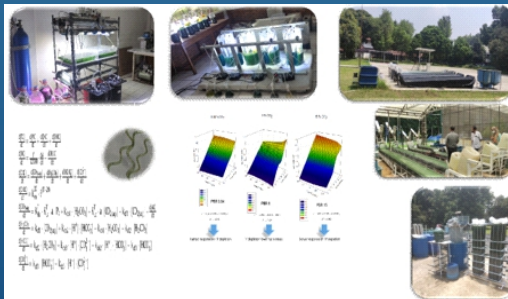


ORASI ILMIAH: RISET DAN INOVASI

TEKNOLOGI BIOSIRKULASI AIR LIMBAH MENGUNAKAN FOTOBIOREAKTOR UNTUK KULTIVASI MIKROALGA DAN SIANOBAKTERIA

ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET ILMU LIMNOLOGI BIDANG LIMNOLOGI TERAPAN KEPAKARAN PERANCANGAN PROSES PADA FOTOBIOREAKTOR



OLEH:
AWALINA

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

ISSN 3090-8485

**ORASI ILMIAH PROFESOR RISET
ILMU LIMNOLOGI
BIDANG LIMNOLOGI TERAPAN
KEPAKARAN PERANCANGAN PROSES PADA
FOTOBIOREAKTOR**

Diterbitkan pertama pada 2026 oleh Penerbit BRIN

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



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

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

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



ISSN 3090-8485

**TEKNOLOGI BIOSIRKULASI AIR LIMBAH
MENGUNAKAN FOTOBIOREAKTOR UNTUK
KULTIVASI MIKROALGA DAN SIANOBAKTERIA**

**ORASI ILMIAH PROFESOR RISET
ILMU LIMNOLOGI
BIDANG LIMNOLOGI TERAPAN
KEPAKARAN PERANCANGAN PROSES PADA
FOTOBIOREAKTOR**

**OLEH:
AWALINA**

Penerbit BRIN

© 2026 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Pusat Riset Limnologi dan Sumber Daya Air
Organisasi Riset Kebumihan dan Maritim

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Teknologi Biosirkulasi Air Limbah Menggunakan Fotobioreaktor Untuk Kultivasi Mikroalga dan Sianobakteria/Awalina Satya. Jakarta Penerbit BRIN, 2026

vii + 113 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISSN 3090-8485

1. Fotobioreaktor (PBR)
2. Biosirkulasi air limbah
3. Kultivasi mikroalga dan sianobakteria
4. Fikoremediasi

628.357

Copy editor : S. Imam Setyawan
Proofreader : Hilda Yunita
Penata Isi : S. Imam Setyawan
Desainer Sampul : S. Imam Setyawan



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

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS	1
PRAKATA PENGUKUHAN	5
I. PENDAHULUAN.....	7
II. PERSPEKTIF PERKEMBANGAN TEKNOLOGI SISTEM FOTOBIOREAKTOR.....	11
A. Teknologi Biosirkulasi Air Limbah, Limnologi dan Fotobioreaktor Mikroalga dan Sianobakteria	11
B. Perkembangan Iptek Sistem PBR Mikroalga dalam Biosirkulasi Air Limbah.....	13
C. Arah Pengembangan ke Depan.....	19
III. TEKNOLOGI FOTOBIOREAKTOR UNTUK PENANGKAP GAS CO ₂ DAN PENGHASIL BAHAN BAKU PANGAN	23
A. Karakter Mikroalga dan Sianobakteria di Habitat Alami.....	24
B. Mikroalga dan Sianobakteri untuk Pengolahan Air Limbah.....	25
C. Inovasi dan Esensi Teknik Biosirkulasi Air Limbah pada PBR Mikroalga dan Sianobakteria.....	32
IV. KEUNGGULAN DAN TANTANGAN TEKNOLOGI PBR BIOSIRKULASI MENUJU IMPLEMENTASI BERKELANJUTAN.....	37
A. Optimasi Kinerja Sistem pada Fotobioreaktor.....	38
B. Efisiensi Proses dalam Perancangan Fotobioreaktor.....	40
C. Peluang Pemanfaatan Bioproduk dari Mikroalga dan Sianobakteria	43
V. PERANAN PENGEMBANGAN PBR BIOSIRKULASI DALAM .. MENCAPAI TUJUAN PEMBANGUNAN BERKESINAMBUNGAN.....	47

A. Pengembangan Teknologi PBR dan Hubungannya dengan Program <i>Sustainable Development Goals</i> (SDG)	47
B. Dampak Sosial-Ekonomi dan Potensi Adopsi Teknologi	49
VI. KESIMPULAN	51
VII. PENUTUP	53
 UCAPAN TERIMA KASIH	 55
DAFTAR PUSTAKA	57
DAFTAR CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET DAN INOVASI	 63
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA	89
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Tiga jenis konfigurasi fotobioreaktor (PBR) klasik berupa tubular (A), panel datar (B), dan kolom (C) di PRLSDA BRIN (Satya et al., 2022; 2024)	17
Gambar 2.	Arah riset pengembangan teknologi PBR Biosirkulasi pada periode 2005-2025	21
Gambar 3.	Skema pengembangan reaktor biosorpsi berbasis sianobakterium <i>Aphanothece</i> sp. (Awalina, 2018).	31
Gambar 4.	Beragam jenis konfigurasi PBR <i>indoor bench top bubble column</i> (a) dan <i>indoor hybrid CO₂ biosequester</i> (b), <i>semi out-door membrane PBR</i> (c), PBR adveksi Jungkat Jungkit semi <i>out-door</i> (d), <i>inclined out-door PBR</i> (e), dan <i>Close-loop Vertical out-door PBR</i> (f) (Awalina et al., 2024a; 2024b) 33	
Gambar 5.	Pengembangan prototype sistem PBR hibrida penangkap gas CO ₂ (FCB2022) menggunakan <i>Spirulina platensis</i> di PRLSDA, BRIN (Satya et al., 2024).	34
Gambar 6.	Konsep PBR untuk <i>Carbon Capture Utilization and Storage</i> versi Olympus 1.0 (Satya et al., 2025).	35
Gambar 7.	Pengembangan prototipe <i>Membrane Photobioreactor</i> (MPBR) untuk mengolah POME, menghasilkan air yang aman digunakan kembali dan bioproduk bernilai tambah (Satya et al., 2024; Harimawan et al., 2025).	36
Gambar 8.	Faktor yang berperan dalam proses biosirkulasi air limbah dengan PBR mikroalga dan sianobakteria (Satya et al., 2025a) 39	
Gambar 9.	Varian fotobioreaktor <i>bench top</i> volume kerja 2-3 L: <i>Bubble column reactor</i> untuk dua mikroalga hijau <i>Scenedesmus dimorphus</i> dan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> (a), <i>bench top system</i> untuk proliferasi diatom <i>Thalassiosera weissflogii</i> (b), <i>scaling up</i> pada <i>system inclined outdoor</i> dengan volume kerja 450 L (c), dan <i>scaling up</i> pada sistem <i>vertical outdoor</i> PBR dengan volume kerja 250 L (d) (Awalina et al., 2024a; 2025a).	42

Gambar 10. Varian <i>the shaded out-door inclined photobioreactor</i> pada kultivasi <i>Spirulina platensis</i> yang diletakkan di atap Gedung C PRLSDA, BRIN KST Soekarno-BRIN, volume kerja 125 L-375 L (a) dan varian <i>out door inclined PBR</i> yang diletakkan di lapangan beton untuk produksi biomassa dan fikosianin volume kerja 225-450 L (b) (Chrimadha et al., 2022; Satya et al., 2025a)	43
---	----

DAFTAR TABEL

Tabel 1. <i>Timeline</i> arah riset perkembangan Teknologi PBR Biosirkulasi 2025-2045	21
--	----

BIODATA RINGKAS



Dr. Dra. Awalina, M.Si yang dikenal di kalangan alamiah dan akademik sebagai Awalina Satya, lahir di Semarang, pada 13 Mei 1968 adalah anak pertama dari dua bersaudara Bapak Drs. Soetikno Wiryono (alm.) dan Ibu Nisbah Ramli, BSc (alm). Menikah dengan nama pasangan Ir. Ika Atman Satya, M.Ling dan dikaruniai tiga orang anak, yaitu Azalea

D.M.Satya, S.Si, M.Phil; A. A. Linus Satya, S.T. dan A. N. Fauzan

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 27/K Tahun 2020 tanggal 3 Juli 2020 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama terhitung mulai 1 April 2020.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional 165/I/HK/2026 tanggal 14 Juli 2026 yang bersangkutan dapat melakukan orasi ilmiah dan dikukuhkan menjadi Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri Karangayu II Semarang tahun 1981; Sekolah Menengah Pertama Purnama III Semarang tahun 1984; dan Sekolah Menengah Atas Negeri 6 Semarang tahun 1987. Memperoleh gelar Sarjana Kimia dari Universitas Hasanuddin (Unhas) tahun 1992; gelar Magister Kimia dari Universitas Indonesia (UI) tahun 2011; dan gelar Doktor bidang Teknik Kimia dari Institut Teknologi Bandung (ITB) pada tahun 2018.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait bidang kompetensinya, antara lain *The Group Training on Lake*

Water Management di Osaka International Center-the Japan International Cooperation Agency, Jepang (1997), Pendidikan dan Latihan Metoda Penelitian dan Pengolahan Data tahun 2002; *Fundamental Matlab for Scientist and Engineer Certified-Information Technology Service* in ITB (ComLabs USDI-ITB) tahun 2013, dan Kursus Pengelolaan Air Limbah pada tahun 2013, dan Pelatihan Aspek Teknis Pengolahan Air Limbah (IPAL)-Pelatihan Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) yang diselenggarakan oleh Pusat Studi Lingkungan Hidup-ITB (2020).

Topik kegiatan riset penulis meliputi 1) Pengembangan fotobioreaktor *cost effective* untuk produksi biomassa mikroalga yang implementatif pada semi *pilot scale* (2020-sekarang); 2) Pengembangan teknologi fotobioreaktor untuk waste water treatment (*Palm Oil Mill Effluent* dan *Agricultural Wastewater*) pada 2022-2024; 3) Kajian kapasitas biosequestrasi-biokonversi CO₂ dan nutrient akuatik pada fotobioreaktor kultivasi mikroalga (2014-sekarang). Kolaborasi penelitian dengan mitra industri dengan PT. Alga Bioteknologi Indonesia, PT. Alam Semesta Integra, PT. Alam Semesta Asri, PT. Intraco Agroindustry, *Japan International Research Center for Agricultural Sciences* (JIRCAS), dan *Great Giant Pineapple Co.*

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Asisten Peneliti Muda golongan III/a tahun 1995, Ajun Peneliti Muda golongan III/b tahun 1998, Ajun Peneliti Madya golongan III/c tahun 2001, Peneliti Muda golongan III/d tahun 2003, Peneliti Madya golongan IV/a tahun 2007, Peneliti Madya golongan IV/b tahun 2011, Peneliti Ahli Utama golongan IV/c tahun 2020 Peneliti

Ahli Utama golongan IV/d tahun 2022, dan Peneliti Ahli Utama golongan IV/e bidang Limnologi Terapan tahun 2024.

Menghasilkan 99 karya tulis ilmiah (KTI), ditulis bersama penulis lain baik dalam bentuk bagian dari buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 66 KTI ditulis dalam bahasa Inggris, dan 33 dalam bahasa Indonesia. Sedangkan publikasi lainnya dalam bentuk presentasi dan kuliah umum di beberapa universitas (Institut Teknologi Bandung, Universitas Padjadjaran, Universitas Sriwijaya, Universitas Jendral Achmad Yani, Universitas Hasanuddin, Universitas Diponegoro, University of Nottingham Malaysia, Khalifa University-UAE) sebanyak 50 publikasi. Dengan demikian total publikasi sebanyak 149 buah. Sebanyak 7 kekayaan intelektual dimiliki dalam bentuk, 1 paten internasional terdaftar, 5 paten nasional terdaftar, dan 1 paten nasional tersertifikasi.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai *host-researcher* dalam program *post-doc fellowship*, pembimbing jabatan fungsional peneliti, pembimbing skripsi (S-1), pembimbing tesis (S-2), pembimbing disertasi (S-3) serta penguji disertasi (S-3), pengajar tamu pada Universitas Pakuan dan Universitas Padjajaran, Institut Pertanian Bogor, Institut Teknologi Bandung, Universitas Indonesia, Universitas Diponegoro, Universitas Hasanuddin, Universitas Jendral Ahmad Yani, dan Universitas Sriwijaya.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu anggota *Indonesian Researcher Association* (2020~sekarang), *Society for Indonesian Limnologist* (2019~sekarang), *American Chemical Society* (2020~sekarang), *International Bioprocessing Association - An International Forum on Industrial Bioprocesses* (IBA-IFIBiop) (2022~sekarang), *International Bioprocessing*

Society (IBPROCS) (2022~sekarang), dan Asian Federation of Biotechnology (AFOB) (2022~sekarang).

Penghargaan *International ACS-Omega award as the one of 10,980 unique peer reviewers from 107 countries* pada tahun 2020, dan Satyalancana Karya Satya X Tahun (tahun 2004), Satyalancana Karya Satya XX Tahun (tahun 2018), Satyalancana Karya Satya XXX Tahun (tahun 2023) dari Presiden RI.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalaamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional yang mulia dan hadirin yang saya hormati.

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

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya pada 30 Juli 2026 menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

**“TEKNOLOGI BIOSIRKULASI AIR LIMBAH
MENGUNAKAN FOTOBIOREAKTOR UNTUK
KULTIVASI MIKROLAGA DAN SIANOBAKTERIA”**

Pada orasi ini, akan disampaikan *state of the art* tentang perkembangan, peluang dan tantangan inovasi pada teknologi biosirkulasi air limbah menggunakan fotobioreaktor untuk kultivasi mikroalga dan sianobakteria serta peluang pemanfaatan hasil kinerja dari inovasi teknologi ini. Inovasi yang dihasilkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang pemanfaatan teknologi biosirkulasi air limbah pada sistem fotobioreaktor mikroalga dan sianobakteria sebagai wahana

untuk kultivasi mikroalga dan sianobakteria sekaligus mengolah air limbah, terutama yang berasal dari Indonesia, sebagai *platform* untuk menghasilkan air terolah yang aman digunakan untuk beragam kebutuhan lainnya, menangkap gas CO₂ sehingga menghasilkan biomassa dan gas O₂ melalui optimasi proses fotosintesis. Biomassa mikroalga dan sianobakteria yang dihasilkan, tergantung dari jenis limbah yang akan diolah, jenis mikroalga dan sianobakteria dan konfigurasi fotobioreaktornya, kemudian dapat dimanfaatkan untuk *feed stock* pada pembuatan bioproduk yang bernilai dan menunjang beragam kebutuhan lainnya mulai dari pangan, pakan, neutrasetikal, farmaseutikal bahkan bioenergi.

Orasi riset ini akan saya sampaikan dalam tiga bagian utama. Bagian pertama mengenai konsep teknologi biosirkulasi air limbah, kaitannya dengan limnologi dan implementasinya dalam fotobioreaktor mikroalga dan sianobakteria. Pada bagian kedua yang merupakan intisari dari orasi ini, akan saya sampaikan tentang aspek karakter mikroalga di habitat alami, bagaimana cara memanfaatkan mikroalga dan sianobakteria untuk mengolah air limbah, dan langkah inovasi teknik biosirkulasi air limbah menggunakan fotobioreaktor mikroalga dan sianobakteria. Pada bagian ketiga akan dikemukakan peluang pemanfaatan teknologi biosirkulasi fotobioreaktor mikroalga ini dalam penangkap gas CO₂, dan penghasil biomassa untuk bahan pangan dengan persyaratan kelayakan/keamanan tertentu. Sebagai penutup, diharapkan inovasi ini akan mendorong pengembangan lebih lanjut teknologi ini kearah yang lebih integratif dari beragam keilmuan terkait dengan fasilitasi dari BRIN agar bisa dimanfaatkan secara lebih intensif untuk mendukung upaya mensejahterakan masyarakat pada umumnya.

I. PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan mendasar bagi seluruh makhluk hidup dan bahan baku proses yang penting untuk kegiatan industri bahkan kegiatan antropogenik lainnya. Penggunaan air tawar untuk kegiatan antropogenik menghasilkan efluen berupa air tercemar yang apabila dibuang tanpa diolah terlebih dulu ke perairan umum, akan menyebabkan risiko ekologi dan kesehatan yang fatal (Ahmed et al., 2022; Maghfiroh et al., 2025). Air limbah mengandung beragam zat mulai dari yang toksik, nutrisi akuatik (Satya et al., 2018), hingga zat pencemar organik (Yogaswara et al., 2021) maupun anorganik lainnya (Satya et al., 2025). Hal tersebut dapat dilihat dari besaran nilai Chemical Oxygen Demand (COD) maupun Biological Oxygen Demand (BOD) yang tinggi. Populasi manusia secara global diperkirakan akan mencapai 9 milyar pada tahun 2050 dan diperkirakan akan mengalami krisis energi (50 %), pangan (70%) dan air (50%). Selain itu disertai pula dengan keharusan untuk mengurangi emisi gas CO₂ sebesar 75 % untuk upaya mitigasi fenomena perubahan iklim (Ali et al., 2022).

Penggunaan sumberdaya air yang telah tercemar untuk kegiatan pertanian dan domestik akan menimbulkan bioakumulasi yang berujung pada potensi terjadinya biomagnifikasi zat pencemar tersebut dalam rantai makanan. Teknik fikoremediasi (remediasi menggunakan mikroalga dan atau sianobakteria) adalah pendekatan alternatif yang efektif untuk mengatasi semua permasalahan ini (Satya et al., 2024; Carvalho et al., 2020)

Hal yang menarik adalah bahwa fikoremediasi pada air limbah terbukti menunjukkan laju fiksasi karbondioksida atmosferik tertinggi (1,83 kg CO₂/kg biomassa) dan produktifitas biomassa

mencapai 40-50 % lebih tinggi dibandingkan tumbuhan darat pada umumnya, serta kemampuan menyisihkan zat pencemar hingga 80-100 % (Tripathi et al., 2023). Biomassa mikroalga dan sianobakteria mengandung banyak jenis metabolit bernilai tinggi seperti asam lemak tak jenuh Ω -3, biopigmen, asam-asam amino, dan gula. Residu biomassa yang diekstraksi dapat dikonversi menjadi biofuel melalui fermentasi atau transesterifikasi (Pangestuti et al., 2026; Satya et al., 2024a). Hal ini menunjukkan bahwa mikroalga dan sianobakteria melalui mekanisme fikoremediasi sangat cocok digunakan dalam upaya biosirkular pengolahan air limbah. Secara global, teknologi ini mengarah pada upaya penerapannya pada skala besar untuk produksi *bio-fuel*, farmasetikal dan *carbon capture*, dengan penekanan kuat pada aspek skalabilitas, automasi, dan integrasinya dalam sistem ekonomi sirkuler (Tripathi et al., 2023; Satya et al., 2024b).

