2013; 301–306.
9. Bessiere J, Kleber A, **Sutapa IDA**, Perdicakis M. Dielectric control of the behavoir of ion-exchange resins. *International Journal of Sensors and Actuators B: Chemical*. 1995; 27(1–3): 411–413.

Jurnal Nasional

10. **Sutapa IDA**. Study of IPAG60 plant performance reliability in treating different peat water to support clean water services in peatland areas. *Jurnal Teknologi Indonesia*. 2017; 40(3): 97–107.
11. **Sutapa IDA**, Maftuah E, Sunaryani A, Pawitan H. Comprehensive ecohydrology study to support agriculture and water resources management in peatland area–Central Kalimantan. *Jurnal Teknologi Indonesia*. 2017; 40(2): 66–75.
12. **Sutapa IDA**. Classification of peat water quality in Giam Siak Kecil, Bukit Batu Biosphere Reserve Area, Riau Province. *Jurnal Teknologi Indonesia*. 2015; 38(2): 82–92.
13. **Sutapa IDA**, Widiyanto T. Kualitas mikrobiologis air sungai dan pipa distribusi di Kabupaten Aceh Besar dan Kota Banda Aceh. *Jurnal Limnotek Perairan Darat Tropis di Indonesia*. 2014; 21(2): 135–144.
14. **Sutapa IDA**. Perbandingan efisiensi koagulan poli aluminium khlorida dan aluminium sulfat dalam menurunkan turbiditas air gambut dari Kabupaten Katingan Provinsi Kalimantan Tengah. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*. 2014; 24(1): 13–21.
15. **Sutapa IDA**. Optimalisasi dosis koagulan aluminium sulfat dan poli-aluminium klorida (pac) untuk pengolahan air Sungai Tanjung dan Kreung Raya. *Jurnal Teknik Hidraulik*. 2014; 5(1): 29–42.

16. **Sutapa IDA**. Coagulation-flocculation efficiency level of water treatment plant prototype. *Jurnal Teknologi Indonesia*. 2014; 37(2): 100–105.
17. **Sutapa IDA**, Toruan RL. The effect of coagulant type on color reduction variation pattern of peat water in coagulation-flocculation process. *Jurnal Teknologi Indonesia*. 2014; 37(3): 115–122.
18. **Sutapa IDA**. Kualitas air gambut Sungai Sala, Kabupaten Katingan–Kalimantan Tengah. *Jurnal Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. 2014; 40(3): 335–346.
19. **Sutapa IDA**. Pengaruh penambahan koagulan terhadap efisiensi penurunan jumlah bakteri indikator pencemar dalam sistem pengolahan air bersih. *Jurnal Limnotek Perairan Darat Tropis di Indonesia*. 2013; 20(2): 200–206.
20. **Sutapa IDA**. Peran APCE sebagai katalisator kearifan dalam pengelolaan sumber daya air berkelanjutan. *Warta Limnologi*. Juni 2013; XXVI(50): 1–6.
21. **Sutapa IDA**, Shierly Z. Definisi, dampak dan solusi fenomena pemanasan global: apa yang dapat kita lakukan? *Jurnal Transformasi STT INTI*. Agustus 2008; 4(2): 71–82.
22. **Sutapa IDA**, Prihatinningtyas E, Indalao IL. Mekanisme penurunan jumlah bakteri indikator dalam proses koagulasi flokulasi. *Jurnal Purifikasi, Jurnal Teknologi dan Manajemen Lingkungan*. Desember 2007; 8(2): 97–102.
23. **Sutapa IDA**, Riansoni Y. Modifikasi model renko untuk memprediksi pola pengendapan lumpur aktif di sedimentasi kedua. *Jurnal Purifikasi, Jurnal Teknologi dan Manajemen Lingkungan*. Desember 2006; 7(2): 127–132.
24. **Sutapa IDA**, Prihatinningtyas E, Nopianti D. Pemanfaatan gulma air *Myriophyllum* sp. sebagai biofilter yang ditanam dalam tangki tersusun seri. *Jurnal Limnotek Perairan Darat Tropis di Indonesia*. 2006; XIII(1): 33–40.
25. Sulla Y, **Sutapa IDA**. Paradigma baru pembangunan kehutanan: belajar dari krisis kerusakan hutan. *Jurnal Studi Pembangunan, Kemasyarakatan dan Lingkungan*. 2001; 3(1): 67–85.

26. **Sutapa IDA**, Purwati SU. Studi penentuan daerah acuan beberapa anak Sungai Ciliwung. *Jurnal Studi Pembangunan, Kemasyarakatan dan Lingkungan*. Februari 2000; 2(1): 34–46.
27. **Sutapa IDA**, Aini L. Uji korelasi pengaruh limbah tapioka terhadap kualitas air sumur di Desa Karadenan Kabupaten Bogor. *Jurnal Limnotek*. 2000; (1): 52–70.
28. **Sutapa IDA**. Teori bioflokulasi sebagai dasar pengelolaan sistem lumpur aktif. *Jurnal Studi Pembangunan, Kemasyarakatan dan Lingkungan*. Februari 2000; 2(1): 77–84.
29. Purwati SU, **Sutapa IDA**. Keanekaragaman hayati mikrobiota di beberapa Sungai Prokasi. *Jurnal Studi Pembangunan, Kemasyarakatan dan Lingkungan*. 1999; 1(3): 12–24.
30. **Sutapa IDA**. Limbah rumah sakit: tinjauan permasalahan dan penanganannya. *Jurnal Studi Pembangunan dan Kemasyarakatan*. 1999; 1(2): 32–44.
31. **Sutapa IDA**. Lumpur aktif: alternatif pengolahan limbah cair. *Jurnal Studi Pembangunan, Kemasyarakatan dan Lingkungan*. 1999; 1(3): 25–38.
32. **Sutapa IDA**, Purwati SU. Menilai kesehatan sungai berdasarkan indikator biologis: studi kasus Sungai Babon. *Jurnal Studi Pembangunan, Kemasyarakatan dan Lingkungan*. 1999; 1(3): 1–11.