Berdasarkan perjalanan riset yang telah saya tempuh selama ini, saya mengukuhkan kepakaran di bidang perancangan proses pada fotobioreaktor dengan mengkhususkan diri dalam proses biosorpsi berbasis mikroalga atau sianobakteria, biosekuestrasi gas CO₂, dan penangkapan karbon yang berbasis pada kinerja sistem Fotobioreaktor *Carbon Capture Utilization and Storage* (FCCUS). Beberapa publikasi saya yang terindex Scopus telah menyoroti kedalaman pemahaman teknis dalam hal penyisihan kadmium dalam air limbah industri dengan menggunakan sianobakterium (*Aphanothece sp.*), meliputi kajian kinetika dan termodinamika biosorpsi pada reaktor partaian (Satya et. al., 2020), pemodelan biosorpsi dengan dua sistem kontinu berupa reaktor kolom unggun tetap (*fixed-bed column adsorber*) (Satya et. al., 2021a) dan sistem biosorpsi dengan reaktor membran hibrida terendam (*submerged membrane adsorber hybrid system*) (Satya et. al., 2021b). Publikasi lainnya juga mencakup

penekanan pentingnya ekonomi sirkuler, valorisasi air limbah, fitoakumulasi dan kajian ekologi akuatik (Satya et. al., 2024a, 2024b, 2025a, 2025b) yang memperkuat perspektif keilmuan pada aspek limnologi terapan. Keahlian saya ini dapat berperan langsung dan strategis dalam mendukung program pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals* (SDGs)) PBB dan Pemerintah Republik Indonesia karena berada dalam posisi persinggungan antara sains, keberlanjutan dan kebijakan. Keahlian saya merupakan penghubung yang mempertemukan inovasi di bidang limnologi terapan (SDG 6-Air Bersih dan Sanitasi, SDG-7-Energi Bersih dan Terjangkau, dan SDG-13-Penanganan Perubahan Iklim) dengan kerangka kebijakan (SDG 11-Masyarakat Kota Berkelanjutan, SDG-12-Produksi dan Konsumsi yang Bertanggung jawab, dan SDG-17-Kemitraan untuk mencapai Tujuan).

Buku orasi profesor riset ini memaparkan rekam jejak penelitian, dimulai dari latar belakang dilakukannya penelitian tentang potensi teknologi fotobioreaktor kultivasi mikroalga dan sianobakteria untuk memberi alternatif solusi pada permasalahan lingkungan, cara melakukan optimasi sistem dan kinerja fotobioreaktor sebagai agen fikoremediasi (memperbaiki kualitas air dan menangkap gas CO₂), hingga riset pengembangan teknologi fotobioreaktor untuk kultivasi mikroalga untuk menghasilkan biomassa berkualitas tinggi yang layak untuk digunakan sebagai bahan dasar dalam berbagai ragam bioproduk turunan yang bernilai ekonomi.

II. PERSPEKTIF PERKEMBANGAN TEKNOLOGI SISTEM FOTOBIOREAKTOR

A. Teknologi Biosirkulasi Air Limbah, Limnologi dan Fotobioreaktor Mikroalga dan Sianobakteria

Teknologi biosirkulasi air limbah menggunakan mikroalga dan sianobakteria merupakan pendekatan inovatif yang mengintegrasikan kultivasi mikroalga dan atau sianobakteria dengan pengolahan air limbah dan upaya pemulihan sumber daya (*resource recovery*). Teknologi ini difokuskan pada *closed-loop system* (siklus tertutup) yang secara kontinu mendaur ulang nutrien, karbon dioksida dan senyawa organik untuk meningkatkan pertumbuhan mikroalga dan sianobakteria sekaligus memperbaiki kualitas air (Wan Mahari et al., 2022). Sekarang ini permasalahan kelangkaan air tawar (*freshwater*), perubahan iklim dan polusi tengah menjadi perhatian secara global. Air limbah saat ini justru dipandang sebagai sebuah sumber daya yang berharga bukan lagi sekedar beban (Rempel et al., 2022). Sehingga titik temu antara keberlanjutan dan inovasi terdapat sebuah solusi yang menjanjikan yaitu biosirkulasi air limbah menggunakan fotobioreaktor (*photobioreactor*, selanjutnya dalam naskah ini akan disebut sebagai PBR) untuk membudidayakan mikroalga dan sianobakteria. Pendekatan siklus tertutup ini tidak hanya memurnikan air limbah tetapi juga menghasilkan biomassa bernilai tinggi, yang menempatkannya di garis depan teknologi lingkungan pada generasi mendatang.

Limnologi, bagi penulis, telah memberikan dasar pemahaman terhadap ekologi mikroalga dan sianobakteria, dinamika komunitas serta interaksi lingkungan dalam sebuah

badan air (*freshwater*), misalnya pada danau, situ, waduk, dan sebagainya. Pemahaman ini penting dalam mengkarakterisasi spesies mikroalga dan sianobakteria asli yang tumbuh subur pada kondisi nutrisi dan cahaya yang berbeda secara natural. Selain itu aspek pemahaman siklus nutrien dan dinamika trofik (terutama fluks nitrogen dan fosfor) juga harus dipahami dengan baik. Aspek parameter kimia fisika (misalnya turbiditas, temperatur, pH dan tingkat pencahayaan) sangat penting untuk dikaji karena berpengaruh terhadap struktur komunitas mikroalga dan produktifitasnya. Ketika mendesain sebuah sistem pengolahan air limbah berbasis mikroalga, pengetahuan aspek limnologis tersebut harus dipahami dan diterapkan dalam sistem agar sistem tersebut dapat berfungsi secara optimum. Dengan demikian menurut penulis, hubungan ini menciptakan siklus umpan balik, yaitu mencakup: 1) aspek ekologis yang dapat menginformasikan strategi budidaya yang terkendali; 2) kinerja dalam sistem rekayasa dapat meningkatkan pemahaman tentang plastisitas spesies, ketahanan dan potensi bioremediasi; 3) keberhasilan dalam perancangan PBR dapat mengarah pada aplikasi restoratif pada perairan alami (misalnya rehabilitasi danau dengan bantuan mikroalga dan atau sianobakteria).

Mikroalga dan sianobakteria merupakan “pabrik hidup” (*living factories*) yang melampaui kemampuan tumbuhan darat pada umumnya. Ditinjau dari laju pertumbuhan secara fotosintetik, mikroalga memiliki laju 100 kali lipat dibandingkan dengan tumbuhan pertanian konvensional. Bahkan, efisiensi biofiksasi CO₂ oleh mikroalga mencapai 10-50 kali lipat dibandingkan tanaman untuk produksi pangan pada umumnya. Permintaan global terkait mikroalga terus meningkat, dengan estimasi produksi pertahunnya adalah 20.000 ton/tahun (Okeke et al., 2022). Hal ini akan menghasilkan nilai nominal setara dengan kisaran Rp. 518.000 hingga Rp 5.180.000/kg. Oleh

sebab itu, penulis berpendapat bahwa biomassa mikroalga yang dihasilkan oleh sistem PBR dapat dijadikan sebagai salah satu bahan dasar untuk produksi pangan fungsional maupun produk berkesinambungan lainnya (misalnya *biofuels*, bioplastik, dsb). Hal ini akan menimbulkan pula efek pengungkit pendapatan para petani atau nelayan yang mengoperasikannya. Proses biosirkulasi air limbah dengan teknologi PBR juga akan menghasilkan air limbah terolah yang aman untuk digunakan dalam pertanian dan perikanan serta mengurangi emisi karbon.

B. Perkembangan Iptek Sistem PBR Mikroalga dalam Biosirkulasi Air Limbah

Mikroalga dan sianobakteria merupakan organisme mikroskopis yang dapat ditemukan pada lingkungan perairan darat maupun perairan laut. Mekanisme fotosintesis pada mikroalga dan sianobakteria sama dengan tumbuhan darat, meskipun begitu efisiensi konversi cahaya matahari menjadi biomassa adalah lebih besar dibandingkan tumbuhan darat pada umumnya. Hal tersebut dikarenakan karakteristik seluler mikroalga yang lebih sederhana. Biodiversitas mikroalga sangat tinggi (300.000 spesies, dan lebih dari 40.000 *strain* telah dimasukkan dalam katalog) dan terbagi menjadi golongan prokariota dan eukariota. Klasifikasi dalam divisi berdasarkan pada pigmentasi, sifat kimiawi produk penyimpanan fotosintesis, susunan membran fotosintesis, dan sifat morfologis lainnya. Kelas mikroalga dan sianobakteria yang dikenal diantaranya adalah *Cyanophyceae* (sianobakteria sering disebut juga alga hijau biru), *Chlorophyceae* (alga hijau), *Bacillariophyceae* (termasuk

diatom) dan Chrysophyceae (termasuk alga emas) (Ali et al., 2022; Fernández et al., 2020).

Mikroalga dan sianobakteria dikenal sebagai penghasil beragam jenis bahan kimia adi (*fine chemicals*) dan produk berupa biomassa. Berbagai jenis senyawa tersebut diantaranya adalah lipida, karbohidrat, protein, pigmen, anti-oksidan, anti-virus, biopolimer, dsb. Dari aspek lingkungan, mikroalga merupakan alternatif untuk eksploitasi bersih pada berbagai sumber energi dan bioremediasi (Kumar et al., 2022; Carvalho et al., 2020). Mikroalga juga dikenal sebagai bahan baku untuk generasi ketiga *biofuel* dan bioenergi terbarukan. Mikroalga dan sianobakteria memiliki kemampuan untuk melakukan fiksasi atau mitigasi karbon-dioksida (CO_2), bahkan menyisihkan senyawa toksik (yaitu oksida nitrat (NO_x) dan oksida sulfur (SO_x)) dari gas cerobong (*flue gases*) serta mengolah air limbah secara fotoautotrof, merupakan cara produksi mikroalga dan sianobakteria yang umum dilakukan. Kultivasi secara fotoautotrofik merupakan satu-satunya strategi yang layak secara teknis pada saat ini untuk melakukan produksi massal. Hal tersebut disebabkan karena pemasokan cahaya matahari tanpa memerlukan biaya, terbarukan dan merupakan sumber energi bersih. Metoda kultivasi lainnya seperti mikсотrofik, heterotrofik, dan fotoheterotrofik terkadang juga digunakan namun tergantung dengan jenis produk yang diharapkan serta ketersediaan spesies mikroalga dan sianobakteria, meskipun hal tersebut menimbulkan biaya yang lebih mahal (Okeke et al., 2022; Kumar et al., 2022).

Sistem kultivasi terbuka, seperti kolam sirkulasi dan kolam *raceway*, umumnya digunakan pada skala industri, menyumbangkan 90 % dari total produksi biomassa mikroalga dan sianobakteria setiap tahun secara global. Tetapi, sebagian

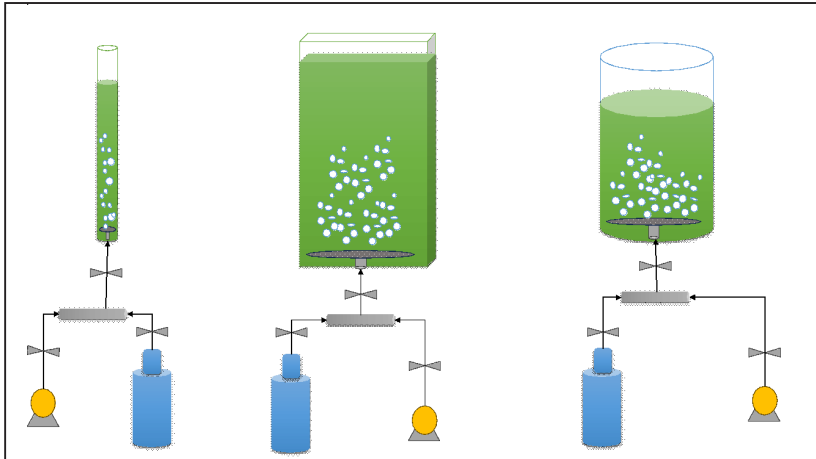
besar spesies mikroalga dan sianobakteria tidak tahan pada waktu yang lama pada lingkungan dengan ruang terbuka. Hal itu dikarenakan kerentanan mikroalga terhadap kontaminasi oleh mikroorganisme lain yang tumbuh lebih cepat. Hanya sedikit spesies mikroalga dan sianobakteria yang telah mapan dapat diproduksi pada kondisi terbuka seperti, *Spirulina platensis*, *Dunaliella salina*, *Chlorella* sp. Mikroalga dan sianobakteria tersebut harus dipelihara pada media selektif agar tetap dapat menunjukkan laju pertumbuhan yang tinggi (Prokop et al., 2015; Tripathi et al., 2023)

Sistem PBR merupakan sistem kultivasi mikroalga dan sianobakteria yang bersifat tertutup yang dikembangkan untuk menghadapi permintaan dan minat yang semakin meningkat akan mikroalga dan sianobakteria. Sistem kultivasi terbuka relatif lebih murah dalam pembuatan konstruksi dan pengoperasiannya. Namun, kelemahan utama sistem terbuka adalah buruknya laju perpindahan massa (*mass transfer rate*) yang disebabkan oleh rendahnya kemampuan difusi CO₂ pada media kultur. Selain itu kelemahan sistem kultivasi terbuka lainnya adalah tingginya tingkat penguapan air, sulitnya menjamin kestabilan kondisi kultur, tingginya kerentanan kontaminasi, dan kebutuhan luas area yang lebih besar untuk pemasangan kolam (Wan Mahari et al., 2022).

Sistem PBR yang tertutup, memungkinkan untuk dapat dilakukannya pengendalian lingkungan pertumbuhan (nutrien, temperatur, pH dan pencahayaan), sehingga memungkinkan pula dilakukannya kultivasi spesies tunggal mikroalga dan sianobakteria dalam waktu yang lama dengan risiko kontaminasi eksternal yang rendah. Lagipula, sistem PBR dirancang untuk mengurangi masalah terjadinya *mutual-shading* dan mendistribusi cahaya meliputi luas permukaan yang besar

(dengan cara mengatur rasio permukaan terhadap volume). Hal ini akan meminimumkan terjadinya foto-inhibisi dan foto-oksidasi sehingga produktifitas biomassa akan tetap terjaga. Sistem PBR dapat disesuaikan untuk kekhususan produk tertentu yang diatur spesifikasinya secara lebih ketat di pasaran, misalnya untuk industri farmasi dan kosmetik. Sistem PBR adalah pilihan terbaik ketika masalah keamanan dan lingkungan menjadi pertimbangan utama. Keunggulan lain dari sistem PBR adalah terhindarnya penguapan air, meningkatnya perpindahan gas, pelepasan oksigen (O_2), dan produktifitas areal yang lebih tinggi (Wan Mahari et al., 2022; Chrismadha et al., 2022; Satya et al., 2024).

Beberapa jenis PBR telah dikembangkan untuk isolasi dan kultivasi mikroalga dan sianobakteria, baik pada skala kecil atau pilot, dan laboratorium baik *indoor* maupun *outdoor*. Konfigurasi PBR klasik meliputi beberapa rancangan baku, meliputi panel datar, tubular-mendatar, dan jenis kolom (terdiri atas jenis tanki teraduk dan kolom teraerasi (*bubble column* atau *airlift*). Gambar 1 menunjukkan beberapa desain dasar PBR di Pusat Riset Limnologi dan Sumber Daya Air (PRLSDA), BRIN. Saat ini, dikenal pula beberapa konfigurasi PBR yang berbentuk unik untuk mempermudah upaya *scaling-up* saat produksi massal biomassa mikroalga dan sianobakteria. Biasanya hal ini dilakukan dengan cara memodifikasi konduksi pencahayaan, pola hidrodinamika, perpindahan massa, dan kemudahan pengendalian proses pada konfigurasi PBR klasik.



Gambar 1. Tiga jenis konfigurasi fotobioreaktor (PBR) klasik berupa tubular (A), panel datar (B), dan kolom (C) di PRLSDA BRIN (Satya et al., 2022; 2024)

Tim pengembangan teknologi PBR di PRLSDA-BRIN, berfokus untuk melakukan inovasi/modifikasi dengan tujuan meningkatkan proses perpindahan massa fasa gas ke fasa cair (misalnya pada PBR berbasis membran, PBR kolom, PBR datar maupun PBR *air-lift*). Selain itu, pengembangan pada konfigurasi PBR diutamakan menggunakan bahan yang murah dan mudah diperoleh (misalnya pada PBR yang sekali pakai/*disposable*) (Satya et al., 2025b). Konfigurasi PBR ini berbentuk unik dan sebagian besar masih dalam skala laboratorium, serta masih jarang dijumpai dalam skala pilot atau skala industri. Tetapi hal ini sangat berguna sebagai studi kasus yang mendorong pengembangan kebaruan lebih lanjut dalam upaya memperoleh

rancangan yang sesuai untuk produksi biomassa mikroalga dan sianobakteria serta metabolitnya dalam skala yang lebih besar.

Perbedaan geometrik PBR dan kekhususan metode pengoperasian ditentukan oleh kemampuan intrinsik mikroalga dan sianobakteria yang dipilih (dalam hal kebutuhan energi dan kinetika pertumbuhan mikroalga nya). Selain itu, tergantung pula pada target senyawa yang akan dihasilkan dan produk samping yang diperbolehkan dan kondisi lokal dimana kultivasi dilaksanakan. Baik kuantitas maupun kualitas biomassa dan produk yang akan menjadi target harus dipertimbangkan dengan baik dalam pemilihan konfigurasi PBR. Secara prinsip, pendekatan untuk memperbaiki kinerja sistem PBR adalah upaya dalam meningkatkan efisiensi fotosintesis. Hal tersebut dilakukan dengan memperluas rasio *Surface /Volume* (S/V), menambah tapak cahaya (*light path*), atau dilusi pencahayaan dalam reaktor, atau dengan memperbaiki sumber cahaya yang digunakan. Konfigurasi PBR dengan bentuk geometri yang unik, diharapkan akan mampu meningkatkan perolehan cahaya secara efisien sehingga sangat menjanjikan untuk meningkatkan produktifitas biomassa. Tetapi, pada upaya *scale-up* yang dilakukan secara *out-door*, tampaknya masih banyak hal yang harus dipertimbangkan dengan baik, yaitu upaya pencegahan penumpukan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*) terutama pada PBR tubular, pemasokan gas CO₂, sistem pengaturan temperatur agar tetap kondusif untuk pertumbuhan mikroalga yang dikultivasi, yang tentu akan berujung pada peningkatan biaya modal dan biaya operasional (Satya et al., 2025a).

Biosirkulasi air limbah dengan PBR mengandalkan kinerja mikroalga dan sianobakteria untuk menghilangkan zat pencemar dari dalam air dan udara. Pendekatan yang ramah lingkungan ini meningkatkan kemampuan alamiah mikroalga dan sianobakteria

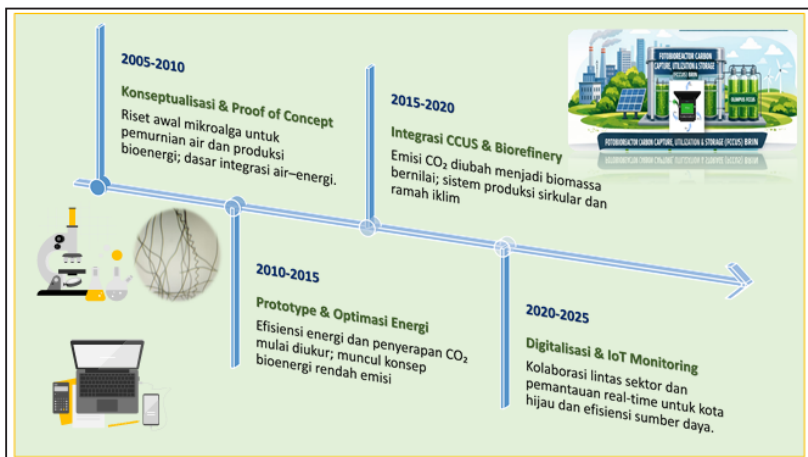
untuk menyerap nutrisi, logam berat dan zat pencemar lainnya. Hal ini merupakan metodologi berkesinambungan untuk purifikasi lingkungan. Mikroalga dan sianobakteria dapat menangkap gas CO₂ dari atmosfer sehingga mampu mengurangi emisi karbon. Biomassa yang dihasilkan dapat dipergunakan untuk berbagai hal misalnya bahan bakar bio (Tripathi et al., 2023). Penggunaan untuk pangan, pakan dan pupuk harus dalam pengawasan ketat dan terbatas hanya pada air limbah dengan kandungan zat pencemar nutrisi akuatik saja. Hal tersebut dikarenakan terkait fenomena bioakumulasi zat pencemar oleh mikroalga (Rempel et al., 2022). Bahan pencemar berupa logam berat bila sudah diakumulasi oleh biomassa baik pada makrofita akuatik (proses fitoremediasi), mikroalga dan sianobakteria (fikoremediasi) dapat diperoleh kembali misalnya menggunakan metoda elektrolisis (atau metoda kimia sederhana lainnya) untuk mendapatkan kembali logam yang telah dibioakumulasi tersebut (Satya et al., 2024; 2025b). Selain diperoleh biomassa mikroalga dan sianobakteria, metode ini memungkinkan diperolehnya air limbah terolah yang aman digunakan untuk kebutuhan lain misalkan untuk pertanian, perikanan dan perkebunan, sehingga dapat memenuhi kaidah biosirkuler air limbah.

C. Arah Pengembangan ke Depan

Tantangan implementasi sistem PBR adalah bahwa sistem ini harus memiliki produktivitas biomassa yang tinggi dengan biaya modal seefisien mungkin dan terbukti ramah lingkungan. Penulis menyebutnya sebagai PBR dengan kondisi operasional yang optimum. Hal ini tentu memerlukan penelitian multidisipliner implementatif yang lebih mendalam, inovatif, dan berkesinambungan. Arah pengembangan teknologi PBR biosirkulasi pada tataran global saat ini menurut Tripathi et

al. (2023) adalah bergerak menuju sistem modular, otomatis dan berintegrasi dengan bioekonomi sirkular. Fokus utamanya adalah penerapannya pada skala industri untuk biofuel, farmasi serta CCUS (*Carbon Capture, Utilization and Storage*). Hal ini disertai pula dengan tren mendatang yang menekankan integrasi dengan *Internet of Things (IoT)*, *Artificial Intelligence (AI)*, dan kebijakan keberlanjutan internasional (*Sustainable Development Goals-United Nation, SDGs-UN*).

Gambar 2 menunjukkan arah perkembangan riset teknologi PBR pada periode 2005-2025. Sedangkan rencana arah pengembangan riset teknologi PBR pada tahun 2025-2045 diuraikan pada Tabel 1. Oleh sebab itu, dalam rangka menghadapi tantangan tersebut, buku orasi ini berfokus pada upaya langkah inovatif dalam mengintegrasikan sistem PBR dalam *wastewater biocirculation loops* untuk memperbaiki kualitas air sekaligus produksi biomassa mikroalga berkualitas, dan mengeliminasi gas CO₂. Hal tersebut disertai dengan optimasi proses yang terintegrasi dengan *Internet of Things (IoT)*, dan *Artificial Intelligence (AI)* pada PBR skala urban dan industri.



Gambar 2. Arah riset pengembangan teknologi PBR Biosirkulasi pada periode 2005-2025

Tabel 1. *Timeline* arah riset perkembangan Teknologi PBR Biosirkulasi 2025-2045

Periode	Fokus Teknologi	Target Implementasi
2025–2030	<i>Hybrid System & Urban Integration</i>	PBR terintegrasi dengan sistem perkotaan dan pengolahan air; mendukung kota rendah emisi.
2030–2035	<i>Circular Carbon Economy & Policy Alignment</i>	Kebijakan ekonomi sirkular dan CCUS berbasis limnologi terapan; kemitraan global mulai terbentuk.
2035–2040	<i>AI & Genetic Engineering</i>	Rekayasa mikroalga untuk biohidrogen dan penyerapan karbon; efisiensi energi terbarukan meningkat.
2040–2045	<i>Global Deployment & Resilience</i>	PBR biosirkulasi menjadi infrastruktur global mitigasi iklim dan ketahanan kota

III. TEKNOLOGI FOTOBIOREAKTOR UNTUK PENANGKAP GAS CO₂ DAN PENGHASIL BAHAN BAKU PANGAN

Saat ini di segala aspek kehidupan, seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan air, pangan dan energi, maka upaya untuk tetap menjaga keberlanjutan (*sustainability*) pada ketiga hal tersebut menjadi sebuah keharusan (Satya et al., 2025a). Masyarakat dunia dan ekosistemnya dihadapkan pada ancaman perubahan iklim global. Ketersediaan sumberdaya alam sifatnya terbatas sehingga dibutuhkan perencanaan yang matang agar dapat digunakan secara efisien. Produksi pangan sangat tergantung pada ketersediaan lahan tanah, akibatnya kerusakan pada sumberdaya berupa lahan ini harus dapat dihindari dengan baik (Zhang et al., 2021).

Pada awal abad ke 20, perkembangan sektor mikroalga mengalami percepatan dengan adanya penggunaan biomassa mikroalga dan sianobakteria untuk bahan makanan manusia. Tetapi banyak hambatan yang dihadapi ketika akan dilakukan pembudidayaan mikroalga dan sianobakteria ini secara massal, karena masyarakat lebih tertarik untuk menanam tanaman pangan konvensional sehingga budidaya mikroalga dan sianobakteria menjadi kurang diminati. Hingga ketika mulai ada tuntutan keberlanjutan dan bahkan kini makin digalakkannya *issue* tersebut pada praktik sistem agro-pangan, maka sektor produksi mikroalga dan sianobakteria ini mulai diminati. Hal ini karena adanya fakta bahwa populasi dunia akan meningkat pada kisaran 50-90 % pada tahun 2050 (Kumar et al., 2022; Fernandez et al., 2020). Oleh sebab itu, perancangan yang matang diperlukan untuk produksi pangan dengan tetap mempertimbangkan tiga indikator utama yaitu: 1) emisi gas rumah kaca; 2) konsumsi air;

dan 3) penggunaan lahan yang lebih efisien. Produksi mikroalga dan sianobakteria menjadi lebih berkembang melebihi produksi jenis tumbuhan darat pada umumnya. Hal tersebut disebabkan karena mikroalga memiliki laju pertumbuhan lebih tinggi, membutuhkan air lebih sedikit saat dikultivasi dibandingkan tumbuhan darat konvensional, tidak membutuhkan tanah yang subur, emisi karbon 0 %, dan berpotensi besar untuk menghasilkan beragam produk turunan. Dengan demikian, produksi mikroalga dan sianobakteria menjadi topik yang banyak diminati hingga saat ini.

A. Karakter Mikroalga dan Sianobakteria di Habitat Alami

Pengalaman penulis terkait riset mikroalga dan sianobakteria selama berkarir di lembaga penelitian, terbagi menjadi tiga periode yaitu: 1) periode pertama (1993-2014) adalah masa penulis untuk mempelajari dinamika interaksi fungsional mikroalga dan sianobakteria dengan faktor biotik dan abiotik di lingkungan danau, situ, dsb. Awalina (2011) mengungkapkan bahwa salah satu aspek penting untuk menyokong program ketahanan pangan nasional adalah tersedianya habitat perikanan darat yang aman dari potensi pencemaran logam berat. Tujuan penelitian tesis ini adalah untuk mengkuantifikasi tingkat bioakumulasi timbal (Pb) dan cadmium (Cd) dalam komunitas fitoplankton (mikroalga dan sianobakteria) dan deposisi kedua logam tersebut pada sedimen beserta hubungannya terhadap beberapa faktor kimia dan fisika perairan pada lima perairan situ sekitar Kabupaten Bogor. Perairan situ yang dipilih adalah Situ Lido, Situ Tonjong, Situ Cibuntu, Situ Cikaret serta Situ Rawa Kalong). Disimpulkan bahwa kecuali untuk Cd di Situ Rawa Kalong, kedua logam cenderung untuk lebih banyak terbioakumulasi dalam fitoplankton (mikroalga dan

sianobakteria) dibandingkan terdepresiasi dalam sedimen. Faktor jarak rerata sumber pencemar, jenis sumber pencemar dan jumlah sumber pencemar berpengaruh secara simultan terhadap pola bioakumulasi Pb dan Cd dalam fitoplankton yang hidup pada lima situ yang diamati. Logam Pb cenderung lebih terakumulasi dalam biomassa fitoplankton pada Situ Cikaret dan Situ Lido, hal ini sangat terkait erat dengan strata pengambilan contoh dan tingkat kesadahan perairan. Situ Rawa Kalong memiliki jenis komunitas fitoplankton (sianobakterium *Oscillatoria* sp.) yang paling adaptif terhadap kondisi perairan dengan kandungan Cd berkadar tinggi baik dalam air maupun sedimennya. Pola bioakumulasinya terkait erat dengan Cd terlarut, Cd partikulat dan kuantitas Cd dalam sedimen.

Dari hasil selama 17 tahun perjalanan karir tersebut, Awalina (2011) berpendapat bahwa mikroalga dan sianobakteria sebagai produsen primer di lingkungan akuatik berpotensi untuk dapat dimanfaatkan untuk mengolah air yang tercemar baik oleh nutrien akuatik maupun logam berat. Sehingga dapat diperoleh air terolah yang aman untuk mengairi lahan pertanian. Biomassa mikroalga dan sianobakteria sendiri kemudian dapat diekstrak logam beratnya melalui elektrolisis atau destruksi dengan larutan asam, sehingga logam berat dapat diperoleh kembali. Dengan demikian tidak perlu menambang logam berat tersebut.

B. Mikroalga dan Sianobakteri untuk Pengolahan Air Limbah

Periode karir ke-2 (2014-2021) adalah masa penulis mempelajari cara karakterisasi habitat alami dilanjutkan dengan isolasi sianobakterium *under-exploited Aphanothece* sp. yang diisolasi dari perairan situ Rawa Kalong-Depok-Jawa Barat. Sianobakterium ini mendominasi perairan sebuah situ urban

hipereutrofik tersebut dengan total kelimpahan mencapai 768.200 individu/L. Karakteristik lain Situ Rawa Kalong saat itu adalah perairan rendah kandungan organik, kaya nitrogen, tapi terlimitasi oleh kandungan fosfor. Sianobakterium ini tumbuh sangat dominan (~90 % dari kelimpahan mikroalga di Situ Rawa Kalong). Padahal perairan hipereutrofik berlokasi di wilayah urban ini memiliki kandungan ion kadmium (Cd^{2+}) berkisar 0,387-0,574 $\mu\text{g/L}$ atau 28,7 kali lebih tinggi dari batas aman untuk kehidupan mikroalga dan sianobakteria (Awalina, 2018; Satya et al., 2018; Satya et al., 2021).

Sementara itu, dalam biomassa *Aphanothece* sp. yang diamati ternyata mengandung Cd berkisar 2,89-4,94 $\mu\text{g/g}$ bobot kering. Dengan demikian, sianobakterium ini terbukti mampu untuk menyerap ion kadmium (bioakumulasi) hingga 4.150 kali lebih besar dari konsentrasi Cd di perairan Situ Rawa Kalong. Kemampuan bioakumulasi ini secara signifikan ($R^2=91,20-96,84$ %) dipengaruhi oleh 11 parameter yaitu kandungan Cd dalam biomassa, total kelimpahan sianobakterium *Aphanothece* sp., konduktifitas, temperatur, total padatan terlarut, kedalaman *Secchi-disk* (tranparansi), turbiditas, klorofil-a, total *hardness*, total fosfor, total nitrogen dan kandungan Cd dalam perairan (Satya et al., 2018). Data tersebut diobservasi sebanyak 10 kali pada rentang waktu dari 11 Maret 2014-15 Oktober 2014.

Kesimpulan yang diperoleh pada saat itu adalah bahwa *Aphanothece* sp. sangat berpotensi digunakan sebagai bahan biosorben untuk menyerap kadmium dalam sebuah instalasi pengolah air limbah industri yang mengandung Cd. Hal tersebut dikarenakan sianobakterium ini terbukti sudah adaptif untuk hidup pada lingkungan dengan Cd tinggi. Sehingga sianobakterium ini harus diisolasi dan diperbanyak (proliferasi) di laboratorium agar memungkinkan untuk diduplikasinya

biomassa dalam jumlah mencukupi untuk digunakan sebagai bahan baku produksi biosorben. Pada awal 2016, telah diperoleh isolat *Aphanothece* sp. yang telah adaptif ditumbuhkan dalam medium BG-11. Kemudian isolat adaptif tersebut diproliferasi dalam PBR jenis *bubble column* skala lab bervolume kerja 3 L dengan tempuhan injeksi udara yang diperkaya dengan 8 % gas CO₂ dan 15% gas CO₂ dan penyinaran bervariasi dari 2700 luks hingga 6000 luks. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa produktifitas biomassa maksimum (P_{maks}), konsentrasi biomassa maksimum (X_{maks}) dan laju fiksasi CO₂ (R_{CO_2}) makin meningkat seiring dengan makin bertambahnya intensitas dan konsentrasi pengayaan CO₂. Kultivar *Aphanothece* sp. A15 pada penelitian ini menghasilkan P_{maks} sebesar 0,739 g/(L.hari) sebanding dengan hasil penelitian yang dilaporkan oleh Jacob-Lopez et al. (2011) dalam Awalina (2018) yang menunjukkan bahwa produktivitas maksimum *Aphanothece microscopica* Nageli sebesar 0,770 g/(L.hari). Akan tetapi X_{maks} dalam mikroalga yang dilaporkan oleh Jacob-Lopez et al. (2011) hanya 5,10 g/L atau lebih rendah dibandingkan kultivar *Aphanothece* sp. A15 yaitu mencapai 11,61 g/L (Awalina, 2018).

Nilai R_{CO_2} yang teramati pada penelitian ini juga lebih besar (1,19 g/(L.hari) atau sepuluh kali lebih besar dibandingkan dengan laporan Jacob-Lopez et al. (2011) dalam Awalina (2018), yang hanya mencapai 0,11 g/(L.hari). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa diantara tiga kultivar yang digunakan penelitian ini, maka *Aphanothece* sp. kultivar A15 merupakan kultivar paling potensial untuk digunakan sebagai agen biofiksasi CO₂. Oleh sebab itu, penelitian berlanjut lagi pada pembuatan biosorben berbahan dasar sianobakterium *Aphanothece* sp. kultivar A15 yang dibandingkan dengan *Aphanothece* sp. kultivar A0 dan *Aphanothece* sp. kultivar A8. Pengujian kapasitas biosorpsi Cd menggunakan biosorben dari ketiga kultivar

tersebut menggunakan reaktor biosorpsi sistem *batch*. Riset ini bertujuan untuk menghilangkan Cd pada limbah industri yang mengandung Cd pada kisaran 1-100 mg/L. Biosorpsi Cd dalam kisaran konsentrasi ini, berlangsung sangat tidak efektif dan tidak efisien. Hal tersebut umumnya disebabkan oleh kurangnya kemampuan bahan biosorben konvensional dalam mengabsorb ion Cd pada kisaran tersebut. Hal tersebut juga terbukti manakala digunakan biosorben *Aphanothece* sp. A0 (yaitu biosorben yang terbuat dari kultivar *Aphanothece* sp. yang dikultivasi hanya menerima CO₂ atmosferik) teramatinya hanya mampu menyerap Cd sepertiga dari kemampuan *Aphanothece* sp. A15 (yaitu biosorben yang terbuat dari kultivar *Aphanothece* sp. yang dikultivasi dalam pengayaan 15 % CO₂) (Satya et al., 2017).

Penulis kemudian mencoba mengkarakterisasi sifat kimia-fisika biosorben berbasis biomasas kering *Aphanothece* sp. yaitu A0, A8 dan A15. Hasil uji menggunakan metoda Brunauer–Emmet–Teller (BET) menghasilkan luas permukaan berkisar 0,571–1,846 m²/g. Proses biosorpsi Cd²⁺ sangat tergantung pada pH dan konsentrasi awal ion Cd²⁺. Proses sorpsi berlangsung secara spontan ($\Delta G = -8,39$ hingga $-10,88$ kJ/mol), bersifat *exothermic* ($\Delta H = -41,85$ hingga $-49,16$ kJ/mol), dan mengalami pengurangan ketidakteraturan atau entropi ($\Delta S = -0,102$ hingga $-0,126$ kJ/(mol.^oK) pada permukaan antar fasa solid dan liquid ketika proses berakhir. Selain itu, terungkap pula kinetika proses biosorpsi berkesesuaian dengan model kinetika *pseudo-second-order* ($k_2 = 2,79 \times 10^{-2}$; $3,96 \times 10^{-2}$, dan $4,54 \times 10^{-2}$ g/(mg·menit)) (Satya et al., 2020).

Proses biosorpsi menggunakan biosorben kering A0, A8, dan A15 tersebut, kemudian dimodelkan dengan model isoterm Langmuir and Dubinin–Radushkevich. Hasil pemodelan yang diperoleh menunjukkan bahwa ion Cd²⁺ diikat oleh biosorben

terjadi secara *chemisorption* ($q_{\text{max}, \text{D-R}} = 9,74 \times 10^{-4}$; $4,79 \times 10^{-3}$; dan $9,12 \times 10^{-3}$ mol/g dengan rerata energi bebas (ΔH) sebesar 8,45; 11,18; dan 11,18 kJ/mol) pada permukaan *monolayer* dan *homogenous* (masing-masing dengan nilai $q_{\text{max}, \text{Langmuir}}$ 12,24; 36,90; dan 60,24 mg/g). Hal tersebut didukung pula dari hasil *scanning electron microscopy* (SEM), *energy-dispersive X-ray spectroscopy* (EDX), dan *Fourier transform infrared* (FTIR) yang menunjukkan bahwa setidaknya terdapat sembilan gugus fungsional yang berinteraksi dengan Cd^{2+} (membentuk sebuah ikatan) setelah proses biosorpsi melalui mekanisme pertukaran kation. Hal tersebut terbukti secara morfologis menunjukkan adanya perubahan permukaan partikel biosorben setelah proses biosorpsi. Biosorben A15 menunjukkan ketahanan terbaik setelah melewati tiga kali siklus sorpsi–desorpsi menggunakan 1 M HCl sebagai larutan pendesorpsi. Sehingga A15 ini sangat berpotensi dan bersifat ramah lingkungan untuk mengolah air limbah (Satya et al., 2020).