Prosiding Internasional

33. **Sutapa IDA**, Prihatinningtyas E, Daryanta. IPAG60 as alternative solution to provide clean water in peatland areas. *Proceedings of The Sustainable Urban Water International Seminar (SUWIS) 2019; 24 Januari 2019; Bogor. (under printing); 2019.*
34. **Sutapa IDA**, Maftuah E, Astried S, Pawitan H. Ecohydrology approach as new way to support agriculture and water resources management in peatland area–Central Kalimantan. *UNESCO-JASTIP Joint Symposium on Intra-Regional Water Security and Disaster Management; 13–16 November 2017; Manila, Filipina; 2017. 31–32.*

35. **Sutapa IDA**. Resident time distribution determination of IPAG60 in order to increase efficiency of drinking water treatment plant for peatland area. International Conference on Application of Radiation Science and Technology (ICARST) 2017; 24–28 April 2017; Vienna–Austria. PB381–386.
36. **Sutapa IDA**, Apip. Ecohydrology demonstration site to support sustainable water resources management. The 2nd Symposium on JASTIP Disaster Prevention International Cooperation Research; 23 Maret 2017; Kyoto–Jepang. 51–56.
37. **Sutapa IDA**, Prihatinningtyas E, Nafisyah E, Fauzi H. Mobile drinking water treatment plant (type IG5M30) for disaster emergency response. Proceedings of The 16th World Lake Conference; November 2016; Denpasar–Bali, Indonesia. 143–149.
38. **Sutapa IDA**. Potency of Cikeas River as source of raw water for drinking water treatment plant. Proceedings International Conference on Ecohydrology; 10–12 November 2014; Yogyakarta. 203–214.
39. **Sutapa IDA**, Prihatinningtyas E. Potential use of *Myriophyllum* sp. as a biofilter to support sustainable management of the lakes. Proceedings of The 15th World Lake Conference; October 2014; Perugia–Itali. 55–58.
40. Toruan RL, **Sutapa IDA**. Water quality and water use in peatlands area of the transitional zone of Giam Siak Kecil–Bukit Batu Biosphere Reserve, Sumatera Island. Proceedings of The 10th International Symposium on Southeast Asian Water Environment; November 2012. Hanoi, Vietnam. 20–25.
41. **Sutapa IDA**, Prihatinningtyas E. Acid deposition effects on inland aquatic environment. Proceedings of The International Symposium on Ecohydrology; 21–26 November 2005; Kuta–Bali, Indonesia. 263–268.
42. **Sutapa IDA**, Suryono T. Chemical index status at ciliwung water body: study of reference site criteria. Proceeding of Asia-Pacific Workshop on Ecohydrology; 20–22 Maret 2001; Cibinong–Indonesia. 135.

43. Crismadha T, **Sutapa IDA**, Hidayat, Rosidah, Mardiaty Y. Photo-synthetic efficiency enhancement in algal culture by application of flashing light effect in a tubular photobioreactor. *Proceedings SEAWPIT 98 & SEAWPIT; 2000. 2: 1–7.*
44. **Sutapa IDA**, Roche N, Prost C. Proprietes physico-chimiques et decantabilite des boues actives en relation avec la biofloculation et le transfert d'oxygene". *Journées de CORF-NANCIE; 14–15 Mei 1996; Nancy–Prancis. 86–91.*

Prosiding Nasional

45. **Sutapa IDA**. Efisiensi proses koagulasi di kompartemen flokulator tersusun seri dalam sistem pengolahan air bersih. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”; 26 Januari 2010; Yogyakarta. D15.1–D15.7.*
46. **Sutapa IDA**. Efisiensi penurunan jumlah bakteri indikator pencemar dalam sistem pengolahan air bersih sekala pilot. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”; 26 Januari 2010; Yogyakarta. J06.1–J06.6.*
47. **Sutapa IDA**. Kualitas air permukaan di daerah gambut dan potensinya sebagai air baku di Kabupaten Katingan–Propinsi Kalimantan Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Lingkungan VI; 10 Agustus 2009; Surabaya. 146–154.*
48. **Sutapa IDA**. Efisiensi penambahan koagulan dalam proses koagulasi air gambut di Propinsi Kalimantan Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Lingkungan VI; 10 Agustus 2009; Surabaya. 210–216.*
49. **Sutapa IDA**. Acid deposition phenomenon and its potential impacts on the environment. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”; 28 Januari 2009; Yogyakarta: Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia. E10.1–E10.9.*

50. **Sutapa IDA**. Kualitas mikrobiologis air permukaan di wilayah pasca bencana tsunami. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”; 28 Januari 2009; Yogyakarta: Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia. C08.1–C08.6.
51. **Sutapa IDA**. Parameter potensial untuk melakukan pemantauan hujan asam. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”; 28 Januari 2009; Yogyakarta: Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia. C19.1–C19.5.
52. Yustiawati, **Sutapa IDA**, Syawal MS, Rosidah. Transport fosfat terlarut pada segmen Sungai Cisadane. Prosiding Seminar Nasional Limnologi IV; 15 Oktober 2008; Bogor: Pusat Penelitian Limnologi LIPI. 420–428.
53. **Sutapa IDA**, Prihatinningtyas E, Nopianti D. Potensi *Myriophyllum* sp. dalam peningkatan kualitas bakteriologis air baku untuk air minum. Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia; November 2007; Surabaya: Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Kimia, ITS. 1–11.
54. **Sutapa IDA**, Prihatinningtyas E, Nopianti D. Pemanfaatan gulma Air *Myriophyllum* sp. sebagai biofilter. Prosiding Seminar Nasional Limnologi; 5 September 2006; Jakarta: Pengelolaan Sumber Daya Periran Darat secara Terpadu di Indonesia. 293–301.
55. **Sutapa IDA**, Nopianti D, Prihatinningtyas E. Pengaruh *Myriophyllum* sp. yang berada dalam air baku dalam sistem pengolahan air bersih. Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Produk Berbasis Proses dan Manufaktur; 22 Juli 2006; Yogyakarta. TK08.1–TK08.9.
56. **Sutapa IDA**, Prasetya P, Prihatinningtyas E. Keanekaragaman mikroalga dan asosiasinya terhadap *Myriophyllum* sp. sebagai biofilter di instalasi pengolahan air bersih. Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Produk Berbasis Proses dan Manufaktur; 22 Juli 2006; Yogyakarta. TK08.10–TK08.18.