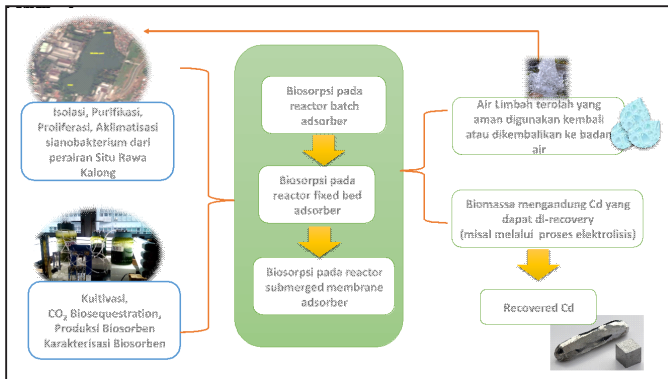
Proses biosorpsi agar dapat diimplementasikan pada dunia industri, harus dapat berlangsung pada proses yang kontinu. Proses kontinu tersebut, salah satu contohnya adalah dengan menggunakan reaktor biosorpsi jenis unggun tetap (*fixed-bed adsorber reactor*) dan reaktor membran yang diintegrasikan dengan penggunaan biosorben kering berbasis sianobakterium *Aphanothece* sp. A15. Penelitian biosorpsi ini menggunakan menggunakan reaktor biosorpsi unggun tetap, ditujukan untuk mengetahui pengaruh masukan konsentarsi awal Cd^{2+} (1,00-4,85mg/L), laju alir (0,30-0,60 L/jam) dan ketinggian unggun (4,6-7,2 cm) pada karakteristik kurva *breakthrough* dalam kolom adsorpsi. Kapasitas adsorpsi maksimum dan efisiensi sebesar 8,20 mg/g dan 89,07 %, masing-masing pada laju alir 0,60 L/jam dan 4,85 mg/L konsentrasi awal Cd pada bagian inlet reaktor. Data adsorpsi berkesesuaian dengan model

empiris untuk reaktor kolom adsorpsi *fixed-bed* yaitu model Thomas, Adam–Bohart dan Yoon–Nelson. Hasil percobaan sangat sesuai dengan model dengan nilai R^2 lebih besar dari 0,980 pada kondisi yang berbeda-beda. Efisiensi regenerasi juga dilakukan pada biosorben berbasis *Aphanothece* sp. cultivar ini dengan menggunakan larutan pendesorpsi 0,1 M HCl. Percobaan berulang adsorpsi–regenerasi menunjukkan bahwa pada akhir siklus ke lima, efisiensi desorpsi berkurang hingga 21%. Sehingga, penelitian lebih lanjut masih diperlukan untuk memperbaiki kemungkinan penggunaan kembali biomassa kering sianobakterium *Aphanothece* sp. A15 sebagai biosorben pada sistem kontinu reaktor kolom sorpsi *fixed-bed* (Satya et al., 2021).

Selanjutnya dalam rangka untuk meningkatkan kinerja sorpsi biosorben berbasis *Aphanothece* sp. cultivar A15, penulis mengintegrasikan biosorben ini kedalam sebuah sistem reaktor kontinu berbasis membran. Tujuan dari riset ini adalah untuk mengetahui pengaruh parameter operasi pada reaktor sorpsi bernama *Submerged Membrane Adsorption Hybrid System* (SMAHS) untuk menyisihkan ion Cd^{2+} dari air limbah industri. Biosorben kering ini berasal dari biomassa *Aphanothece* sp. yang dikultivasi pada sistem PBR yang diperkaya dengan CO_2 15 %, sehingga diberi nama biosorben *Aphanoteche* sp. A15. Parameter operational yang diamati adalah *filtration flux*, konsentrasi biosorben, frekuensi penggantian biosorben, dan konsentrasi awal Cd^{2+} . Diantara parameter tersebut, ternyata *filtration flux* dan konsentrasi awal Cd^{2+} , merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap efisiensi biosorpsi. Lebih dari 95 % penyisihan Cd tercapai pada pengolahan air limbah dengan konsentrasi awal Cd^{2+} sebesar 4,89 mg/L pada *filtration flux* sebesar 20 L/(m². jam). *Biosorption capacity* terbesar (112,89 mg/g) diperoleh pada *flux* sebesar 60 L/(m².jam). Biosorben

menjadi jenuh setelah 20 jam pengoperasian secara kontinu jika tidak dilakukan penggantian biosorbent (Satya et al., 2021).

Hal tersebut menunjukkan bahwa biomassa kering *Aphanothece* sp. A15 berpotensi untuk diimplementasikan pada instalasi pengolahan air limbah industri dengan menggunakan SMAHS yang diintegrasikan dengan unit CO₂ bio-sequestration. Sehingga penyisihan ion Cd²⁺ pada air limbah dapat diintegrasikan dengan pengurangan emisi CO₂ yang terkandung dalam gas cerobong. Biosorben yang telah mengikat Cd²⁺ selanjutnya dapat dielektrolisis atau diekstrak untuk memperoleh kembali ion Cd²⁺. Dengan demikian diperoleh tiga hal sekaligus yaitu (1) air yang telah terolah sehingga aman digunakan untuk mengairi lahan pertanian, (2) emisi gas CO₂ dari gas cerobong dapat dikurangi, (3) diperolehnya kembali Cd²⁺ sehingga dapat digunakan kembali (Satya et al., 2021). Hal ini memenuhi konsep biosirkularitas proses. Secara grafis pengembangan teknologi reaktor biosorpsi berbasis sianobakterium *Aphanothece* sp. (Awalina, 2018) tersaji pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema pengembangan reaktor biosorpsi berbasis sianobakterium *Aphanothece* sp. (Awalina, 2018).

C. Inovasi dan Esensi Teknik Biosirkulasi Air Limbah pada PBR Mikroalga dan Sianobakteria

Periode perjalanan karir ke-3 berawal dari tahun 2022 hingga saat tulisan ini dibuat. Saya sebagai peneliti utama pada kegiatan pengembangan teknologi PBR Biosirkulasi menyimpulkan dari capaian hingga 2021, bahwa hal paling esensial adalah menjamin ketersediaan biomassa mikroalga dan sianobakteria yang konsisten mencukupi sebagai *feed stock* untuk keperluan tertentu sesuai kebutuhan dalam *down-stream process* biomassa mikroalga (valorisasi). Pendekatan penyelesaian permasalahan penyediaan biomassa mikroalga dan sianobakteria yang terjamin kualitas maupun kuantitasnya, harus bertumpu pada pendalaman pengetahuan terkait optimasi proses dan penentuan rancangan PBR *cost effective* yang mudah untuk diimplementasikan pada skala massal. Selain itu, rancangan PBR inovatif ini harus dapat dikultur dengan formulasi medium berbiaya hemat menggunakan PBR *bench top bubble column* (Gambar 4a), PBR *indoor hybrid CO₂ biosequester* untuk menangkap gas CO₂ secara efektif lalu mengkonversinya menjadi biomassa bernilai tinggi (Gambar 4b), PBR semi out-door membrane untuk mengolah *Palm Oil Mill Effluen* (POME), PBR semi-outdoor adveksi jungkat-jungkit untuk produksi biomassa dan mengkonversinya menjadi biomassa bernilai (Gambar 4c). Kemudian PBR *inclined outdoor* serta PBR *vertical outdoor* hemat energi serta dapat diintegrasikan dengan sumber energi terbarukan pada sistem outdoor untuk produksi biomassa dan mengkonversinya menjadi biomassa bernilai (Gambar 4e dan 4f). Oleh karena itu langkah optimasi parameter proses untuk merancang sistem PBR adalah sebuah langkah penting yang harus dilakukan. Salah satu varian PBR yang telah berhasil dikembangkan adalah PBR adveksi jungkat jungkit *semi out-door* (Gambar 4d). Sistem adveksi ini dirancang untuk mengoptimalkan kinetika penyerapan N, P

dan gas CO₂ *mass transfer process* pada PBR dengan volume kerja 125-250 L (Satya et al., 2025a). PBR dengan sistem adveksi jungkat jungkit ini berhasil meningkatkan produktivitas biomassa *Spirulina platensis* hingga 2 kali lipat dibandingkan PBR konvensional.

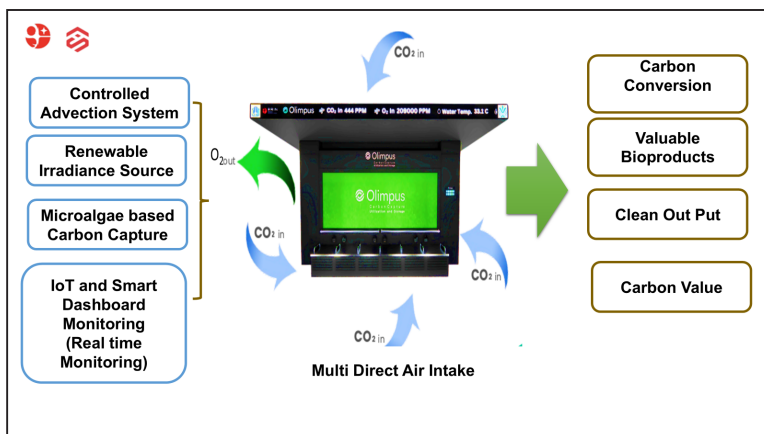


Gambar 4. Beragam jenis konfigurasi PBR *indoor bench top bubble column* (a) dan *indoor hybrid CO₂ biosequester* (b), *semi out-door membrane PBR* (c), PBR adveksi Jungkat Jungkit semi *out-door*(d), *inclined out-door PBR* (e), dan *Close-loop Vertical out-door PBR* (f) (Awalina et al., 2024a; 2024b)

Awalina et al. (2024b), Awalina et al. (2025b), Satya et al. (2025), Satya et al. (2024) juga telah berhasil mengembangkan prototipe PBR hibrida bervolume kerja 30 L (bernama FCB2022) berfungsi sebagai penangkap gas CO₂ menggunakan *Spirulina platensis* yang ditumbuhkan dalam medium pertumbuhan berformulasi khusus yang didedikasikan untuk menangkap gas

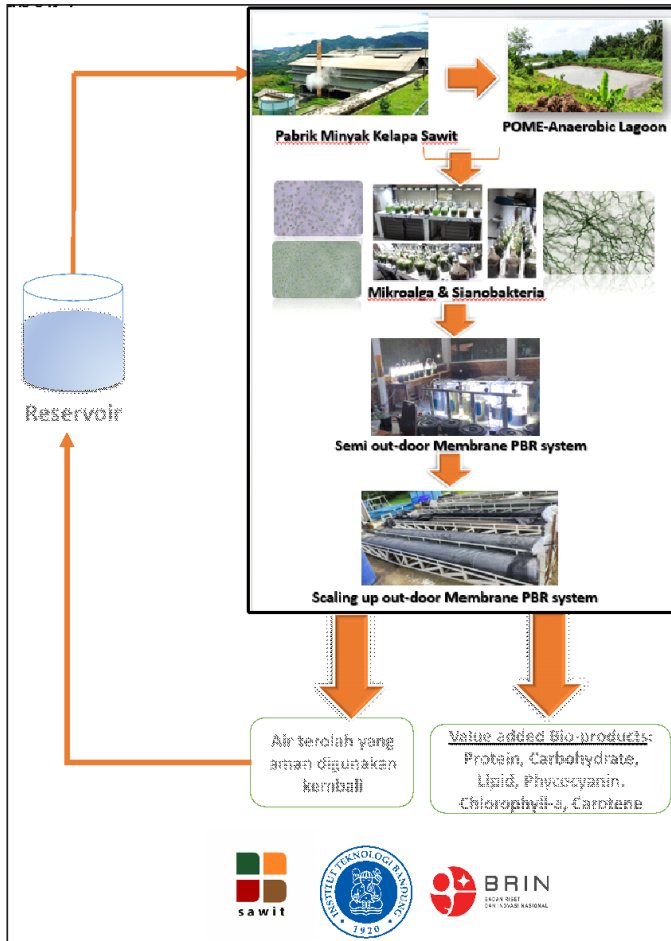
CO₂ atmosferik. Proses CCUS dalam FCB2022 terintegrasi dengan sebuah modul sistem *realtime monitoring* berbasis IoT untuk kuantifikasi neraca karbon dan neraca oksigen dalam sistem PBR CCUS hibrida ini. Kombinasi antara formulasi spesifik nutrisi pertumbuhan, konfigurasi PBR, pemilihan kultur *Spirulina platensis* yang sudah tahan gas CO₂, terbukti mampu menghasilkan sebuah system yang efektif menangkap gas CO₂ (190-375 kg CO₂ / (m³.hari), mengeliminasi gas CO₂ hingga 73 %, menghasilkan produktifitas biomassa yang tinggi (0,07-0,17 kg/ (m³.hari) dan 0,34-120 kg O₂/ (m³.hari) (Gambar 5). Selanjutnya, dengan mengadopsi konsep FCB2022, telah dilakukan *scaling up* sistem PBR *Carbon Capture Utilization and Storage* (CCUS) ini pada skala 3000 L berkolaborasi dengan mitra industri yaitu PT Alam Semesta Integra dan PT Alam Semesta Asri menghasilkan PBR CCUS Bernama Olympus ver 1.0 yang akan diimplementasikan di wilayah urban (Gambar 6).

Gambar 5. Pengembangan prototype sistem PBR hibrida penangkap gas CO₂ (FCB2022) menggunakan *Spirulina platensis* di PRLSDA, BRIN (Satya *et al.*, 2024).



Gambar 6. Konsep PBR untuk *Carbon Capture Utilization and Storage* versi Olympus 1.0 (Satya et al., 2025).

Gambar 7 menampilkan salah satu bentuk kolaborasi dengan tim Teknik Kimia, FTI-ITB untuk mengolah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) menggunakan biomassa *Spirulina platensis* menjadi beragam bioproduct bernilai tambah. Kami menggunakan sistem kontinu *Membrane Photo-Bioreactor* (MPBR), volume kerja 30 L (*semi outdoor*) dan volume kerja 300 L (*outdoor*). *Spirulina platensis* dikultivasi dalam medium berbasis POME (kisaran *dilution rate* 0,3 hingga 0,5/hari). Hasil dalam basis bobot kering adalah produktifitas biomassa 0,070 g/(L.h) setara dengan 70 ton/(ha.tahun) dengan kandungan metabolit *phycobiliprotein* 0,3 %; total lipid 10 %; total protein 80 %; total karoten 0,27 %; dan total karbohidrat 11-12 % (Harimawan et al., 2025).



Gambar 7. Pengembangan prototipe *Membrane Photobioreactor* (MPBR) untuk mengolah POME, menghasilkan air yang aman digunakan kembali dan bioproduct bernilai tambah (Satya et al., 2024; Harimawan et al., 2025).

IV. KEUNGGULAN DAN TANTANGAN TEKNOLOGI PBR BIOSIRKULASI MENUJU IMPLEMENTASI BERKELANJUTAN

Kajian oleh beberapa peneliti terkait perbandingan cara produksi mikroalga dan sianobakteria dengan sistem kolam terbuka dan sistem PBR menghasilkan fakta, bahwa *hydric-foot* (tapak air) pada sistem PBR jauh lebih sedikit dibandingkan pada sistem kolam terbuka. Hal tersebut disebabkan oleh lebih kecilnya pengaruh penguapan. Patut dicatat, bahwa lokasi, rancangan, dan pengoperasian produksi mikroalga dan sianobakteria juga turut menentukan efisiensi produksi massal mikroalga. Penekanan biaya produksi biasanya dilakukan dengan menggunakan mikroalga dan sianobakteria mikсотrofik pada tahap awal untuk memperoleh bibit yang mudah direproduksi, lalu bibit tersebut dikultivasi pada skala besar menggunakan PBR. Kultivasi mikroalga dan sianobakteria juga dapat dilakukan pada air dari instalasi pengolahan air limbah pertanian, limbah domestik, atau air tampungan hujan. Mikroalga dan sianobakteria memanfaatkan kandungan nutrisi yang terlarut dalam air tersebut untuk bertumbuh (Satya et al., 2023; 2024; Awalina et al., 2025a).

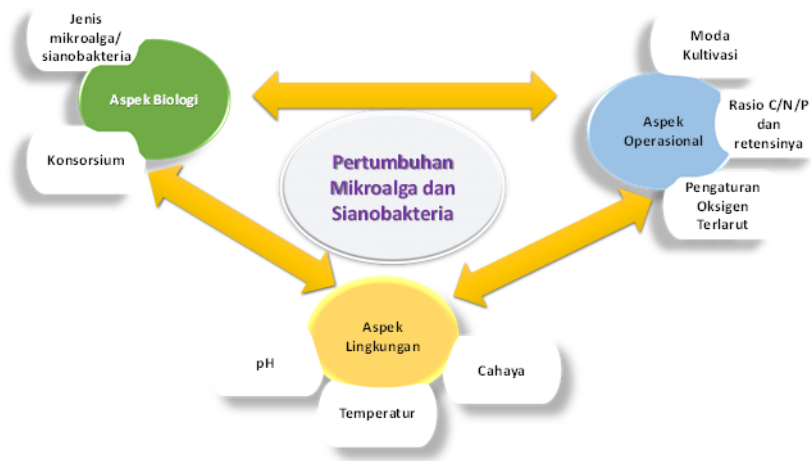
Pengolahan air limbah menggunakan mikroalga dan sianobakteria sudah cukup dikenal saat ini. Pada skala besar dan kondisi *out-door* biasanya digunakan kultur campuran (konsorsium) mikroalga, sianobakteria, *fungi* dan bakteri yang secara alamiah berada di instalasi pengolahan air limbah tersebut. Konsorsia tersebut beragam tergantung pada karakteristik air limbah, lingkungan dimana instalasi tersebut berada dan kondisi pengoperasiannya. Simbiosis seperti ini memungkinkan konsumsi energi yang lebih rendah dan carbon *footprint*. Hal tersebut

terjadi karena gas CO_2 yang dihasilkan selama degradasi bahan organik secara heterotrofik akan difiksasi secara fotosintesis. Selain itu oksigen yang diperlukan untuk mendegradasi bahan organik disuplai dari pelepasan O_2 oleh mikroalga dan sianobakteria. Proses produksi O_2 , produksi gas CO_2 dan fiksasi nutrisi berlangsung berdasarkan jenis konsorsium. Pada proses ini mikroorganisme seperti bakteri penitrifikasi berkompetisi dengan mikroalga dan atau sianobakteria untuk mengkonsumsi nutrisi sehingga berpengaruh terhadap potensi proses perolehan kembali unsur nitrogen (Satya et al., 2025a; Wan Mahari et al., 2022). Bakteri penitrifikasi ini dapat mengurangi pertumbuhan mikroalga melalui deplesi konsentrasi amonium dalam medium sehingga menyebabkan pembatasan penyerapan nitrogen oleh mikroalga, sehingga menurunkan perolehan kembali nitrogen. Terlebih lagi, bakteri penitrifikasi ini akan mengoksidasi ammonium menjadi nitrit yang berefek negatif pada fisiologi mikroalga meskipun nitrit dapat juga menjadi sumber nitrogen untuk pertumbuhan mikroalga.

A. Optimasi Kinerja Sistem pada Fotobioreaktor

Kinerja fikoremediasi (bioremediasi menggunakan mikroalga) tergantung pada berbagai faktor. Beberapa tergantung pada lingkungan dimana sistem ini berlokasi (*out-door*, *indoor*, cahaya, dan temperatur), karakteristik air limbah (rasio C:N:P, konsentrasi nutrisi, dan konsentrasi toksin). Selain itu, tergantung pula pada kondisi pengoperasian (partaian/kontinu, penambahan gas CO_2 , waktu tinggal hidrolis dan padatan, adveksi/*mixing*, pH, dsb). Faktor yang sangat berpengaruh pada efisiensi perolehan kembali nutrisi dan produktifitas biomassa adalah penyinaran rerata (I_a) yang diterima oleh sel mikroalga (Rempel et al., 2022; Wan Mahari et al., 2022). Parameter ini

merupakan fungsi dari ketersediaan cahaya dan ketebalan kolom medium kultur (Gambar 8). Kolom medium yang tipis digunakan untuk meningkatkan kinerja (*yield*) sedangkan kolom medium yang tebal untuk meningkatkan kapasitas pengolahan (penyisihan) nutrien atau senyawa lain yang akan disisihkan. Intensitas cahaya, frekuensi cahaya, dan foto perioda juga harus diperhitungkan dengan baik.



Gambar 8. Faktor yang berperan dalam proses biosirkulasi air limbah dengan PBR mikroalga dan sianobakteria (Satya *et al.*, 2025a)

Mikroalga hijau (*Chlorella* sp., *Monoraphidium* sp., dan *Scenedesmus* sp.) dilaporkan secara luas cocok untuk pengolahan air limbah karena mudah beradaptasi dengan medium ini. Adapula para peneliti lain yang lebih memilih alga hijau biru (sianobakteria) dari pada mikroalga hijau karena kemampuan sianobakteria dalam menghasilkan fikobiliprotein (fikosianin, allo-fikosianin, fikoeritrin) dan *polyhydroxy* butirat.