57. **Sutapa IDA**, Prihatinningtyas E, Indalao IL. Pengaruh kepadatan *Myriophyllum* sp. terhadap jumlah fecal coliform di Situ Cibuntu. Prosiding Seminar Nasional Limnologi 2006, Pengelolaan Sumberdaya Perairan Darat Secara Terpadu di Indonesia; 5 September 2006; Jakarta. 346–351.
58. **Sutapa IDA**, Prihatinningtyas E, Setyaningsih TY. Efisiensi instalasi pengolahan air bersih dengan air baku dari Situ Cibuntu–Cibinong. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Lingkungan III 2005; 27 September 2005; Surabaya. 3.1–3.6.
59. **Sutapa IDA**, Prihatinningtyas E, Setyaningsih TY. Kajian kinerja instalasi pengolahan air bersih dengan air baku dari Situ Cibuntu–Cibinong. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia (SNTPK) VII 2005; 23 Maret 2005; Jakarta. 1–8.
60. **Sutapa IDA**, Soviandi M, Hoerunisa. Pengaruh konsentrasi biomassa terhadap pola pengendapan lumpur aktif dari sistem pengolahan limbah cair industri tekstil. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses 2004; 21–22 Juli 2004; Semarang. H6.1–H6.7.
61. **Sutapa IDA**, Prihatinningtyas E, Respati VMNR. Pengaruh penambahan koagulan fero sulfat terhadap viabilitas isolat bakteri di instalasi pengolahan air minum dan limbah cair. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Teknologi Oleo & Petrokimia Indonesia 2005; 21 Desember 2005; Pekanbaru. A05.1–A05.9.
62. **Sutapa IDA**, Prihatinningtyas E, Soviandi M. Pengaruh *sludge volume index* pada pola pengendapan *activated sludge* dalam sistem pengolahan limbah cair industri tekstil. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Teknologi Oleo & Petrokimia Indonesia; 21 Desember 2005; Pekanbaru. A01.1–A01.9.
63. **Sutapa IDA**, Setyaningsih TY. Efektivitas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sebagai koagulan partikel koloid air tergenang dari Situ Cibuntu. Prosiding Seminar Nasional Viable Manufacturing System; 17 Juli 2004; Yogyakarta. 605–610.

64. **Sutapa IDA**, Octaviani S, Nurwidyohening W. Isolasi dan karakterisasi morfologi bakteri filamen dari sistem pengolahan limbah cair industri tekstil. Prosiding Seminar Nasional Viable Manufacturing System; 17 Juli 2004; Yogyakarta. 563–569.
65. **Sutapa IDA**, Respati VMNR. Isolasi dan pengaruh perubahan instalasi pengolahan limbah cair industri tekstil terhadap kinetika pertumbuhan bakteri filamen. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia & Proses 2004; 21–22 Juli 2004; Semarang. E6.1–E6.6.
66. **Sutapa IDA**, Setyaningsih TY, Santoso D. Kajian efektivitas klorin sebagai disinfektan dalam pengolahan air bersih dengan air baku Situ Cibuntu. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Lingkungan II; 6–7 Oktober 2004; ITS Surabaya. 3.1-1–3.1-7.
67. **Sutapa IDA**, Nurwidyohening W. Karakteristik morfologis bakteri filamen dari sistem pengolahan limbah cair industri oleokimia. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia VI 2004; 31 Maret 2004; Jakarta. D1.1–D1.8.
68. **Sutapa IDA**, Daryanta. Kelayakan air sungai sebagai sumber air minum di Kabupaten Katingan Propinsi Kalimantan Tengah. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia VI 2004; 31 Maret 2004; Jakarta. E1.1–E1.9.
69. **Sutapa IDA**, Hoerunisa. Pengaruh koagulasi terhadap efisiensi penyisihan COD dalam pengolahan limbah cair industri tekstil. Prosiding Seminar Nasional Tjipto Utomo; 3(2004); 12 Agustus 2004; ITENAS Bandung. C1.1–C1.9.
70. **Sutapa IDA**, Sofyandi, Hoerunisa. Pengaruh konsentrasi biomassa terhadap pola pengendapan lumpur aktif dari sistem pengolahan limbah cair industri tekstil. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia & Proses; 21–22 Juli 2004; Semarang. H6.1–H6.7.

71. **Sutapa IDA**, Hoerunisa, Oktaviani S. Pengaruh pengolahan awal secara kimiawi terhadap kualitas bioflok lumpur aktif dalam pengolahan limbah cair industri tekstil. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia VI; 31 Maret 2004; Jakarta. D2.1–D2.9.
72. **Sutapa IDA**, Respati VMNR. Pengaruh waktu peremajaan terhadap kinetika pertumbuhan bakteri filamen. Prosiding Seminar Nasional PIT PERMI 2004; 27–28 Agustus 2004; Semarang. 1–11.
73. **Sutapa IDA**, Koamesakh R, Respati VMNR, Santoso D. Studi awal bakteri filamen sebagai bahan bantu koagulan dalam sistem pengolahan air bersih: isolasi dan kinetika pertumbuhan. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Lingkungan II; 6–7 Oktober 2004; ITS Surabaya. 3.1.8–3.1.13.
74. **Sutapa IDA**, Setyaningsih TY, Santoso D. Studi kinetika pertumbuhan bakteri indikator pencemar sebagai dasar pengelolaan kualitas air minum. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Lingkungan II; 6–7 Oktober 2004; ITS Surabaya. 3.2.7–3.2.14.
75. **Sutapa IDA**. Prospek industri berbasis bioteknologi untuk menunjang kelestarian lingkungan di Indonesia. Prosiding Lokakarya Potensi Investasi dan Industri Bioteknologi di Indonesia; 15 Juli 2004; Jakarta: Lembaga Bioteknologi Atma Jaya. 1–14.
76. **Sutapa IDA**. Efektifitas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sebagai Koagulan pada Tahap Flokulasi dalam Proses Produksi Air Bersih. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia V, Fakultas Teknik UI dan Ikatan Mahasiswa Gas dan Petrokimia; 26 Maret 2003; Jakarta. D1.1–D1.8.
77. **Sutapa IDA**. Efektifitas bentonit sebagai bahan bantu koagulan pada tahap flokulasi: kasus air baku dengan tingkat kekeruhan rendah. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia V; 26 Maret 2003; Jakarta: Fakultas Teknik UI dan Ikatan Mahasiswa Gas dan Petrokimia. D3.1–D3.7.