Sianobakteria juga lebih mudah dicerna (*digest*) karena dinding sel nya lunak. Tetapi efisiensi penyerapan nutrisi sianobakteria lebih rendah dari mikroalga hijau dan pada kondisi tertentu (*stress*) justru mengeluarkan toksin sebagai response terhadap kondisi lingkungannya (Okeke et al., 2022; Satya et al., 2026). Metabolisme autotrofik, heterotrofik dan mikсотrofik pada kultivasi mikroalga pada dasarnya adalah anabolisme biomassa (Wan Mahari et al., 2022). Hal itu dilakukan dilakukan dengan cara memfiksasi gas CO₂ dengan input energi dari cahaya atau donor elektron anorganik eksternal, dengan sumber organik karbon tanpa cahaya, sesuai dengan kondisi pengoperasian (Satya et al., 2024). Pada dasarnya mikroalga adalah organisme fotosintetik dan hanya sedikit yang heterotrofik fakultatif.

B. Efisiensi Proses dalam Perancangan Fotobioreaktor

Rancangan PBR juga merupakan faktor yang sangat menentukan untuk mendapatkan pengolahan air limbah yang *cost effective* dan berefisiensi tinggi. Konfigurasi PBR hibrida akhir-akhir ini banyak diminati karena dinilai mampu untuk menekan biaya modal dan operasional. Sebagai contoh adalah PBR membran, yang dapat memisahkan waktu tinggal hidrolik dan waktu tinggal biomassa dalam reaktor, sehingga efisiensi proses penyisihan menjadi lebih besar (Ahmed et al., 2022; Wan Mahari et al., 2022). Adapula reaktor hibrida mikroalga biofilm dengan berbagai bahan melekat yang berbeda dan rancangan yang berbeda pula, demikian juga konfigurasi PBR Hibrida FCB2022 yang menggabungkan reaksi gelap dan reaksi terang dalam fotosintesis pada satu rangkaian sehingga mampu meningkatkan efisiensi proses fotosintesis yang dilakukan oleh mikroalga yang dikultivasi (Satya, et al., 2024).

Hal yang menarik bahwa, produksi biomassa menggunakan air limbah memungkinkan untuk memperoleh kembali nutrisi

dalam bentuk biomassa berkisar antara 1 kg/m³ hingga 10 kg/m³ contohnya dari pengolahan air selokan. Biomassa ini kemudian dapat digunakan untuk energi, pakan ikan, pakan ternak, atau pupuk tanaman. Senyawa-senyawa bernilai seperti pigmen, asam lemak, protein dan vitamin, dapat disintesis dari biomassa ini untuk diolah lebih lanjut menjadi bahan pangan fungsional. Dalam hal *nutrient-recovery*, biomassa mikroalga dapat digunakan sebagai pupuk pada agro-industri (Ahmed et al., 2022; Ali et al., 2022).

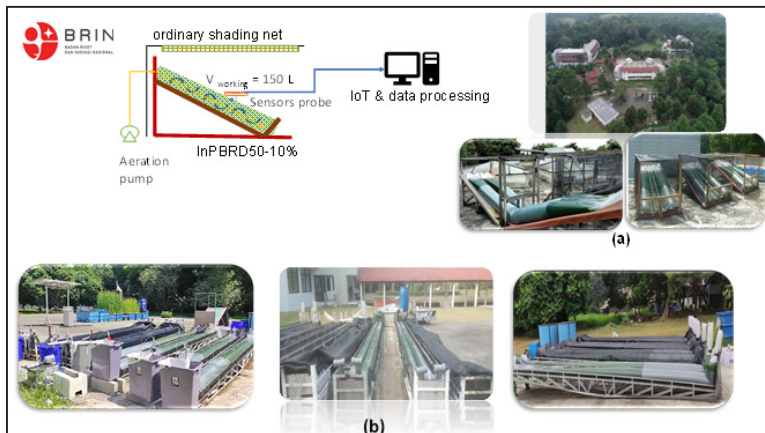
Efisiensi PBR ditentukan oleh integrasi beberapa hal yaitu: penangkapan cahaya, pemindahan cahaya, distribusi cahaya, dan penggunaan cahaya oleh mikroalga dan sianobakteria melalui fotosintesis (Wan Mahari et al., 2022). Perancangan PBR yang berkinerja optimum harus memenuhi kriteria sebagai berikut: 1) sebanyak mungkin mendapatkan cahaya dan mendistribusikan cahaya tersebut sehingga energi cahaya dapat semaksimal mungkin dimanfaatkan untuk pembentukan biomassa; 2) memungkinkan dilakukannya pengaturan secara presisi parameter operasi sehingga sel dapat menggunakan energi cahaya secara optimum; 3) meminimumkan biaya modal dan biaya operasional; dan 4) meminimumkan konsumsi energi selama pengoperasian. Oleh sebab itu penulis melakukan langkah optimasi untuk mendapatkan sistem PBR yang efisien dengan kriteria tersebut di atas.

Terdapat setidaknya 5 model dan 9 varian prototipe PBR berlokasi di PRLSDA-BRIN Kawasan Sains dan Teknologi Soekarno. Chrismadha et al. (2022), Awalina et al. (2024a), dan Satya et al. (2025a) menyebutkan bahwa varian PBR ini terbukti optimum untuk menghasilkan berbagai bioproduk turunan biomassa mikroalga dan sianobakteria antara lain berupa klorofil-a, fikosianin, allofikosianin, fikoeritrin, karoten,

protein, karbohidrat, dan lipid. Gambar 7a dan Gambar 7b menggambarkan eksperimen untuk efisiensi pada formulasi medium pertumbuhan untuk *Scenedesmus dimorphus*, *Chlorella pyrenoidosa*, dan *Thalassiosera weissflogii*. Sedangkan Gambar 7c dan 7d mengilustrasikan bagaimana konfigurasi peletakan PBR *out-door* termasuk dalam pertimbangan efisiensi ruang dan efisiensi proses fotosintesis dalam pengoperasian PBR untuk kultivasi dan penangkapan gas CO₂. Beberapa contoh PBR lainnya dengan tujuan yang sama dapat dilihat seperti pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Varian fotobioreaktor *bench top* volume kerja 2-3 L: *Bubble column reactor* untuk dua mikroalga hijau *Scenedesmus dimorphus* dan *Chlorella pyrenoidosa* (a), *bench top system* untuk proliferasi diatom *Thalassiosera weissflogii* (b), *scaling up* pada *system inclined outdoor* dengan volume kerja 450 L (c), dan *scaling up* pada sistem *vertical outdoor* PBR dengan volume kerja 250 L (d) (Awalina et al., 2024a; 2025a).



Gambar 10. Varian *the shaded out-door inclined photobioreactor* pada kultivasi *Spirulina platensis* yang diletakkan di atap Gedung C PRLSDA, BRIN KST Soekarno-BRIN, volume kerja 125 L-375 L (a) dan varian *out door inclined PBR* yang diletakkan di lapangan beton untuk produksi biomassa dan fikosianin volume kerja 225-450 L (b) (Chrismadha et al., 2022; Satya et al., 2025a).

C. Peluang Pemanfaatan Bioproduk dari Mikroalga dan Sianobakteria

Mikroalga karena kandungan nutrisinya yang beragam dan kaya dengan senyawa bioaktif penting, dinilai sebagai sumber pangan nir konvensional yang cocok untuk mengatasi kekurangan pangan dan gizi. Bioaktif yang terkandung dalam biomassa mikroalga dan sianobakteria diantaranya adalah berbagai jenis asam lemak, sterol, pigmen, protein, asam amino, vitamin, enzim dan karbohidrat. Selain itu, khasiatnya untuk kesehatan meliputi fungsi sebagai anti kanker, anti oksidan, antibiotik dan anti inflamasi. Selain untuk pangan, zat aktif yang terkandung dalam

biomassa mikroalga juga sangat berguna untuk farmasetikal, kosmetik, nutrasetikal, pakan ternak, pakan ikan, pupuk, dsb (Prokop et al., 2015; Pangestuti et al., 2026). Sehingga mikroalga dan sianobakteria ini sering disebut juga sebagai pabrik hidup berukuran mungil (Satya et al., 2024; 2026).

Ekstraksi protein dari mikroalga memiliki kelebihan dalam hal nilai nutrisi, efisiensi dan produktifitas. *Yield* protein mikroalga berkisar 4-18 ton/(ha.tahun), lebih besar dibandingkan produksi tanaman darat konvensional yang secara rerata hanya 1,1 ton/(ha.tahun), gandum (1-2 ton/(ha.tahun)), dan kedelai (0,6-1,2 ton/(ha.tahun)) (Kumar et al., 2022; Tripathi et al., 2023). Produksi tanaman darat menggunakan 75 % total global air tawar, sedangkan sumber protein hewani menghabiskan 100 kali air tawar dibandingkan konsumsi oleh tanaman saat ekstraksi protein. Sedangkan mikroalga laut dapat dikultivasi tanpa air tawar dan tanpa lahan subur (Carvalho et al., 2020; Zhang et al., 2021).

Penggunaan sianobakterium *Spirulina* sp. untuk bahan pangan “*superfood*” dikemukakan pada tahun 1993 oleh *World Health Organization* (WHO). Alasannya adalah karena sel sianobakterium ini sangat kaya akan protein yang mencapai 70% bobot keringnya, selain itu, juga sebagai sumber vitamin A, B₁, B₂, B₁₂, asam lemak esensial, dan pigmen berwarna biru seperti fikosianin, allofikosianin, fikoeritrin, pigmen hijau seperti klorofil, serta warna oranye seperti *xanthophyll* dan karotenoid. Senyawa bioaktif ini tidak dapat disintesis oleh tubuh manusia. Satu sendok (7 g) biomassa kering *Spirulina* mengandung 4 g protein, 1 g lemak (PUFA, seperti asam lemak omega-3 dan omega-6) dan masing-masing 11%, 15% dan 4% sejumlah *Required Daily Allowance* (RDA) Vitamin B₁, B₂ dan B₃. Dilaporkan oleh Prokop et al., (2015) bahwa terdapat beberapa

mineral renik seperti magnesium (Mg), manganese (Mn) dan potassium (K). Pada populasi orang lanjut usia, asupan pangan berbasis biomassa *Spirulina* sp. dilaporkan dapat menambah hemoglobin pada sel darah merah sehingga meningkatkan imunitas (sitasi). Kandungan protein dalam *Spirulina* dilaporkan setara dengan 670 % protein pada tahu, kalsium (Ca) 180 % dibandingkan susu, Fe 5100 % dibandingkan bayam dan 3100 % β karoten (pro vitamin A) dibanding wortel (Okeke et al., 2022).

Microalga dan sianobakteria disebut sebagai sumber alternatif protein yang dapat memenuhi kebutuhan populasi penduduk yang kurang gizi. Konsumsi dalam bentuk pil, tablet, serbuk atau pasta akan sangat membantu. Dapat pula dikonsumsi dalam bentuk biscuits, permen, roti, mie, dan minuman. Kandungan asam amino seperti *isoleucine*, *valine*, *lysine*, *tryptophan*, *methionine*, *threonine* and *histidine* dalam biomassa sebanding dengan telur dan kedelai. Microalgae mengandung empat jenis vitamin yang cukup tinggi yaitu provitamin A, vitamin E, vitamin B₁ dan *folic acid*, dibandingkan bahan pangan konvensional. *Dunaliella tertiolecta* dapat mensintesis vitamin B₁₂ (*cobalamin*), vitamin B₂ (*riboflavin*), vitamin E (*tocopherol*) dan provitamin A (β -carotene). Demikian pula, *Tetraselmis suecica* merupakan sumber yang baik untuk vitamin B₁ (*thiamine*), vitamin B₃ (*nicotinic acid*), vitamin B₅ (*thenic acid*), vitamin B₆ (*pyridoxine*) dan vitamin C (*ascorbic acid*). Sedangkan *Chlorella spp.* dilaporkan mengandung Vitamin B₇ (biotin) yang cukup tinggi. Disimpulkan pula bahwa sekitar 9 hingga 18% strain *Chlorella* merupakan sumber yang kaya akan vitamin B₁₂ bahkan lebih baik dibandingkan dengan *Spirulina*. Sayuran dan buah-buahan sangat sedikit mengandung B₁₂, sehingga para vegan (vegetarian) mengalami defisiensi B₁₂.

Oleh sebab itu konsumsi mikroalga ini sangat disarankan pada kaum vegan (vegetarian) (Fernandez et al., 2015).

Produksi biomassa kering mikroalga terbesar adalah *Spirulina* sp., *Chlorella* sp., *Dunaliella salina*, *Aphanizomenon flosaquae*, *Haematococcus pluvalis*, *Crypthecodinium cohnii*, dan *Shizochytrium* yaitu masing-masing 12.000, 5.000, 3.000, 1.500, 700, 500, dan 20 ton/tahun. Tetapi nilai ini masih jauh di bawah produksi tanaman darat konvensional, misalnya kelapa sawit yang mencapai 40.000.000 ton/tahun. Sementara itu permintaan pasar global atas *Spirulina* sp. rerata pertumbuhan tahunan (*Compound Annual Growth Rate*, CAGR) adalah sebesar 10 % dengan estimasi nilai mencapai USD 2,000.000.000 pada tahun 2026. Permintaan global ini dibutuhkan untuk pembuatan kosmetika dan pewarna alami (biopigmen) (Wan Mahari et al., 2022; Kumar et al., 2022).

V. PERANAN PENGEMBANGAN PBR BIOSIRKULASI DALAM MENCAPAI TUJUAN PEMBANGUNAN BERKESINAMBUNGAN

A. Pengembangan Teknologi PBR dan Hubungannya dengan Program *Sustainable Development Goals* (SDG)

Uraian pada Bab I hingga Bab IV menunjukkan bahwa topik keahlian penulis secara langsung dapat berperan dalam mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan PBB (*United Nation Sustainable Development Goals, SDGs*) maupun program Pemerintah Republik Indonesia. Demikian halnya karena topik ini menempati posisi titik temu antara *science, sustainability, and policy*. Berikut adalah kesesuaian antara SDGs dengan topik penelitian yang telah, sedang dan akan dilakukan:

1. SDG-6-Air bersih dan sanitasi: penelitian saya tentang biosorpsi menggunakan mikroalga dan sistem pengolahan air limbah hibrida berkontribusi dalam menyisihkan zat pencemar (misal logam berat, bahan organik dan nutrisi akuatik) menghasilkan air yang aman untuk menunjang kebutuhan masyarakat.

2. SDG-7-Energi bersih dan terjangkau: hal ini terkait dengan cara mengintegrasikan PBR berbasis CO₂ capture dengan upaya valorisasi biomassa sehingga mendukung langkah pencapaian energi terbarukan (yaitu misalnya dengan menyediakan bahan baku untuk pembuatan biofuel dari biomassa mikroalga).

3. SDG-11-Masyarakat dan kota berkelanjutan: hal ini dapat tercapai dengan cara menerapkan PBR untuk *carbon capture utilization and storage* (CCUS) pada lingkungan wilayah perkotaan (urban) berkelanjutan diintegrasikan dengan ekonomi

sirkular. Dengan demikian mikroalga berfungsi sebagai alat untuk memperbaiki kualitas udara dan menjadi bagian infrastruktur perkotaan yang tangguh.

4. SDG-12-Produksi dan konsumsi yang dapat dipertanggungjawabkan: hal ini akan tercapai dengan cara melakukan langkah penggunaan kembali sumberdaya (*phytomining, wastewater valorization*) sehingga dapat membuktikan bahwa sistem PBR biosirkular ini dapat merubah limbah menjadi lebih bernilai (*turn waste into value*).

5. SDG-13-Penanganan perubahan iklim: Implementasi PBR CCUS dan CO₂ *bio-sequestration* secara langsung mengatasi mitigasi iklim, menghasilkan penyelesaian secara alami untuk mendapatkan status *carbon neutrality*.

6. SDG-15-Ekosistem daratan: hal ini tercapai dengan mengimplementasikan teknologi PBR biosirkular dilengkapi system *real time monitoring* untuk memperkuat pemantauan dan proteksi ekosistem agar menghasilkan lingkungan akuatik yang lebih sehat.

7. SDG-17-Kemitraan untuk mencapai tujuan: hal ini akan tercapai jika riset diterjemahkan dalam bentuk *policy brief, dashboards and stake holder engagement tools*. Dengan demikian akan terbentuk suatu kolaborasi lintas sektoral melibatkan para ilmuwan, pembuat kebijakan dan pelaku industri.

Penelitian saya tentang fotobioreaktor dan biosirkulasi ini dalam tataran nasional juga sangat relevan dengan RPJMN 2025–2029 dan NDC (*Nationally Determined Contribution*) Indonesia, karena mendukung transisi menuju ekonomi hijau, pengurangan emisi Gas Rumah Kaca, serta Ketahanan Pangan dan Energi. Teknologi ini dapat diposisikan sebagai solusi

strategis untuk target *Net Zero Emission* 2060, Swasembada Pangan-Energi, dan Integrasi Ekonomi Biru-Bioekonomi.

B. Dampak Sosial-Ekonomi dan Potensi Adopsi Teknologi

Teknologi fotobioreaktor biosirkulasi bukan hanya solusi teknis, tetapi juga motor penggerak sosial-ekonomi. Dengan menciptakan lapangan kerja baru (misalnya operator teknis sistem PBR, analis laboratorium untuk pemantauan kualitas produk biomassa dan turunannya, agribisnis untuk pangan maupun pakan serta sektor energi terbarukan), memperluas pasar biomassa (bahan baku pangan fungsional, pakan, biofuel dan bioplastik), dan meningkatkan kualitas lingkungan (penyerapan gas CO₂ dan perbaikan kualitas air limbah di areal industri maupun urban), PBR biosirkulasi membuka jalan bagi hilirisasi produk pangan, energi, dan farmasi. Studi kasus kolaborasi industri di Eropa dan Amerika (Tripathi et al., 2023) menunjukkan bahwa integrasi PBR dengan pengolahan limbah dan energi mampu memperkuat kebijakan keberlanjutan sekaligus menarik investasi. Bagi Indonesia, menurut penulis, adopsi teknologi ini akan memperkuat posisi dalam bioekonomi sirkular, mendukung kebijakan nasional, dan menjadikan hilirisasi biomassa mikroalga sebagai pilar pembangunan berkelanjutan.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa keilmuan pada bidang yang saya tekuni ini merupakan penghubung/konektor antara inovasi di bidang limnologi terapan (berkesesuaian dengan SDG 6, 7, 13, 15) dengan *policy frameworks* (berkesesuaian dengan SDG 11, 12, 17). Hal ini memungkinkan untuk diintegrasikannya beberapa tahapan yang membuat upaya berkelanjutan memiliki sifat *scientifically robust and socially impactful*.

VI. KESIMPULAN

Teknologi biosirkulasi berbasis fotobioreaktor (PBR) mikroalga dan sianobakteria merupakan pendekatan inovatif dalam pengolahan air limbah sekaligus pemulihan sumber daya air melalui penerapan sistem siklus tertutup yang mendaur ulang nutrisi, karbon dioksida, dan senyawa organik. Inovasi ini diperkuat oleh optimasi perpindahan massa, pengaturan intensitas cahaya, pemantauan *real-time* berbasis IoT, serta pemilihan mikroalga dan sianobakteria produktif yang mampu tumbuh dalam kondisi air limbah.

Selama perjalanan riset ini saya telah menghasilkan beberapa temuan baru perbaikan konsep yaitu antara lain: biosorben berbasis *Aphanothece* sp. kultivar A15 yang memiliki kapasitas adsorpsi Cd lebih tinggi dan tahan siklus adsorpsi-desorpsi, pengembangan fotobioreaktor membran (MPBR) untuk pengolahan POME dengan produktivitas tinggi, sistem PBR hibrida penangkap CO₂ dengan monitoring *real-time*, dan modifikasi sistem adveksi pada PBR jungkat-jungkit, sistem adveksi *air-lift* PBR bidang miring, dan sistem adveksi *air-lift* PBR vertikal yang *cost-effective*. Semua itu merupakan penyempurnaan dari konsep fotobioreaktor konvensional. Penerapan teknologi PBR biosirkulasi tidak hanya berkontribusi terhadap peningkatan kualitas air dan produksi biomassa bernilai guna (karena biomassa yang dihasilkan kaya akan protein, karbohidrat, lipid, mineral, biopigmen, biopoilester, dsb. yang berpotensi menjadi zat anti oksidan, anti inflamasi, anti viral, dan anti kanker), tetapi juga mendukung keberlanjutan pemanfaatan sumber daya air serta produksi bioproduk yang

ramah lingkungan. Biomassa bernilai guna ini kemudian dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku beragam produk pangan, kosmetik, pakan, farmasetikal bahkan *biofuel*.

Lebih lanjut, potensi bioprospeksi mikroalga lokal Indonesia membuka peluang pengembangan rantai produksi pangan/bioproduk di masa depan, dengan tetap mempertimbangkan aspek pertumbuhan populasi, aksesibilitas, keamanan pangan/bioproduk, dan kesinambungan sumber daya air. Oleh karena itu, kajian kuantifikasi kontaminan serta monitoring terhadap produk berbasis mikroalga maupun lingkungan kultivasinya menjadi suatu keharusan untuk menjamin keamanan dan keberlanjutan sistem secara menyeluruh.

VII. PENUTUP

Perancangan fotobioreaktor (PBR) diarahkan untuk mencapai kinerja optimum dengan memenuhi sejumlah kriteria teknis, antara lain pemanfaatan cahaya secara maksimal untuk pembentukan biomassa, pengaturan presisi parameter operasi, efisiensi biaya modal dan operasional, minimisasi konsumsi energi, serta integrasi dengan sistem pemantauan *real-time* berbasis IoT. Dalam rangka mendukung keberlanjutan pemanfaatan sumber daya air dan memperkuat ketahanan pangan nasional, diperlukan edukasi mengenai implementasi teknologi PBR untuk fikoremediasi serta penguasaan pengetahuan komprehensif terkait potensi produksi mikroalga dan sianobakteria. Standarisasi sistem kultivasi dan profil nutrisi ataupun bahan aktif lainnya pada biomassa menjadi aspek penting untuk menjamin keamanan produk, khususnya terkait keberadaan senyawa toksik. Optimasi proses, pengawasan kualitas, dan pemahaman tahapan kultivasi termasuk penggunaan reagensia pengolah bioproduk merupakan bagian integral dalam pengendalian mutu. Strategi inovatif dalam penyediaan sumber nutrisi sehat, maupun bahan aktif bernilai adi disertai peningkatan kesadaran konsumen terhadap asal-usul pangan/bioproduk dan keberlanjutan proses produksinya, menjadi landasan penting bagi pembuatan bioproduk yang aman dan berkelanjutan. Oleh sebab itu saya merekomendasikan perlunya dibentuk sebuah konsorsium nasional riset PBR biosirkulasi, perlunya dibuat standar keamanan bioproduk mikroalga, dan perlu adanya insentif dari pemerintah untuk industri yang mengadopsi teknologi ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT., dan sholawat serta salam bagi Nabi dan Rasul-Nya, atas anugerah dan rahmat yang telah diberikan sehingga naskah orasi ilmiah ini dapat diselesaikan dengan baik. Semoga dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang Limnologi terapan khususnya teknologi PBR mikroalga untuk fikoremediasi dan biosirkulasi air limbah.

Dalam kesempatan kali ini tak lupa saya sampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada Presiden Republik Indonesia atas amanat dan penugasan sebagai peneliti ahli utama di BRIN, Presiden Republik Indonesia Bapak Jendral TNI (Purn) H. Prabowo Subianto; Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Prof. Dr. Arif Satria, MSi; Wakil Kepala BRIN, Prof. Dr. Ir Amarulla Octavian, MSc. DESD, ASEAN Eng.; Kepala BRIN Periode 2021 – 2025 Dr. Laksana Tri Handoko; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, MSCE, Ph.D; Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Ir. Zainal Arifin, M.Sc. serta Tim Penelaah Naskah Orasi Ilmiah, yaitu Prof.Dr. Puspita Lisdiyanti., M.Agr. Chem, Prof. Dr. Ir.Tjandra Setiadi, M.Eng, Prof. Dr. Ir. Nina Artanti, M.Sc dan Prof. Dr. Ocky Karna Radjasa, M. Sc

Ucapan terima kasih kepada Sekretaris Utama BRIN, Nur Tri Aries Suestiningtyas, S.IP., M.A.; Kepala BOSDM BRIN, Ratih Retno Wulandari, S.Sos., M.Si, serta Panitia Pelaksana Orasi Pengukuhan Profesor Riset.

Dalam menjalani pendidikan tak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada para guru SD, SMP, dan SMA yang telah

membimbing dalam menempuh pendidikan dasar dan menengah. Ucapan terima kasih kepada Prof Dr. Alfian Noor, M.Sc, (alm.), Prof. Ridla Bakri, M.Phil, dan Prof. Dr. Tjandra Setiadi, yang telah membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan S-1 di Universitas Hasanudin, S-2 di Universitas Indonesia, dan S-3 di Institut Teknologi Bandung.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para pembimbing dan kolega terkait topik penelitian penulis di BRIN, Prof. Dr. Gadis Sri Haryani, Drs. Tjandra Christmadha, M.Phil.; Prof. Dr. Agus Haryono, dan Dr. Ir. Dede Irving Hartoto (alm.); Dr. Hidayat, M.Sc, Prof. Dr. Ratih Pangestuti, dan Dr.Luki Subehi, M.Sc atas dukungan selama ini dalam meniti karier di BRIN, dan seluruh rekan (Dr. Irma Melati, Dr. Miratul Maghfiroh, dkk) yang tergabung dalam Kelompok Riset Dinamika Pencemaran dan Ekoremediasi Perairan Darat PRLSDA, saya ucapkan terima kasih atas dukungan, dorongan, kritik dan saran selama ini. Selain itu, saya juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pegawai yang dulu tergabung dalam Pusat Penelitian Limnologi-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia atas bantuan dan dukungannya selama ini.

Saya menghaturkan terima kasih kepada kedua orang tua, Papi Drs. Soetikno Wiryono (alm.) dan mami Nisbah Ramli, B.Sc (alm.) yang telah membimbing, mendidik, dan memberikan doa atas pencapaian saya selama ini. Untuk suamiku, Ir. Ika Atman Satya, M.Ling, dan anak-anakku, Azalea DMS, S.Si, M.Phil, A.A. Linus S, S.T, dan AN Fauzan, terima kasih atas kesabaran, dukungan, dan doanya untuk mama dalam meniti karier sebagai peneliti. Untuk adikku, Dra. Berti Soraya, M.Si, terima kasih atas dukungan dan doanya. Terakhir diucapkan terima kasih kepada semua teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Semoga saya dapat berkontribusi secara lebih baik lagi untuk kemajuan IPTEK Indonesia. Terima kasih. Wassalamu'alaikum wr. wb.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, S. S., Mastropetros, S. G., Schagerl, M., Sakarika, M., Elsamahy, T., El-Sheekh, M., Sun, J., & Kornaros, M. (2022). Recent advances in wastewater microalgae-based biofuels production: A state-of-the-art review. *Energy Reports*, 8, 13253–13280. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.09.143>.
- Ahmed, S. F., Mofijur, M., Parisa, T. A., Islam, N., Kusumo, F., Inayat, A., Le, V.G., Badruddin, I.A., Khan, T.M.Y. & Ong, H. C. (2022). Progress and challenges of contaminate removal from wastewater using microalgae biomass. *Chemosphere*, 286, 131656. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131656>.
- Awalina, A.** (2011). Bioakumulasi Ion Logam Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) dalam Fitoplankton pada Beberapa Perairan Situ di Sekitar Kabupaten Bogor. *Thesis S2- Dept. Kimia Fak, Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam-Universitas Indonesia*, 153.
- Awalina, A.** (2018). Pemanfaatan biosorben mikroalga perairan darat untuk penyisihan kadmium pada air limbah industri disertasi. *Disertasi S3-Dept. Teknik Kimia-Fak. Teknologi Industri. Institut Teknologi Bandung*, 33013001, 219.
- Awalina, A.,** Gunawan, Chrismadha, T., Satya, I. A., Syawal, M. S., Nofdianto, Rosidah. (2024a). *Alat untuk meningkatkan efisiensi pengadukan pada fotobioreaktor untuk produksi kultur mikroalga dan sianobakteria*. Dokumen Deskripsi Paten Nasional terdaftar. P00202415456.
- Awalina A.,** Chrismadha, T., Setiadi, T., Artanti, N., Harimawan, A., Pangestuti, R., Satya, I. A., Gunawan, Nofdianto, Syawal, M. S., Rosidah. (2024b). *Fotobioreaktor hibrida untuk kultivasi*

mikroalga dan penangkapan karbondioksida atmosferik.
Dokumen Deskripsi Paten Nasional terdaftar. P00202415123.

Awalina A., Chrismadha, T., Satya, I. A., Rosidah, Gunawan, Pangestuti, R., Nafisyah, E., Lestari, F. S., Nofdianto, Waluyo, A. (2025a). *Sistem terintegrasi untuk kultivasi serta pemanenan mikroalga, sianobakteria dan mikroorganisme fotosintetik lainnya.* Dokumen Deskripsi Paten Nasional terdaftar. P00202513807.

Awalina A., Chrismadha, T., Setiadi, T., Artanti, N., Harimawan, A., Pangestuti, R., Satya, I. A., Gunawan, Nofdianto, Syawal, M. S., Rosidah. (2025b). *Hybrid photobioreactor for microalgae cultivation and atmospheric carbon dioxide capture . Patent Cooperation Treaty (PCT).* Dokumen Deskripsi Paten Internasional Terdaftar. PCT/ID2025/000007. de Carvalho, J. C., Magalhães Jr, A. I., de Melo Pereira, G. V., Medeiros, A. B. P., Sydney, E. B., Rodrigues, C., ... & Soccol, C. R. (2020). Microalgal biomass pretreatment for integrated processing into biofuels, food, and feed. *Bioresource Technology*, 300, 122719. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122719>.

Chrismadha, T., **Satya, A.**, Satya, I., Rosidah, R., Satya, A., Pangestuti, R., Harimawan, A., Setiadi, T., Chew, K., & Show, P. (2022). Outdoor Inclined Plastic Column Photobioreactor: Growth, and Biochemicals Response of *Arthrospira platensis* Culture on Daily Solar Irradiance in a Tropical Place. *Metabolites*, 12(12), 1199. <https://doi.org/10.3390/metabo12121199>.

Fernández, F. G. A., Fernández-Sevilla, J. M., Moya, B. L., & Grima, E. M. (2020). Microalgae Production Systems. In *Handbook of Microalgae-Based Processes and Products: Fundamentals and Advances in Energy, Food, Feed, Fertilizer, and Bioactive Compounds* (pp. 127–163). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818536-0.00006-3>.

Harimawan, A., Setiadi, T., **Awalina, A.** (2025) Laporan Akhir Riset: Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit. Pengembangan Teknologi Konversi Terintegrasi untuk Pengolahan POME dan

Produksi Bahan Bernilai Tambah dengan Biomassa Mikroalga. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada masyarakat. Institut Teknologi Bandung. Badan Pengelola Dana Perkebunan Sawit. Kementerian Keuangan.

- Kumar, Y., Kaur, S., Kheto, A., Munshi, M., Sarkar, A., Om Pandey, H., Tarafdar, A., Sindhu, R., & Wan Mahari, R. (2022). Cultivation of microalgae on food waste: Recent advances and way forward. *Bioresource Technology*, 363, 127834. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127834>
- Maghfiroh, M., Santos-Borja, A. C., Subehi, L., **Satya, A.**, & Rahmat, A. (2025). Primary Indicators of Degrading Ecosystem and Restoration Process. In A. C. Santos-Borja, L. Subehi, A. Rahmat, & M. Maghfiroh (Eds.), *Progress on Ecosystem Restoration of Tropical Inland Waters*. Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-96-2284-9>
- Okeke, E. S., Ejeromedoghene, O., Okoye, C. O., Ezeorba, T. P. C., Nyaruaba, R., Ikechukwu, C. K., Oladipo, A., & Orege, J. I. (2022). Microalgae biorefinery: An integrated route for the sustainable production of high-value-added products. *Energy Conversion and Management: X*, 16, 100323. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100323>.
- Pangestuti, R., Indrianingsih, A. W., Nisa, K., Azim, M., Satya, A., Rahmadi, P., ... & Hastuti, F. T. (2026). Emerging Concepts About Applications of Microalgae Pigments: Cosmetics and Cosmeceutical Approaches. *Pigments from Microalgae Handbook—Volume III: Industrial and Functional Applications*, 411-433. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-032-05253-7_17.
- Prokop, A., Bajpai, R. K., & Zappi, M. E. (2015). Algal Biorefineries. In *Volume 2, Products and Refinery Design*. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-20200-6>

- Rempel, A., Gutkoski, J. P., Nazari, M. T., Biolchi, G. N., Biduski, B., Treichel, H., & Colla, L. M. (2022). Microalgae growth with a high concentration of emerging pollutants and phytotoxicity evaluation of cultivation wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 46. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102616>
- Satya, A., Chrismadha, T., & Satya, I. A. (2021a). Irradiance Optimation for Growing *Spirulina fusiformis*: Biomass, Phycocyanin, and Protein Production. *Indonesian Journal of Limnology*, 2(1), 76–85. <https://doi.org/10.51264/inajl.v2i1.7>
- Satya, A., Harimawan, A., Haryani, G. S., Johir, M. A. H., Vigneswaran, S., Kurniawan, T. A., & Setiadi, T. (2021b). Integrated treatment of submerged membrane and adsorption using dried *Aphanothece* sp for removing cadmium from synthetic wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102022>
- Satya, A., Chrismadha, T., Satya, I. A., Satya, A. D. M., Artanti, N., Melanie, H., Rosidah, R., Maghfiroh, M., Navisyah, E., Gunawan, G., Nofdianto, N., Julian, H., Harimawan, A., & Setiadi, T. (2025a). Case studies of photobioreactors employed in the treatment of wastewaters: a sustainable approach for Southeast Asian countries. In I. Ahmad & N. Abdullah (Eds.), *Nature-Based Technologies for Wastewater Treatment and Bioenergy Production* (p. 0). IWA Publishing. https://doi.org/10.2166/9781789064100_0097
- Satya, A., Chrismadha, T., Susanti, E., Rosidah, R., Satya, A. D. M., Yazdi, S. K., Harimawan, A., & Setiadi, T. (2025b). Phytoremediation, an ecofriendly wastewater treatment technique. In X.-T. Bui, A. Pandey, T.-T. Nguyen, & S.-Y. Pan (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering. Low Cost Water and Wastewater Treatment Systems: Conventional and Recent Advances* (pp. 41–69). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23662-4.00008-1>
- Satya, A. D. M., Satya, A., Chrismadha, T., Satya, I. A., Yazdi, S. K., & Show, P. L. (2023). Wastewater Remediation Potential of Diatoms.

In *Diatoms Biotechnology* (pp. 156-178). CRC Press. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003436553-9/>.

- Satya, A.,** Satya, A. D. M., Chrismadha, T., Nofdianto, N., Gunawan, G., Satya, I. A., ... & Show, P. L. (2024a). The Production of Microalgae and Cyanobacteria Biomass and Their Valuable Bioproducts. In *Biomass Conversion and Sustainable Biorefinery: Towards Circular Bioeconomy* (pp. 143-170). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-7769-7_7.
- Satya, A.,** Sulawesty, F., Harimawan, A., & Setiadi, T. (2018). Correlation of Aquatic Parameters to the Cadmium Bioaccumulation Capability onto Microalgae Biomass in an Urban Lake. *Journal of Water Sustainability*, 2, 59–72. <https://doi.org/10.11912/jws.2018.8.2.59-72>.
- Satya, A.,** Harimawan, A., Haryani, G. S., & Setiadi, T. (2017). Non-linear Isotherm Models, Cadmium Kinetics, and Biosorption Thermodynamics of Dried Biomass of Native *Aphanothece* sp. in a Batch System. *Journal of Engineering & Technological Sciences*, 49(5), 617. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2017.49.5.5>.
- Satya, I. A., **Satya, A.,** Chrismadha, T., Rosadi, R., Maysarah, A. D., Harimawan, A., Setiadi, T., Tang, D. Y. Y., & Show, P. L. (2024b). Cultivation of *Spirulina platensis* for carbon dioxide bio sequestration in hybrid photobioreactor with real-time monitoring system. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(3), 112396. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112396>
- Satya, A.,** Satya, I. A., Chrismadha, T., Satya, A. D. M., Pangestuti, R., Harimawan, A., ... & Show, P. L. (2026). Stress response in cyanobacteria cultivation. In *Algae Classification and Species* (pp. 211-219). Elsevier. DOI: 10.1016/b978-0-443-26502-0.00015-x
- Satya, A.,** Subehi, L., Setiawan, E., Chrismadha, T., Satya, I. A., Gunawan, G., Melati, I., Maghfiroh, M., N. Nofdianto; R.