78. **Sutapa IDA.** Efektifitas transfer oksigen pada berbagai konsentrasi biomassa dalam media lumpur aktif. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia V; 26 Maret 2003; Jakarta: Fakultas Teknik UI dan Ikatan Mahasiswa Gas dan Petrokimia. E1.1–E1.9.
79. **Sutapa IDA.** Kajian model rheologi lumpur aktif. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia; 16–17 September 2003; Yogyakarta. FB08.1–FB08.5.
80. **Sutapa IDA.** Karakteristik bioflok berdasarkan studi rheologi lumpur aktif. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia & Proses; 23–24 Juli 2003; Semarang. I6.1–I6.4.
81. **Sutapa IDA, Koamesakh R.** Kombinasi $Al_2(SO_4)_3$ dan bentonit untuk meningkatkan kualitas flok dan efisiensi koagulasi. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia & Proses; 23–24 Juli 2003; Semarang. F12.1–F12.5.
82. **Sutapa IDA.** Kombinasi sludge volume index (SVI) dan turbiditas sebagai indikator bioflokulasi pada sistem lumpur aktif. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia; 16–17 September 2003; Yogyakarta. FB06.1–FB06.5.
83. **Sutapa IDA, Crismadha T, Hidayat.** Penentuan laju fotosintesis mikroalga berdasarkan koefisien transfer massa (KLA). Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia; 16–17 September 2003; Yogyakarta. KR08.1–KR08.7.
84. **Sutapa IDA.** Pengaruh aerator seri terhadap selektivitas bakteri filamen pada pengolahan air limbah dengan sistem lumpur aktif. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia V; 26 Maret 2003; Jakarta: Fakultas Teknik UI dan Ikatan Mahasiswa Gas dan Petrokimia. D4.1–D4.6.
85. **Sutapa IDA.** Peranan eksopolisakarida dalam proses bioflokulasi pada sistem lumpur aktif. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia & Proses; 23–24 Juli 2003; Semarang. I5.1–I5.4.

86. **Sutapa IDA**, Aini L. Potensi limbah cair tapioka dalam menurunkan kualitas air tanah dangkal. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia & Proses; 23–24 Juli 2003; Semarang. E7.1–E7.5.
87. **Sutapa IDA**. Studi karakteristik bakteri filamen dari sistem pengolahan limbah cair industri tekstil. Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia; 2002; ITS Surabaya. PL01.1–PL01.7.
88. **Sutapa IDA**, Nurwidyohening W. Studi kinetika pertumbuhan dan isolasi bakteri filamen dari sistem pengolahan limbah cair industri oleo chemical. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia & Proses; 24–25 Juli 2002; Semarang. H5.1–H5.7.
89. **Sutapa IDA**, Fajarwati D. Studi penentuan daerah acuan dengan bioindikator di sungai-sungai Ciliwung bagian hulu. Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia; 2002. PL02.1–PL02.7.
90. **Sutapa IDA**. Study of water quality effect on macroinvertebrate community structure in order to characterize the water body status. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia & Proses; 24–25 Juli 2002; Semarang. E5.1–E5.7.
91. **Sutapa IDA**. Kajian unjuk kerja reaktor seri dalam menurunkan beban organik dan mencegah bulking. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia II; 21–22 Maret 2000; Jakarta. D1.1–D1.8.
92. **Sutapa IDA**, Chrismadha T. Kajian unjuk kerja fotobioreaktor tubular berdasarkan parameter koefisien transfer massa (K_{la}). Prosiding Seminar Hasil Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi III; 7–9 Maret 2000; Cibinong. 485–491.
93. Chrismadha T, **Sutapa IDA**, Hidayat, Rosidah, Mardiaty Y. Pengaruh cahaya intermitan terhadap fotosintesis kultur alga *Chlorella vulgaris*. Prosiding Seminar Nasional Biologi XVI; 27 Juli 2000; Kampus ITB Bandung; 2000. 368–372.

94. Badjoeri M, **Sutapa IDA**. Komunitas bakteri dalam reaktor pengolah limbah dengan sistem lumpur aktif. Prosiding Hasil Penelitian Puslitbang Limnologi-LIPI; 1999; Cibinong. 192–202.
95. Badjoeri M, **Sutapa IDA**, Suryono T. Pengaruh peningkatan beban limbah organik terhadap populasi bakteri dan pembentukan bioflok dalam reaktor pengolah limbah dengan lumpur aktif. Prosiding Hasil Penelitian Puslitbang Limnologi-LIPI; 1999. Cibinong. 159–172.
96. Suryono T, **Sutapa IDA**. Kualitas DPS berantas ditinjau dari nilai indeks kimia. Prosiding Hasil Penelitian Puslitbang Limnologi-LIPI; 1999. Cibinong. 231–238.

Paten

1. **Sutapa IDA**; Unit pengolahan air baku menjadi air bersih. Paten *Granted* No. IDP000041590. 14 April 2016.

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

Buku (Tesis dan Disertasi)

1. **Sutapa IDA.** Dielectric study of ion-exchange resins [Master Thesis]. [Nancy–France]: University of Nancy I; Juni 1992; 25 hlm.
2. **Sutapa IDA.** Physico-chemical properties and settleability of activated sludge in relation with oxygen transfer and biofloculation in waste water treatment plant system [PhD Thesis]. [Nancy–France]: Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL); 27 June 1996; 198 hlm.

Makalah Internasional

3. **Sutapa IDA.** Ecohydrology for managing water related problems: from local wisdom to modern sciences. International Conference on Ecohydrology Workshop & Scientific Advisory Committee: Ecohydrology, Engineering Harmony for a Sustainable World; 27 Februari–2 Maret 2018; University of Algarve Faro–Portugal.
4. **Sutapa IDA.** Ecohydrology as new way to manage water related problems in order to improve ecosystem services. UNESCO Special Session in World Water Forum; 18–23 March 2018; Brasilia–Brazil.
5. **Sutapa IDA.** Promoting ecohydrology as new approach to support IHP VIII Program Implementation in Indonesia. International Inaugural Symposium for UNESCO Chair on Water, Energy and Disaster Management for Sustainable Development; 29–31 Juli 2018; Kyoto–Jepang.
6. **Sutapa IDA.** Ecohydrology Approach as Comprehensive Tools for Water Diplomacy to Support Sustainable Water Resources Management. International Workshop on Water Security and Sustainable Development; 29 Agustus 2018; Hohai University–Nanjing, China.