- Rosidah; Nafisyah, E., Lestari, F.S., Cindiati, M., Pratama, A. (2025). *Sistem Kultur Mikroalga atau Organisme fotosintetik lainnya untuk produksi biomassa dan dekarbonasi Udara. Paten Nasional terdaftar*. P00202513806
- Tripathi, S., Choudhary, S., Meena, A., & Poluri, K. M. (2023). Carbon capture, storage, and usage with microalgae: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(4), 2085â€“2128. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01609-y>
- Wan Mahari, W. A., Wan Razali, W. A., Manan, H., Hersi, M. A., Ishak, S. D., Cheah, W., Chan, D. J. C., Sonne, C., Show, P. L., & Lam, S. S. (2022). Recent advances on microalgae cultivation for simultaneous biomass production and removal of wastewater pollutants to achieve circular economy. *Bioresource Technology*, 364, 128085. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128085>
- Yogaswara, D., Prartono, T., & Satya, A. (2021). Occurrence and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Green Mussel (*Perna viridis*) from Cilincing Waters of Jakarta Bay, Indonesia. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 16(1), 29-40. <https://doi.org/10.15578/squalen.484>.
- Zhang, K., Zhang, F., & Wu, Y. R. (2021). Emerging technologies for conversion of sustainable algal biomass into value-added products: A state-of-the-art review. *Science of the Total Environment*, 784, 147024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147024>

DAFTAR CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET DAN INOVASI

Karya Tulis Ilmiah

1.	Bagian dari Buku Internasional	14 buah
2.	Bagian dari Buku Nasional	3 buah
3.	Jurnal Internasional	13 buah
4.	Jurnal Nasional	21 buah
5.	Prosiding Internasional	39 buah
6.	Prosiding Nasional	9 buah

Kekayaan Intelektual

7.	Paten Internasional	
	a. Terdaftar	1 buah
	b. Tersertifikasi	- buah
8.	Paten Nasional	
	a. Terdaftar	5 buah
	b. Tersertifikasi	1 buah

Karya Tulis Ilmiah

Bagian dari buku Internasional

1. **Satya, A.,** IA. Satya, T. Chrismadha, A. Harimawan, T. Setiadi, A.Satya, & R. Pangestuti. (2026). Chapter 13 Stress Response in

- Cyanobacteria Cultivation. Dalam P.L. Show, K.W. Chew, K.S. Khoo, , & W.Y. Cheah (Eds). *Algae Classification and Species*. Elsevier. Pages 211-219. ISBN: 978-0-443-26502-0 [DOI: 10.1016/b978-0-443-26502-0.00015-x](https://doi.org/10.1016/b978-0-443-26502-0.00015-x)
2. Pangestuti,R. Indrianingsih, AW., Nisa, K., Nur, MMA., **Satya, A.**, Rahmadi, P., Kusmita, L. & Hastuti, FT.. (2026). Emerging Concepts About Applications of Microalgae Pigments: Cosmetics and Cosmeceutical Approaches. Dalam E. Jacob-Lopes, M.I. Queiroz, L.Q. Zepka, & M.C. Depra, (Eds.) *Pigments from Microalgae Handbook*. Springer Nature Link 411–433. [DOI: 10.1007/978-3-032-05253-7-17](https://doi.org/10.1007/978-3-032-05253-7-17)
 3. **Satya, A.** Chrismadha, T., Susanti, E. Rosidah R., Satya, A.D.M, Yazdi, S.K., Harimawan, A., & Setiadi, T. (2025a). Chapter 3 - Phytoremediation, an ecofriendly wastewater treatment technique. Dalam X.Bui, A. Pandey, T. Nguyen, & S. Pan (Eds). *Low Cost Water and Wastewater Treatment Systems: Conventional and Recent Advances*,Elsevier, Pages 41-69, ISBN 9780443236624, <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23662-4.00008-1> (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780443236624000081>)
 4. Waluyo, A., **Satya, A.** , Satya I. A. , Nirmala, K., Hastuti, Y.P. , Chrismadha, T. , Mayasari, N., Setiadi, T.(2025b).Chapter 11: Integrated aquaculture for fish production coupled with water purification in urban areas: Indonesian cases. Dalam P.N.L. Lens , & X.Bui, (Eds.)*Nature-Based Solutions for Urban Sustainability..* IWA Publishing <https://iwaponline.com/ebooks/book/974/chapter/3997216/Integrated-aquaculture-for-fish-production-coupled>.doi: https://doi.org/10.2166/9781789065015_0219.
 5. Satya, A.D.M., **Satya, A.** Satya, I.A. Yazdi, S.K., Show, P.L.,Chrismadha, T. & Setiadi, T..Chapter 15. Life-cycle assessment framework applied to sustainable integrated aquaculture systems for urban living. (2025c) Dalam P.N.L.

Lens , & X. Bui (Eds.) *Nature-Based Solutions for Urban Sustainability*. IWA Publishing.

https://doi.org/10.2166/9781789065015_0289

6. Maghfiroh, M., Santos-Borja, A.C., Subehi, L., **Satya, A.**, & Rahmat, A. (2025d). Primary Indicators of Degrading Ecosystem and Restoration Process. Dalam A.C. Santos-Borja, , L. Subehi, M. Maghfiroh, A., Rahmat (Eds) *Progress on Ecosystem Restoration of Tropical Inland Waters*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-2284-9_2
7. **Satya, A.**, Chrismadha, T., Satya, I. A., Satya, A. D. M., Artanti, N., Melanie, H., Rosidah, R., Maghfiroh, M., Navisyah, E., Gunawan, G., Nofdianto, N., Julian, H., Harimawan, A., & Setiadi, T. (2025 e). Case studies of photobioreactors employed in the treatment of wastewaters: A sustainable approach for Southeast Asian countries. Dalam I. Ahmad & N. Abdullah. (Eds.) *Nature-Based Technologies for Wastewater Treatment and Bioenergy Production* (pp. 97–119). IWA Publishing. https://doi.org/10.2166/9781789064100_0097
8. Henny, C., Melati, I., Surono, **Satya, A.**, Chrismadha, T., & Maghfiroh, M. (2025 f). *Applied Technologies*. Dalam A.C. Santos-Borja, , L. Subehi, M. Maghfiroh, A., Rahmat (Eds) *Progress on Ecosystem Restoration of Tropical Inland Waters*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-2284-9_10
9. **Satya, A.**, Pangestuti, R., Crismadha, T., Satya, I., Rahmadi, P., Harimawan, A., & Setiadi, T. (2024a). Chapter 16 Phycoremediation of Food Processing Wastewater by Microalgae. Dalam G.A. Ravishankar, A. R. Rao, S.-K. Kim (Eds.), *Alga Mediated Bioremediation: Industrial Perspective*. Wiley 's Publisher Book . p 335-354. <https://doi.org/10.1002/9783527843367.ch16>

10. Satya, A., **Satya, A.**, Chrismadha, T., Satya, I., Yazdi, S., & Show., P. (2023). Chapter 9. Wastewater Remediation potential of Diatoms. Dalam A. Tiwari, A. Pandey, P.L. Show and B. Parameswaran. *Diatom Biotechnology*. Publisher Taylor and Francis.. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003436553-9/wastewater-remediation-potential-diatoms-azalea-dyah-maysarah-satya-awalina-satya-tjandra-chrismadha-ika-atman-satya-sara-kazemi-yazdi-pauloke-show>
11. Chrismadha, T. **Satya, A.**, Satya, I.A., Satya, A.D.M, Yazdi, S.K., & Mardawati, E.. (2024b). Chapter 8. An Overview on Managing Minute Duckweed (*Lemna perpusilla* Torr) Cultivation for Fish Feed Purpose. Dalam M.A.R.Lubis, S.H.Lee, E. Mardawati, S. Rahimah, P. Antov, R. Andoyo, L. Kristak, B. Nurhadi. *Biomass Conversion and Sustainable Biorefinery. Green Energy and Technology*. Springer, Singapore. [An Overview on Managing Minute Duckweed \(Lemna Perpusilla Torr\) Cultivation for Fish Feed Purpose | Springer Nature Link](#)
12. Rahimah, S., Sonjaya, M.F., Andoyo, R., **Satya, A.**, Nurhasanah, S., Chrismadha, T. (2024c). Chapter 14. Physical and Organoleptic Characteristic of Bread Substituted with *Spirulina Platensis*. Dalam M.A.R.Lubis, S.H.Lee, E. Mardawati, S. Rahimah, P. Antov, R. Andoyo, L. Kristak, B. Nurhadi. *Biomass Conversion and Sustainable Biorefinery. Green Energy and Technology*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-7769-7_14
13. **Satya, A.** Satya, A.D.M, Chrismadha, T., Nofdianto N., Gunawan G., Satya, I.A. Rahimah, S., Mardawati, E., Sara Yazdi, S.K. and Show, P.L.(2024d). Chapter 7. The Production of Microalgae and Cyanobacteria Biomass and Their Valuable Bioproducts. Dalam M.A.R.Lubis, S.H.Lee, E. Mardawati, S. Rahimah, P. Antov, R. Andoyo, L. Kristak, B. Nurhadi. *Biomass Conversion and Sustainable Biorefinery.. In: Green Energy and*

Technology.Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-7769-7_7

14. **Satya, A.** Istiqomah, F. and Setiadi, T.. (2022).Chapter 15. Anaerobic biofilm reactor: fundamentals and applications. Dalam X. Bui, D.D. Nguyen, P. Nguyen, H.H, Ngo, A. Pandey. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering Advances in Biological Wastewater Treatment Systems.Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*. Page: 407-450. Elsevier <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99874-1.00013-0>

Bagian dari buku Nasional

15. **Awalina, A.** & Aisyah S. (2002).*Basic water Quality of Lake Kerinci* . Dalam: Sunanaisari, S., editor.Monograph No 1. *Limnology of Lake Kerinci*. Indonesian Institute of Sciences RC for Limnology. ISBN 979-8163-13-3.
16. Sunanisari, S., Hartoto D I, Sulastris, Sulawesty F & **Awalina, A.** (2002) Biolimnology of Lake Kerinci . Dalam S. Sunanisari, S., (Ed.) Monograph No 1. *Limnology of Lake Kerinci*. Indonesian Institute of Sciences RC for Limnology. ISBN 979-8163-13-3.
17. Hartoto, D. I., Sumantadinata, K., **Awalina, A** & Yustiawati. (2002).Water hyacinth control using grass carp and its related to limnological changes in Lake Kerinci. Dalam; S. Sunanisari (Ed.).Monograph No 1. *Limnology of Lake Kerinci*. Indonesian Institute of Sciences RC for Limnology. ISBN 979-8163-13-3.

Jurnal Internasional

18. Yusuf, R.M., Finaldin MA, Putri WE, Chandra AK, Jihad A, Herbani Y, **Satya, A.**, Susanti, E., & Hamim, H. (2025a). Utilization of duckweed in phytomining of gold mine tailing and its potential to produce gold nanoparticle. *Environ Sci*

- Pollut Res Int.* Epub 2025 Aug 22. PMID: 40846819.2025 Jul;32(34):20649-20658. <https://doi.org/10.1007/s11356-025-36881-8>.
19. Herawati, H., Zahidah, Z., Sunardi, S., **Satya, A.**, Iskandar I, Sunarto S., Lukman, L., & Arief, M. C.W. (2025b). Nitrate and phosphate levels affect phytoplankton distribution in Jatigede Reservoir, Sumedang, West Java. *AACL Bioflux*, 2025, Volume 18, Issue 2. <http://www.bioflux.com.ro/aacl>
 20. Satya, I. A., **Satya, A.**, Chrismadha, T., Rosadi, R., Maysarah, A. D., Harimawan, A., Setiadi, T., Tang, D. Y. Y., & Show, P. L. (2024a). Cultivation Of *Spirulina Platensis* for carbon dioxide bio sequestration in hybrid photobioreactor with real-time monitoring system. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(3), 112396. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112396>
 21. Waluyo, A. **Satya, A.** Nirmala, K. Hastuti, Y.P., Chrismadha, T., Susanti, E. & Wardah W.(2024b). The impact of shade net use on total nitrogen removal by duckweed (*Lemna perpusilla*) at different levels of catfish farming effluent. *Aquacultural Engineering*, Volume 107, 2024,102456, ISSN 0144-8609. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2024.102456>
 22. Chrismadha, T., Satya, A., Satya, I., Rosidah, R., **Satya, A.**, Pangestuti, R., Harimawan, A., Setiadi, T., Chew, K., & Show, P. (2022). Outdoor Inclined Plastic Column Photobioreactor: Growth, and Biochemicals Response of *Arthrospira platensis* Culture on Daily Solar Irradiance in a Tropical Place. *Metabolites*, 12(12), 1199. <https://doi.org/10.3390/metabo12121199>
 23. Herawati, H., Zahidah, Z., Sunardi, S., **Satya, A.**, Iskandar, I., Sunarto, S., & Lukman, L. (2022). Trophic level status of Jatigede Reservoir based on phosphate concentration (Vol. 15). *AACL Bioflux*, 2022. <http://www.bioflux.com.ro/aacl>

24. Kurniawan, R., Hamim, H., Henny, C. & **Satya, A.** (2022). Identification of Potential Phytoaccumulator Plants from Tailings Area as a Gold Phytomining Agent. *Journal of Ecological Engineering*, 23(1), 169–181. <https://doi.org/10.12911/22998993/143978>
25. **Satya, A.**, Chrismadha, T., & Satya, I. A. (2021). Irradiance Optimation for Growing *Spirulina fusiformis*: Biomass, Phycocyanin, and Protein Production. *Indonesian Journal of Limnology*, 2(1), 76–85. <https://doi.org/10.51264/inajl.v2i1.7>
26. **Satya, A.**, Harimawan, A., Sri Haryani, G., Johir, M. A. H. A. H., Nguyen, L. N., Nghiem, L. D., Vigneswaran, S., Ngo, H. H., & Setiadi, T. (2021a). Fixed-bed adsorption performance and empirical modeling of cadmium removal using adsorbent prepared from the cyanobacterium *Aphanothece* sp cultivar. *Environmental Technology and Innovation*, 21(10), 101194. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101194>
27. Yogaswara, D., Prartono, T., & **Satya, A.** (2021b). Occurrence and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Green Mussel (*Perna viridis*) from Cilincing Waters of Jakarta Bay, Indonesia. *Squalene-Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*. <https://doi.org/10.15578/squalen.484>
28. **Satya, A.** Harimawan, A., Haryani, GS, Johir, MAH, & Vigneswaran, S. (2021c). Integrated treatment of submerged membrane and adsorption using dried *Aphanothece* sp for removing cadmium from synthetic wastewater. *Journal of Water Process Engineering* 41, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102022>
29. **Satya, A.** Harimawan, A., Haryani, G.H., Johir, & M.A.H, Vigneswaran, S., Ngo, S.H. and Setiadi. T. (2020). Batch Study of Cadmium Biosorption by Carbon Dioxide Enriched *Aphanothece* sp. Dried Biomass. *Water* 2020, 12, 264; <https://doi.org/10.3390/w12020264>

doi.org/10.3390/w12010264. www.mdpi.com/journal/water

30. **Satya, A.** Sulawesty F, Harimawan A & Setiadi T. (2018). Correlation of Aquatic Parameters to the Cadmium Bioaccumulation Capability onto Microalgae Biomass in an Urban Lake. *Journal of Water Sustainability* 2018; 8(2), 59-72. <http://www.jwsponline.com/Issue/issues.aspx?id=189&doi=10.11912/jws.2018.8.2.59-72>
31. **Satya, A.** Harimawan A, Haryani G S & Setiadi T. (2017). Non-linear Isotherm Models, Cadmium Kinetics, and Biosorption Thermodynamics of Dried Biomass of Native *Aphanothece* sp. in a Batch System. *Journal of Engineering and Technological Sciences Institut Teknologi Bandung* 2017; 49(5), 617-38. <http://journals.itb.ac.id/index.php/jets/article/view/4145>

Jurnal Nasional

32. Waluyo, A. Nirmala, K., Satya, A. Hastuti, Y.P. Chrismadha, T., Susanti, E., Lestari, F.S. Nafisyah, E. Sugiarti S. & Mui, N. (2024). Effect of Light Intensity on Ammonium Removal and Biomass Growth in Different Levels of Aquaculture Effluent Using Duckweed (*Lemna perpusilla*). *Limnotek Perairan Darat tropis Indonesia transforming into Journal Limnology and Water Resources*. Volume 30 No.2 (2024). p-ISSN:0854-8390 e-ISSN 2549-8029. <https://ejournal.brin.go.id/limnotek>. <https://doi.org/10.55981/limnotek.2024.6420>
33. **Awalina, A.** Chrismadha T, Sulawesty F, Yoga G P & Mardiaty Y. (2014). Penyisihan nutrisi dengan kultur *Eichornia crassipes* dalam air limbah kolam ikan resikulasi semi tertutup. *Limnotek Perairan Darat Tropis di Indonesia* ISSN 0854-8390 2014; 21(2), 157-67.
34. Chrismadha T, Sulawesty F, **Awalina, A.** Yoga G P & Mardiaty Y. (2014). Pemanfaatan lemna (*Lemna perpusilla* Torr) pada

- budidaya perikanan sistem aliran tertutup : Produktivitas, nutrisi dan kinerja fitoremedial. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia* 2014; 39(2), 201-10.
35. Sulawesty, F. & **Satya, A.** (2014). Phytoplankton Community Structure and Other Related Eutrophication Symptoms Parameter in Lake Batur, Bali-Indonesia. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. Vol. 39, No. 2, Tahun 2014, Hal. 181-199
 36. Sulawesty F, Chrismadha T, **Satya, A.**, Yoga G P, Mardiaty Y, Mulyana E & Widoretno M R. (2013). Karakter limnologis perairan embung di Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat. *Limnotek Perairan Darat Tropis di Indonesia* ISSN 0854-8390 2013; 20(2), 117-28.
 37. Zulti F, **Satya, A.** & Sulawesty F. (2012). Distribusi Spasial Karakteristik Fisika Situ Cibuntu, Jawa Barat. *Limnotek* 2012; 19(1).
 38. **Satya, A.** & Larashati S. (2012).Kemampuan Isolat bakteri dari sedimen situ sebagai agen bioremediasi ion logam Timbal (Pb) di perairan. *Limnotek Perairan darat Tropis di Indonesia* ISSN 0854-8390 2012; 19(1), 50-60.
 39. **Satya, A.** Chrismadha T & Sulawesty F. (2011).Biomagnifikasi Logam Berat di Lingkungan Akuatik: Studi Kasus di Tiga Situ Sekitar Bogor. *Limnotek* 2011; 18(2), 27-38.
 40. **Satya, A.** Sunanisari S, Ramadaniya R & Mulyana E. (2010). Distributional pattern and accumulation rate of Organic carbon and Organics Material in sediment related to Suspended Solid in Situ Cibuntu. *Limnotek Perairan Darat Tropis di Indonesia* ISSN 0854-8390 2010; 17(1), 71-84.
 41. Yoga G P, Sudarso Y, Suryono T, **Awalina, A.** Syawal M S & Yustiwati. (2009).Mercury bioaccumulation in some types

of aquatics biota's functional feeding habit in River Cikaniki. *Limnotek Perairan Darat Tropis di Indonesia* ISSN 0854-8390 2009; XVI(2), 167-79.

42. Sunanisari S, Suryono T, Yustiawati, **Awalina, A.** & Syawal M S. (2009). Spatial and Temporal Distribution of some water qualities of River Cikaniki, Jawa Barat. *Limnotek Perairan Darat Tropis di Indonesia* ISSN 0854-8390 2009; XVI(2), 132-9.
43. **Awalina, A.** & Sunanisari S. (2009). The Influence of Chloride ion and pH variation to Conditional Stability Constants of Mercury Inorganic complexes in River Cikaniki, West of Java. *Limnotek Perairan Darat Tropis di Indonesia* ISSN 0854-8390 2009; XVI(2), 140-52.
44. L.Puspita E N, S. Sunanisari, **Awalina, A.** & E.Mulyana. (2007). Application of constructed wetlands to remove nitrogenous and phosphorous compounds from leachate run off liquid. *Limnotek Perairan darat Tropis di Indonesia* ISSN0854-8390 2007; XIV(1), 47-54.
45. Meutia A A & **Awalina, A.** (2007) Kemampuan Rawa aliran bawah permukaan dalam mengolah limbah industri tepung tapioka. *Limnotek Perairan darat Tropis di Indonesia* ISSN0854-8390 2007; XIV(1), 19-28.
46. **Awalina, A.** (2007). Lahan Basah Buatan, Solusi Problem Limbah Organik. *Inovasi-BPTTG-Kedeputian Bidang Ilmu Pengetahuan Teknik-LIPI* ISSN:1907-1655. Penerbit LIPI Press 2007; Edisi04/Mei 2007., 16-7.
47. **Awalina, A.** Meutia A A, Mulyana E, Mardiaty Y, Sugiharti, Rosidah & Iskarlin. (2003) Karakteristik Musiman kandungan senyawa Nitrogen dan Fosfor dalam kolom air dan sediment perairan Situ Tegal Abidin, Bekasi. *Limnotek Perairan Darat Tropis di Indonesia* ISSN 0854-8390 2003; X(1), 49p.