7. **Sutapa IDA.** Development of ecohydrology models for enhancing local water security challenges to support small islands sustainability. 8th IAHR International Groundwater Symposium: Global Change Challenges: Water Security & Sustainability; 17–20 Oktober 2018; Nanjing–China.
8. **Sutapa IDA, Apip, Team.** Preliminary consideration of water hazard mapping in Indonesia. UNESCO IHP Catalogue of Hydrologic Analysis (CHA) Workshop; 3 November 2018; Shanghai–China.
9. **Sutapa IDA.** Ecohydrology approach to support water security challenges in marginal areas. 8th UNESCO Global FRIEND-Water Conference: Hydrological Processes and Water Security in a Changing World; 6–9 November 2018; Beijing–China, 41–45.
10. **Sutapa IDA.** Ecohydrology to Support UNESCO IHP Program Implementation in Asia Pacific Region. The 60th Anniversary Nanchang Institute of Technology Conference; 7–8 November 2018; Nanchang–China.
11. **Sutapa IDA.** The Role of Ecohydrology to Contribute towards Healthy Ecosystem. UNESCO World Water Day Workshop; 4 April 2018; Jakarta–Indonesia.
12. **Sutapa IDA.** APCE–UNESCO contribution in implementing ecohydrology concept and approach for sustainable water resources management in Asia and The Pacific Region. International Seminar of i-WSSM. Daejeon–Korea; 12 Mei 2017; 26–31.
13. **Sutapa IDA.** 2017. APCE–UNESCO potential support for SDGs achievements related to water resources management in Asia and The Pacific Region. Regional Workshop AP-FAST; 7–9 Mei 2017; Dili–Timor Leste.
14. **Sutapa IDA, Sundari S.** 2017. Ecohydrology as new approach for facing water problem in Asia and The Pacific Region. 10th UNESCO SeaBRnet Conference; 16–17 Mei 2017; Jakarta–Indonesia.

15. **Sutapa IDA.** Problem of water services in indonesia and alternative solutions to increase water services level. International Conference on Water Processing for Sustainable Development; 1–2 Agustus 2017; Islamabad-Pakistan, 205–211.
16. **Sutapa IDA.** Contribution of APCE in promoting ecohydrology in addressing SDGs 6. Regional Workshop on Building Resilience to Climate Change Risk and Vulnerability to Meet Water Security Challenges; 10–11 Juli 2017; Langkawi-Malaysia.
17. **Sutapa IDA.** Ecohydrology as a new solution for water-related disaster risk reduction. WEAP Regional Workshop & Training on Floods Projection Model; 23 Agustus 2017; Jakarta-Indonesia.
18. **Sutapa IDA.** Ecohydrology as tool to face water security challenges in Asia Pacific Region. Regional Workshop of UNESCO Natural Sciences Related Centres and Chairs in Asia and The Pacific; 29–30 November 2017; Penang-Malaysia.
19. **Sutapa IDA.** Ecohydrology Approach for Sustainable Water Resources Management. Workshop on Potential Collaboration for Facing Water Related Problem in Asia Pacific Region; 7 Desember 2016; UKM Malaysia, Kuala Lumpur.

Makalah Nasional

20. **Sutapa IDA.** Implementation of UNESCO International Hydrological Program (IHP) in Indonesia. General Meeting and Workshop of Indonesian National Committee for UNESCO; 13 Agustus 2018; Jakarta-Indonesia.
21. **Sutapa IDA.** 2017. Ecohydrology As a New Solution for Sustainable Water Resources Management. National Workshop on Arid Zone Ecohydrology Demosite Development; 12 Oktober 2017; Kefamenanu-TTU.
22. **Sutapa IDA.** 2016. Ecohydrology Approach for Sustainable Water Resources Management. Kuliah Umum di Geografi UGM; 30 November 2016; Yogyakarta.

23. **Sutapa IDA.** 2016. Sustainable Water Resources Management Based on Ecohydrology Approach as Solution for Global Water Crisis. Kuliah Umum di Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB; 26 November 2016; Kampus ITB Jatinangor-Bandung.
24. **Sutapa IDA.** 2016. Managing water through ecohydrology approach: integration of local wisdom, culture and modern sciences. National Workshop on Sustainable Water Resources Management in Arid Areas; 18 Oktober 2016; Kefamenanu-TTU.
25. **Sutapa IDA.** Managing water through ecohydrology approach: integration of local wisdom, culture and modern sciences. Kuliah Umum di Fakultas Pertanian Universitas Palangka Raya; 13 Februari 2016; Kampus UPR-Palangka Raya.
26. **Sutapa IDA.** Aplikasi kimia analisis dalam perdagangan bebas: meneropong kesiapan sumber daya manusia Indonesia dalam mengadopsi perkembangan Teknologi Chiral di bidang farmasi dan obat-obatan. Orasi Ilmiah dalam rangka Wisuda Mahasiswa AKA Bogor; 8 Mei 2004; Bogor.
27. **Sutapa IDA.** Prospek industri berbasis bioteknologi untuk menunjang kelestarian lingkungan di Indonesia. Lokakarya Potensi Investasi dan Industri Bioteknologi di Indonesia; 12 Juli 2004; Jakarta: LBA Atma Jaya.

Makalah Populer

28. **Sutapa IDA.** Pengolah air gambut menjadi air minum. Koran Sindo (Edisi Minggu). 15 Juli 2018; Rubrik Sains.
29. **Sutapa IDA, Yogaswara H, Lubis F.** Pola hidup bersih: aplikasi ekohidrologi untuk ketersediaan air bersih yang berkelanjutan di Indonesia. Diskusi Publik LIPI. Jakarta 25 Mei 2018.
30. **Sutapa IDA.** Mengejar target air bersih 2015. Koran Media Indonesia (Edisi Minggu). 24 Februari 2013; Rubrik Kiprah.
31. **Sutapa IDA.** Air gambut disulap lembut. Tabloid Prioritas (Edisi 34/Tahun I). 3–9 September 2012; Rubrik Iptek.

32. **Sutapa IDA.** Akses air bersih: mengolah air gambut menjadi air sehat. Koran Kompas (Edisi Jumat). 3 Agustus 2012; Rubrik Iptek: 14.
33. **Sutapa IDA.** Hujan asam: bom waktu yang terlupakan. Koran Mitra Bangsa (Ed. 3 Tahun I). 2006.
34. **Sutapa IDA.** Waspada! bahaya hujan asam (*Bagian 2-Habis*). Koran Mitra Bangsa (Ed. 5 Tahun I). 2006.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama Lengkap : **Ignasius Dwi Atmana Sutapa**
Tempat / Tanggal lahir : Gunung Kidul, 31 Juli 1966
Anak ke - : 2 dari 5 bersaudara
Ayah Kandung : Paulus Yustinus Paidi
Ibu Kandung : Maria Supiyati
Istri : Rahel Butar Butar, S.E., M.M.
Anak : 1. Reynard Parlinggoman Sutopo
2. Eldy Nehemia Sutopo
Instansi : Pusat Penelitian Limnologi LIPI
Judul Orasi : Pengembangan Instalasi Pengolahan Air Gambut (IPAG60) Sebagai Sarana Pemenuhan Hak Dasar Masyarakat atas Air di Daerah Gambut
Bidang Kepakaran : Teknik Lingkungan
No. SK Pangkat Terakhir : 30/K Tahun 2018
No. SK Peneliti Utama : 1306/D.1/2017

B. Pendidikan Formal

No.	Level	Sekolah	Kota/ Negara	Lulus
1	SD	SDN 2 Semin	Gunung Kidul	1979
2	SLTP	SMPN 1 Wonosari	Gunung Kidul	1982
3	SLTA	SMAN 1 Wonosari	Gunung Kidul	1985
4	S-1	Chemistry, Université Nancy I	Nancy, Prancis	1991
5	S-2	Molecular Physical Chemistry, Université Nancy I	Nancy, Prancis	1992
6	S-3	Chemical Engineering, Institute National Polytechnique de Lorraine	Nancy, Prancis	1996

C. Pendidikan Nonformal

No.	Pelatihan	Lama	Tahun	Tempat
1	Prajabatan Golongan II	1 bln.	1987	Indonesia
2	Training Course: Bioassessment Study Program	1 bln.	1998	Australia
3	Training Course: Acid Deposition Monitoring	2 bln.	2006	Japan
4	Training of Diplomacy in International Meetings & Conferences	2 hari	2010	Indonesia
5	Traine for trainer: Training of Trainer (TOT) Diklat Jabatan Fungsional Peneliti Berjenjang	1 bln.	2012	Indonesia
6	LDP LIPI: Leadership Development Program	3 x 1 minggu	2013	Indonesia
7	MDF Training: Leadership Capacity Building	10 hari	2013	Belanda
8	Training Course: Integrated Flood Analysis System (IFAS), Jakarta-Indonesia	1 minggu	2013	Indonesia

D. Jenjang Kepangkatan

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1	Pengatur Muda-II/a CPNS	01-01-1987
2	Pengatur Muda-II/a PNS	01-05-1990
3	Pengatur Muda Tingkat I-II/b	01-04-1991
4	Pengatur-II/c	01-04-1995
5	Penata Muda Tingkat I-III/b	01-04-1997
6	Penata-III/c	01-04-2001
7	Penata Tingkat I-III/d	01-04-2003
8	Pembina-IV/a	01-04-2005
9	Pembina Tingkat I-IV/b	01-04-2007
10	Pembina Utama Muda-IV/c	01-04-2009
11	Pembina Utama Madya-IV/d	01-04-2012
12	Pembina Utama-IV/e	01-04-2018

E. Jabatan Fungsional

No.	Jabatan Fungsional	Tahun
1	Peneliti Ahli Pertama	1998
2	Peneliti Ahli Muda	1999
3	Peneliti Ahli Madya	2005
4	Peneliti Ahli Utama	2011

F. Penugasan Khusus

No.	Tahun	Jabatan	Instansi
1	2017–2023	Direktur Eksekutif APCE-UNESCO Category II Centre	LIPI
2	2011–2016	Sekretaris Eksekutif APCE-UNESCO Category II Centre	LIPI
3	2018–2022	Wakil Ketua IHP Indonesia	LIPI
4	2012–2017	Anggota/Sekretaris III IHP Indonesia	LIPI
5	Juni 2018	Ketua Delegasi Indonesia untuk Sidang IGC IHP UNESCO di Paris-Prancis	LIPI
6	November 2018	Ketua Delegasi IHP Indonesia untuk Sidang RSC IHP Asia Pasifik di Shanghai-China	LIPI
7	October 2017	Anggota Delegasi Indonesia untuk Sidang GC UNESCO di Paris-Prancis	LIPI
8	November 2017	Ketua Delegasi IHP Indonesia untuk Sidang RSC IHP Asia Pasifik di Manila-Filipina	LIPI
9	November 2016	Anggota Delegasi IHP Indonesia untuk Sidang RSC IHP Asia Pasifik di Ulaanbaatar- Mongolia	LIPI
10	Oktober 2015	Anggota Delegasi IHP Indonesia untuk Sidang GC UNESCO di Paris-Prancis	LIPI
11	November 2015	Anggota Delegasi IHP Indonesia untuk Sidang RSC IHP Asia Pasifik di Medan- Indonesia	LIPI
12	November 2014	Anggota Delegasi IHP Indonesia untuk Sidang RSC IHP Asia Pasifik di Yogyakarta- Indonesia	LIPI

No.	Tahun	Jabatan	Instansi
13	November 2013	Anggota Delegasi IHP Indonesia untuk Sidang RSC IHP Asia Pasifik di Gyeongju-Korea	LIPI
14	November 2013	Ketua Delegasi APCE untuk UNESCO Strategic and High-Level Meeting on Water Security and Cooperation di Nairobi-Kenya	LIPI
15	November 2012	Anggota Delegasi IHP Indonesia untuk Sidang RSC IHP Asia Pasifik di Langkawi-Malaysia	LIPI
16	Juni 2012	Anggota Delegasi IHP Indonesia untuk Sidang IGC IHP UNESCO di Paris-France	LIPI
17	November 2011	Anggota Delegasi IHP Indonesia untuk Sidang RSC IHP Asia Pasifik di Kyoto-Japan	LIPI
18	2016	Ketua Tim PME Kedeputan IPK	LIPI
19	2015	Wakil Ketua Tim PME Kedeputan IPK	LIPI
20	2014	Sekretaris Tim PME Kedeputan IPK	LIPI
21	2013	Anggota Tim PME Kedeputan IPK	LIPI
22	2013–2015	Ketua Tim PME Puslit Limnologi	LIPI
23	2014	Sebagai tenaga ahli untuk Amdal Jalan Wamena–Habema, Jalan Nasional Wamena–Habema dibuat untuk meningkatkan kesejahteraan daerah tertinggal	LIPI
24	2014–2015	Anggota Tim Penyelenggara Leadership Development Program (LDP) LIPI tahun 2014–2015 bagian pengembangan program	LIPI
25	2014	Ketua Panitia “International Conference on Ecohydrology 2014” di Yogyakarta, 11–13 November 2014	LIPI
26	2014	Panitia Penyelenggara International Training on IHP, di Yogyakarta 8–9 November 2014	LIPI
27	2013–2014	Ketua Tim Penyusunan laporan Tahunan Puslit Limnologi	LIPI

No.	Tahun	Jabatan	Instansi
28	2010–2011	Penanggung Jawab Kegiatan Pengembangan Sistem Pengelolaan Air Bersih untuk Daerah Gambut di Provinsi Kalimantan Tengah	LIPI
29	2011–2012	Anggota Tim Perencanaan, Monitoring dan Evaluasi (PME) Puslit Limnologi LIPI	LIPI
30	2009–2013	Koordinator Kegiatan Kompetitif LIPI untuk Pengembangan Instalasi Pengolahan Air Gambut	LIPI
31	2003–2004	Koordinator Kegiatan Proyek Teknologi Penyediaan Air Bersih 2004	LIPI
32	2003	Anggota Dewan Redaksi Jurnal Limnotek Tahun 2003	LIPI
33	1998–2000	Koordinator Tolok Ukur Litbang Pengendalian Pencemaran Perairan Darat	LIPI
34	1997	Koordinator Tolok Ukur Litbang Pengolahan Air Buangan yang Mengandung Karbon Organik	LIPI

G. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1	Penulis Tunggal	35
2	Penulis bersama penulis lainnya	61
Total		96

No.	Bahasa	Jumlah
1	Karya tulis dalam bahasa Inggris	22
2	Karya tulis dalam bahasa Prancis	1
3	Karya tulis dalam bahasa Indonesia	73
Total		96

No.	Kualifikasi Publikasi	Jumlah
1.	Paten	1
Total		1

H. Narasumber

Sebagai *Key Note/Invited Speaker*

No.	Kegiatan	Tahun	Kota
1	International Conference on Ecohydrology & Scientific Advisory Committee Meeting	2018	Faro Portugal,
2	UNESCO Special Session in World Water Forum	2018	Brasilia Brazil
3	International Inaugural Symposium for UNESCO Chair on Water, Energy and Disaster Management for Sustainable Development	2018	Kyoto Japan
4	International Workshop on Water Security and Sustainable Development	2018	Nanjing China
5	Global Change Challenges: Water Security & Sustainability. 8 th IAHR International Groundwater Symposium	2018	Nanjing China
6	UNESCO IHP Catalogue of Hydrologic Analysis (CHA) Workshop	2018	Shanghai China
7	8 th UNESCO Global FRIEND–Water Conference	2018	Beijing China
8	The 60 th Anniversary Nanchang Institute of Technology Conference	2018	Nanchang China
9	UNESCO World Water Day Workshop	2018	Jakarta Indonesia
10	General Meeting and Workshop of Indonesian National Committee for UNESCO	2018	Jakarta Indonesia
11	International Seminar for Water Security in Asia Pacific Region	2017	Seoul Korea
12	UNESCO Regional Workshop on AP-FAST	2017	Dili Timor Leste
13	UNESCO 10 th SeaBRnet Conference	2017	Jakarta Indonesia

No.	Kegiatan	Tahun	Kota
14	International Conference on Water Processing for Sustainable Development	2017	Islamabad Pakistan
15	UNESCO Regional Workshop on Building Resilience to Climate Change Risk and Vulnerability to Meet Water Security Challenges	2017	Langkawi Malaysia
16	WEAP Regional Workshop & Training on Floods Projection Model	2017	Jakarta Indonesia
17	Regional Workshop of UNESCO Natural Sciences Related Centres and Chairs in Asia and The Pacific	2017	Penang Malaysia
18	National Workshop on Arid Zone Ecohydrology Demosite Development	2017	Kefamenanu NTT Indonesia
19	General Lecture in Faculty of Geography, UGM	2016	Yogyakarta Indonesia
20	General Lecture in Faculty of Civil Engineering, ITB	2016	Bandung Indonesia
21	General Lecture in Faculty of Agriculture, UPR	2016	Palangkaraya Indonesia
22	Workshop on Potential Collaboration for Facing Water Related Problem in Asia pacific Region	2016	Kuala Lumpur Malaysia
23	Regional Workshop on Promoting Interaction and Knowledge Exchange between UNESCO Science Related Centres and Chairs in Asia and the Pacific	2015	Kuala Lumpur Malaysia
24	Rapat Komisi Amdal Dinas Lingkungan Hidup Pemerintah Provinsi Papua	2014	Papua Indonesia
25	UNESCO General Meeting for Category II Centres	2014	Koblenz Germany

No.	Kegiatan	Tahun	Kota
27	Rapat Kerja dengan Pemerintah Propinsi Sumatera Selatan Dalam Rangka Rencana Implementasi Pengelolaan Sumberdaya Air Berkelanjutan di Sumatera Selatan	2014	Palembang Indonesia
28	Workshop Pengelolaan dan Pemurnian Air di Kota Tanjungpinang	2014	Tanjung pinang Indonesia
29	National Research Summit di UNNES	2014	Semarang Indonesia
30	Bincang Inkubasi dan Alih Teknologi Sehubungan dengan rangkaiana kegiatan Pekan Inovasi Teknologi (PIT) 2014	2014	Surabaya Indonesia
31	Sustainable Landscape for Futures Conference	2014	Canberra Australia
32	Bincang Alih Teknologi dalam Rangka Pekan Inovasi Sumatera Utara 2014,	2014	Medan Indonesia
33	Diseminasi Implementasi IPAG60	2013	Pontianak Kalbar
34	Diseminasi LIPI Tentang Teknologi Pengelolaan Air Bersih	2013	Kabupaten Banyuwangi
35	International Symposium on Integrated Lake Basin Management (ILBM)	2013	Kyoto Japan
36	Pengelolaan Sumberdaya di Area Cagar Biosfer Giam Siak Kecil–Bukit Batu	2013	Bengkalis Indonesia
37	MAB Summer School “The Scientific Exploration and Sustainable Management of Peatland Resources in Giam Siak Kecil Bukit Batu Biosphere Reserve	2009	Pekanbaru Indonesia
38	Orasi Ilmiah dalam Rangka Wisuda Mahasiswa AKA Bogor	2004	Bogor Indonesia
39	Lokakarya Potensi Investasi dan Industri Bioteknologi di Indonesia	2004	Jakarta Indonesia

Sebagai Narasumber Siaran TV

No.	Topik	Tempat, Tanggal	TV/Program
1	Mencegah Generasi Stunting dengan Pola Hidup Bersih dan Sehat	Jakarta, 9 April 2018	Berita Satu TV, Lunch Talk 13.00–14.00
2	Indikator Pencemaran Air Sungai di Jakarta	Cibinong, 3 April 2018	Metro TV.
3	Inovasi Teknologi Pengolahan Air untuk Daerah Marginal	23 Maret 2016	DAII TV

Sebagai Narasumber Siaran Radio

No.	Topik	Tempat, Tanggal	Radio/Program
1	Pengelolaan Sumber Daya Air Berkelanjutan: Strategi dan Tantangan	Jakarta, April 2013	Siaran Langsung Radio BPPT
2	Upaya Memenuhi Target MDGs Terkait Layanan Air Bersih di Indonesia	Jakarta, Maret 2012	Siaran Langsung Program 3 RRI Jakarta

I. Pengalaman Kerja Sama

No.	Topik/Materi	Tahun	Instansi Terkait
1	Integrated Flood Analysis System (IFAS) Training Course	2013	APCE, LIPI, UNESCO, ICHARM Japan
2	UNESCO IHP Training Course and International Conference on Ecohydrology	2014	APCE, LIPI, UNESCO, ICCE Portugal, UGM, Pemprov DIY
3	Sustainable Water Resources Management Based on Ecohydrology	2015	APCE, LIPI, MUI Ciamis, Pesantren Ar-Risalah Ciamis
4	Development of Ecohydrology Demonstration Sites in Citarum Catchment Area	2016–2017	APCE, LIPI, UNESCO PT. Indonesia Power, IPB, UGM
5	Study of Ecohydrology Approach to Manage Peatland Area in Ex-Mega Rice Project Location, Central Kalimantan	2016–2017	APCE, LIPI, UNESCO, ULM, UPR, BALITRA, Balai Rawa

No.	Topik/Materi	Tahun	Instansi Terkait
6	Introduction of Ecohydrology Material as Subjects in Middle and High School in Kefamenanu TTU, NTT	2016	APCE, LIPI, UNESCO, UNIMOR, IPB
7	Consultation Workshop and Training on Water and Urban Initiative: Case Study in Jakarta, Indonesia	2017	APCE, LIPI, UNU Tokyo
8	International Training Course on Costal Ecohydrology	2018	APCE, LIPI, ICCE Portugal, UNESCO, UGM, Pemprov DIY
9	Asia Regional Training Workshop on Water Quality and Emerging Pollutants	2018	APCE, LIPI, UNESCO, Pemprov DKI

J. Mitra Bestari

No.	Kegiatan	Tahun
1	Jurnal Limnotek	2000
2	Hayati Journal of Biosciences	2007
3	Jurnal Teknologi Indonesia	2014–2018
4	Proceedings of ICE 2014	2014
5	Proceedings of GREENVC 2018	2018
6	Proceedings of THA2019, Thailand	2019

K. Paten

No.	Jenis Paten	Tahun	Instansi
1	Unit Pengolahan Air baku Menjadi Air Bersih. Paten tersertifikasi oleh Kementerian Hukum dan HAM, Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual, Nomor Paten IDP000041590	2016	Pusat Penelitian Limnologi

L. Pembinaan Kader Ilmiah

No	Perguruan Tinggi/ Kegiatan	Tahun	Kota
1	Dosen Kimia Analis Organik Akademi Kimia Analis Bogor	1997–2004	Bogor
2	Dosen Fisika Teknik, Program Studi Teknik Informatika, Universitas Bina Nusantara	1997–2000	Jakarta
3	Dosen Kimia Universitas Nusa Bangsa	2000	Bogor
4	Dosen Pembangunan & Lingkungan, Institute for Community and Development Studies (ICDS)	1998–2003	Jakarta
5	Lecturer for UNESCO IHP Training Course	2013	Kyoto Japan
6	Lecturer for UNESCO IHP Training Course	2014	Yogyakarta
7	Lecturer for UNESCO International Training Course on Coastal Ecohydrology	2017	Yogyakarta
8	Pembimbing I Tesis a.n.Yongki Riansoni Fakultas Teknologi Industri IPB	2005	Bogor
9	Pembimbing I Tesis a.n. Tri Budiarto Institute for Community and Development Studies (ICDS)	2002	Jakarta
10	Pembimbing I Tesis a.n. Yofly Sulla Institute for Community and Development Studies (ICDS)	2001	Jakarta
11	Pembimbing Skripsi a.n. Dwi Nopianti Fakultas Biologi UGM	2005	Yogyakarta
12	Pembimbing Skripsi a.n. Irene Indalao Fakultas Biologi UGM	2005	Yogyakarta

No	Perguruan Tinggi/ Kegiatan	Tahun	Kota
13	Pembimbing Skripsi a.n. Valentinus Respati M.R Fakultas Biologi UGM	2004	Yogyakarta
14	Pembimbing Skripsi a.n. Tri Yuli Setyaningsih Fakultas Biologi UGM	2004	Yogyakarta
15	Pembimbing Skripsi a.n. Hoerunisa Fakultas MIPA Universitas Pakuan	2004	Bogor
16	Pembimbing Skripsi a.n. M. Sofyandi Fakultas MIPA Universitas Pakuan	2004	Bogor
17	Pembimbing Skripsi a.n. Shinta Octaviani Fakultas Biologi UGM	2003	Yogyakarta
18	Pembimbing Skripsi a.n. Wiwied Nurwidjohening Fakultas Biologi UGM	2003	Yogyakarta
19	Pembimbing Skripsi a.n. Rachel Koamesakh Fakultas MIPA Universitas Pakuan	2003	Bogor
20	Pembimbing Skripsi a.n. Dina Fajarwati Fakultas Biologi UGM	2002	Yogyakarta
21	Pembimbing Skripsi a.n. Lili Aini Fakultas Teknik Lingkungan Universitas Sahid	1999	Jakarta
22	Pembimbing Skripsi a.n. Muhammad Adas Fakultas Teknik Lingkungan Universitas Sahid	1999	Jakarta

M. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Tahun	Organisasi	Posisi
1	2017–2019	UNESCO IHP Regional Steering Committee for Asia Pacific Region	Chairman
2	2018–2022	Komite Nasional IHP Indonesia	Wakil Ketua
3	2012–2017	Komite Nasional IHP Indonesia	Sekretaris III
4	2015–sekarang	Himpunan Peneliti Indonesia (Himpenindo) Cabang LIPI	Sekretaris
5	2013–sekarang	Masyarakat Limnologi Indonesia (MLI)	Anggota

N. Tanda Penghargaan

No.	Penghargaan	Tahun	Instansi
1	Satyalancana Karya Satya X	1999	Presiden RI
2	Satyalancana Karya Satya XX	2008	Presiden RI
3	Satyalancana Karya Satya XXX	2017	Presiden RI
4	Inovasi Teknologi “18 Inovasi Iptek Karya Anak Bangsa 2013” Instalasi Pengolahan Air Gambut (IPAG)	2013	Menteri Riset dan Teknologi RI
5	Inventor LIPI 2017	2017	Kepala LIPI



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