48. **Awalina, A. & Hartoto D I.** (2001). *Heavy metals pollution in rivers at Tanjung puting National Park, Central Kalimantan.* Majalah Oseanologi dan Limnologi di Indonesia 2001; 33(Desember 2001), 27-40.
49. Hartoto D I & **Awalina, A.** (2000) Metals bioconcentration of fishwater fishes in Central Kalimantan as an evaluation criteria for management of inland water fishery reserve. *Berita Biologi : Edisi khusus Wetlands Indonesia-Peatlands* 2000; 5(3), 303-11.
50. Hartoto D I, Sulastris, **Awalina, A.** & Yustiawati. (1999). Development potential of Indonesian Inland Fishery Reserves as an Ecotourism. *Globe* 1999; 1(1), 55-68.
51. **Awalina, A.** Yustiawati & Rosidah. (1994) The Laboratory experiment on the determining factors of the lake sediment adsorption to the Phosphate loading. *Limnotek Perairan Darat Tropis di Indonesia.* ISSN 0854-8390 1994; 2(1), 49-56.
52. **Awalina, A.** (1993). Studies on the Iron and Mangan Contents of the Red Algae of Tanjung Bunga Coastal Waters, South Sulawesi. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia.* ISSN 0125-9830 1993; 27, 11-20.

Prosiding Internasional

53. Souvia Rahimah, Dewi Ghassani, Herlina Martha, Siti Nurhasanah, **Satya, A.** TChrismadha, T. & Mardawati, E. (2024). *Incorporation of Spirulina platensis in Edible Coating for Shelf-Life Extension of Tomatoes (Lycopersicon esculentum Mill.) Umagna Variety.* BIO Web Conf., 92 (2024) 02007. doi: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20249202007>
54. Melanie, H., Aspiyanto, A., Mulyani, H., Filaila, E., Artanti, N. Susilowati, A. , Febrianelly, S. & **Satya, A.** (2023). *Separation and concentration of phycocyanin from Spirulina sp. using microfiltration membrane for natural pigment.*

Volume 2583, Issue 1, 13 January 2023. <https://pubs.aip.org/aip/acp/article/2583/1/090008/2875347/Separation-and-concentration-of-phyococyanin-from>

55. Said, DS, Mayasari, N, **Satya, A**, Chrismadha, T, & Febrianti, D. (2021), *The reproduction viability of Indonesian endemic fish Oryzias marmoratus (Aurich, 1935) fed by Spirulina*. E3S Web of Conferences, E3S Web of Conferences. July 01, 2021. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2021E3SWC.32201007S/doi:10.1051/e3sconf/202132201007
56. **Satya, A.**, Sulawesty, F., Yustiawati & Widiyanto, T., (2020a). *Cadmium distribution in water, microalgae biomass, and sediment of River Bonan Dolok, Samosir-North Sumatra, Indonesia*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 535, International Conference on Tropical Limnology 2019 28-29 August 2019, Bogor, Indonesia. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/535/1/012028/meta>
57. **Satya, A.**, Satya, I.A., & Chrismadha, T. (2020b). *Nitrogen uptake competition between minute duckweed (Lemna perpusilla Torr) and microalgae under various nutrient compositions*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 535, International Conference on Tropical Limnology 2019 28-29 August 2019, Bogor, Indonesia. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/535/1/012027/meta>
58. **Satya, A.**, Chrismadha, T., Satya, ADM, & Satya, I.A.. (2021). *Optimizing crude protein production from minute duckweed (Lemna perpusilla Torr) grown in varied NPK based medium*. Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 1062, The 5th Indonesian Society of Limnology (MLI) Congress and International Conference

02/12/2021 - 03/12/2021 Online <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1062/1/012008/meta.IOP>

59. **Awalina, A.**, Oktariani E, Harimawan A & Setiadi T. "*Batch studies of cadmium (II) biosorption by dried Aphanothece sp biomass from carbon dioxide fed photobioreactor system*". (2017). Proceeding of the 15th International Conference on Quality in Research (QiR) 2017. Organized by the Faculty of Engineering, Universitas Indonesia, Co-hosted with Universitas Udayana, Politeknik Negeri Bali, Queensland University of Technology, Denpasar, 26-27 Juli 2017 2017.
60. **Awalina, A.**, Harimawan A, Haryani G S & Setiadi T. (2017). *Equilibrium and Kinetic Modelling of Cadmium (II) Biosorption by Dried Biomass Aphanothece sp. from Aqueous Phase*, . IOP Conference Series : Earth and Environmental Science 2017; 65(1), 012018.
61. **Awalina, A.**, Nurulfadillah A, Harimawan A & Setiadi T. (2016). *Biochemicals content of Aphanothece sp cultured in Photobioreactor originated from an urban lake and its dried biomass capability to uptake cadmium ion in aqueous solution*. Oral presentation in The 12th International Symposium on Southeast Asian Water Environment (SEAW2016),. Organized by National University of Civil Engineering (NUCE, Vietnam), Research Center for Water Environment Technology (University of Tokyo, Japan), Southeast Asian Center for Water Environment Technology (AIT, Thailand). Melia-Hotel-Hanoi, Vietnam, November 28-30, . http://www.recwet.t.u-tokyo.ac.jp/asian_water2016/For_Presenters.html 2016.
62. **Awalina, A.**, Harimawan A & Setiadi T. (2016). *Biosorption of Cadmium Ion from Aqueous Solution by Aphanothece sp: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies*. Naskah presentasi Oral dalam Proceeding of The 3 rd International

Postgraduate Conference on Biotechnology (IPCB2016). Current Trends in Biotechnological research for Environmental Sustainability. Institut Teknologi Sepuluh Nopember-Soka University- Universiti Malaysia Terengganu. Surabaya, 24-26 August . 2016.

63. **Awalina, A.,** Nurulfadillah A, Harimawan A & Setiadi T. (2015). *The Influence of Illumination changes on CO₂ biofixation and growth kinetic of Aphanothece sp.* . Naskah presentasi Oral dalam Proceeding of The 8th Regional Conference on Chemical Engineering (RCChE-2015). November 29 - December 1, 2015 in Hanoi, Vietnam.RCChE-VNCC-VNCEC 2015.<http://chemeng.hust.edu.vn/rcche2015> 2015.
64. **Awalina, A. ,** Nurulfadilah A, Harimawan A & Setiadi T. (2015). *Carbon Dioxide Bio-sequestration Potential and Growth Kinetics of Aphanothece sp in A Photo-bioreactor.* . Naskah presentasi Oral dalam Proceeding of The 22nd Regional Symposium on Chemical Engineering: RSCE 2015. “Embracing the Opening of AEC Incorporating with Education, Research, and Industries in Chemical Engineering”. Bangkok, Thailand, September 24-25, 2015 2015.
65. Chrismadha T, Sulawesty. F, **Awalina, A.,** Mardiaty. Y, Mulyana E & Widoretno M R. (2014). *Growth performance of minute duckweed (Lemna perpusilla Torr.) in an integrated common carp (Cyprinus carpio L) closed recirculation aquaculture.* Proceeding international Conference of Aquaculture Indonesia 2014. 2014, 16-26.
66. **Awalina, A.,** Sulawesty F, Oktariani E, Chrismadha T, Satya I A, Dida E N & Setiadi T. (2014). *Freshwater Phytoplankton as Potential Heavy Metal Biosorbent and its Natural Aquatic Physico-Chemical Characteristics: A Study case on Situ Rawa Kalong-Depok.* Naskah presentasi Oral dalam ChemmPro2014

Mineral and Material Processing. International Seminar on Chemical Engineering in Conjunction with Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo (STKSR) 2014. “Minerals and Material Processing Toward Sustainable Development” Bandung, 30-31 October 2014 2014.

67. **Awalina, A.**, Sulawesty F, Chrismadha T, Setiadi T, Satya I A, Mardiyati Y & Widoretno M R. (2014). *Phytoplankton Community Abundance Changes in Urban Lake Under Hypereutrophic Conditions: A Study case in Situ Rawa Kalong-Depok, West Java.* . Naskah presentasi Oral dalam International Conference on Ecohydrology (ICE) 2014. In Conjunction with 22 th Meeting International Hydrological Programme (IHP) Regional Steering Committee (RSC) for Southeast Asia and Pacific.”Ecology Approaches Facing the Global Water Environment Challenges”. Yogyakarta, 10-12 November 2014 2014.
68. **Awalina, A.**, Sulawesty F, Chrismadha T, Satya I A, Setiadi T, Mardiyati Y, Dida E N, Widoretno M R & Oktariani E. (2014). *Profil Total Phosphor, Total Nitrogen, Total ion Cd dalam sedimen Situ Rawa Kalong: Potret Sebuah Danau Urban Hypereutrofik.* Naskah presentasi Oral dalam Pemaparan Hasil Penelitian Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI. “Peran Penelitian Geoteknologi untuk Menunjang Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia. Bandung, 2-3 Desember 2014.
69. Sulawesty F, **Satya, A.** & Chrismadha T. (2012). *The changes of phytoplankton community structure of Situ Rawa kalong, a shallow polluted tropical lake in west of Java* PlatformPresentation.Proceeding The 10 th International Symposium on SouthEast Asian Water Environment. Organized by Institute of Environmental Science and Engineering (IESE), National University of Civil Engineering (NUCE), Research Center for Water Environment Technology (RECWET), South east Asian Center for Water Environment

Technology (SACWET), Asian Institute of Technology (AIT) and The Department of Urban Engineering-The University of Tokyo (UT),. Nov 8-10,2012., Hilton Hotel, Hanoi-VietNam. Symposium URL http://www.recwet.t.u-tokyo.ac.jp/asian_water2012. 2012, 335-41.

70. **Satya,A.**, Chrismadha T., Yoga, G. P. & Sulawesty, F. (2012). Mesocosm scale experiment to use duckweed (*Lemna perpusilla Torr.*) in closed recirculation fish aquaculture. . Poster Presentation.Proceeding The 10 th International Symposium on SouthEast Asian Water Environment. Organized by Institute of Environmental Science and Engineering (IESE), National University of Civil Engineering (NUCE), Research Center for Water Environment Technology (RECWET), South east Asian Center for Water Environment Technology (SACWET), Asian Institute of Technology (AIT) and The Department of Urban Engineering-The University of Tokyo (UT),. Nov 8-10,2012., Hilton Hotel, Hanoi-VietNam. Symposium URL http://www.recwet.t.u-tokyo.ac.jp/asian_water2012., 283-91.
71. **Satya, A.** Chrismadha T & Sulawesty F. (2012).*Pb and Cd Distribution in Biotic and Abiotic Components of Receiving Industrial waste water Shallow Lake*. The Proceeding of The 2 th International Seminar on New Paradigm and Innovation on Natural Sciences and Its application (ISNPINSA-2), 4 Santika Hotel, October 2012.”Science for Environmental Sustainability and Public Health.<http://isnpinsa.fsm.undip.ac.id/> 2012.
72. **Satya, A.** Puspita L, Sunanisari S & Sulawesty F. (2011). Subsurface flow constructed wetland ability to improve water quality run off leachate Proceeding of national Symposium on ecohydrology. Integrating Ecohydrological principles for good water governance. 2011; Organized by LIPI-UNESCO-

APCE-Indonesian National Commission for UNESCO. Jakarta
September 25, 2011. ISBN 978-979-8163-15-9. , 234-48.

73. **Satya, A.,** Bakri R, Hartoto D, Chrismadha T & Sulawesty F. (2011). *Assessment of Lead and Cadmium bioaccumulation level in phytoplankton at several shallow lakes of Bogor Regency, Indonesia.* . Platform Presentation. Proceeding The 9 th International Symposium on SouthEast Asian Water Environment. Organized by Department of Urban Engineering-The University of Tokyo (UT), Department of Civil Engineering, Prince of Songkhla University (PSU), Research Center for Water Environment Technology (RECWET), and Southeast Asian Center for Water Environment Technology (SACWET), Asian Institute of Technology (AIT). Dec 1-3, KU/AIT, Emerald Hotel, Bangkok-Thailand. Symposium URL http://www.recwet.t.u-tokyo.ac.jp/asian_water2011.pp 105-12.
74. Sulawesty F & **Satya, A..** (2010) *Spatial and Temporal Distribution Pattern of Phytoplankton Abundance Related to Water Quality in Lake Singkarak, West Sumatera.* . Platform Presentation Proceeding of 8 th The International Symposium on South East Asian Water Environment. 2010; Organized by Department of Urban Engineering-The University of Tokyo (UT), Department of Civil Engineering, Prince of Songkhla University (PSU), Research Center for Water Environment Technology (RECWET), and Southeast Asian Center for Water Environment Technology (SACWET), Asian Institute of Technology (AIT). Phuket Graceland Resort and Spa, Thailand 24-26 October . http://www.Recwet.t.u-tokyo.ac.jp/asian_water2010. 25-32.
75. Chrismadha T, **Satya, A.** & Sulawesty F. (2010). *Pb Accumulation Pattern in Simplified Food Chain of Artificial Inundated Water System.* . Poster Presentation Proceeding of 8 th The International Symposium on South East Asian Water

- Environment. Organized by Department of Urban Engineering- The University of Tokyo (UT), Department of Civil Engineering, Prince of Songkhla University (PSU), Research Center for Water Environment Technology (RECWET), and Southeast Asian Center for Water Environment Technology (SACWET), Asian Institute of Technology (AIT). Phuket Graceland Resort and Spa, Thailand 24-26 October 2010. http://www.Recwet.t.u-tokyo.ac.jp/asian_water2010. 86-92.
76. Sulawesty F, Sunanisari S & **Satya, A.** (2009). *Four years observation on Chlorophyll-a content in tropical shallow lake related to Total Phosphorus and Water quality*. Platform paper in the Oral Presentations Proceedings of The 7th International Symposium on Southeast Asian Water Environment .Shinichiro Ohgaki, Kensuke Fukushi, Hiroyuki Katayama, Satoshi Takizawa (Eds). Asian Institute of Technology (AIT) Conference Center, Bangkok, Thailand, October 28-30,. 2009; Organized by The University of Tokyo, Japan and The Asian Institute of Technology Bangkok, Thailand. (In English).
 77. Sunanisari S, **Satya, A.**, Sulawesty F, Meutia A A & Mardiaty Y.(2008). *Temporal and Spatial Variations of Total Organic Matter and Suspended Solid in Situ Cibuntu a tropical Shallow Lake*. Paper in Poster Presentaion Proceeding The 6 th International Symposium on Southeast Asian Water Environment.29-31 October,2008, Bandung Indonesia. Organized by The University of Tokyo, Institut Teknologi Bandung, and Asian Institute of Technology, University of Yamanashi and West java Environmental Protection Agency.241 p. (In English) 2008, 241p
 78. Sulawesty F & **Satya, A.**.(2008). *Shift in Dominance Pattern of Phytoplankton in Tropical Shallow Lakes in Temporal and Spatial Scale : A Monthly Study*. Paper in Poster Presentaion Proceeding The 6 th International Symposium on Southeast

Asian Water environment, 29-31 October, 2008, Bandung Indonesia. Organized by The University of Tokyo, Institut Teknologi Bandung, and Asian Institute of Technology, Univ 2008; Organized by The University of Tokyo, Institut Teknologi Bandung, and Asian Institute of Technology, University of Yamanashi and West Java Environmental Protection Agency., 241p.

79. **Satya, A.**, Puspita L, Mega A P, Sunanisari S & Meutia A A. (2008). *Vertical Upflow Constructed Wetlands for Iron and Lead Removal in Open Dumping Leachate Run-off Liquid*. . Paper in Poster Presentaion Proceeding The 6 th International Symposium on Southeast Asian Water environment, 29-31 October, 2008, Bandung Indonesia. Organized by The University of Tokyo, Institut Teknologi Bandung, and Asian Institute of Technology, University of Yamanashi and West Java Environmental Protection Agency.
80. Sulawesty F, **Awalina, A.** & Sunanisari S. *Phytoplankton (2006). Abundance and its Relations to Some Water Quality in Hypereutrophic Lowland Lakes: Semayang-Melintang, East of Kalimantan, Indonesia*. Makalah poster dalam Proceeding of LIPI-JSPS Core University Program. International Symposium on Nature and land Management of tropical peatland in southeast Asia. Bogor 20-21 September . (In English) 2006.
81. Nomosatryo S & **Awalina, A.** (2006) *Phosphorus compounds fractions as indicator of external factor alteration in Lake Matano, South Sulawesi* . Oral paper in the Proceedings of The International Symposium on Ecology and Limnology of the Malili Lakes. 2006; Hehanussa et al. (Eds). PT. Inco Tbk- The Indonesian Institute of Sciences- RC for Limnology, Bogor, Indonesia, 75-82 March 2006.

82. **Awalina, A.** & Sunanisari S. (2006). *The relation between seasonal aquatics Physico-chemical composition and trace metals in the depth profiles of Lake Matano, Sulawesi*. . Oral paper in the Proceedings of The International Symposium on Ecology and Limnology of the Malili Lakes. 2006; Hehanussa et al. (Eds). PT. Inco Tbk- The Indonesian Institute of Sciences- RC for Limnology, Bogor, Indonesia, 20-22 March 17-28.
83. Sunanisari S, Fakhrudin M & **Awalina, A.** (2005). *The Recent Study on water Quality of the Hypereutrophic and Silted up Tropical lakes: Semayang and Melintang, East of Kalimantan*. . Oral paper in the Oral Presentations Proceedings of The third International Symposium on Southeast Asian water Environment. Shinichiro Ohgaki, Kensuke Fukushi, Hiroyuki Katayama, Satoshi Takizawa (Eds). Asian Institute of Technology (AIT) Conference Center, Bangkok, Thailand, December 6-8,. 2005; Organized by The University of Tokyo, Japan and The Asian Institute of Technology Bangkok, Thailand. 209-217, 209-17.
84. **Awalina, A.**, Sunanisari S, Mulyana E & Sugiarti. *Removal of COD from acidic and organic rich laboratory wastewater through an experimental constructed wetland.*(2005). Oral Presentation paper in Proceeding of The International Symposium on Ecohydrology. Hehanussa et al. (Eds). Kuta, Bali, Indonesia 21-26 November. Technical Documents in Hydrology. 2005; Regional Steering Committe for Southeast Asia and Pacific UNESCO office, Jakarta. ISBN:979-3673-70-2. LIPI Press, Jakarta, 225-30.
85. **Awalina, A.** & Meutia A A. (2005). *Correlations of Water Conductivity to removals of Ammonia, ortho Phosphate and Suspended Solids in Tapioca Waste Water through Sub Surface and Surface Flows Constructed Wetlands*. . Poster paper in the Poster Presentation Proceedings of The third International

Symposium on Southeast Asian water Environment. Shinichiro Ohgaki, Kensuke Fukushi, Hiroyuki Katayama, Satoshi Takizawa (Eds). 2005; Asian Institute of Technology (AIT) Conference Center, Bangkok, Thailand, December 6-8, 2005. Organized by The University of Tokyo, Japan and The Asian Institute of Technology Bangkok, Thailand. (P24), 131-9.

86. **Awalina, A. & Meutia A A.** (2005). *Removal of Nitrogenous and Ortho Phosphate Compounds in Tapioca Waste Water Manufacture by Surface and Sub Surface Flows in Constructed Wetlands*. Oral Presentation paper in Proceeding of The International Symposium on Ecohydrology. Hehanussa et al. (Eds). Kuta, Bali, Indonesia 21-26 November Technical Documents in Hydrology. Regional Steering Committe for Southeast Asia and Pacific UNESCO office, Jakarta. ISBN:979-3673-70-2. LIPI Press, Jakarta 2005, 123-30.
87. **Meutia A A & Awalina, A.** (2004). *The comparison of the surface and subsurface flow tropical constructed wetlands application on Suspended solid and organic constituents in tapioca industrial wastewater*. . Oral presentation paper in Proceedings of The second International Symposium on Southeast Asian water Environment. Shinichiro Ohgaki, Kensuke Fukushi, Hiroyuki Katayama, Satoshi Takizawa (Eds). Sofitel Plaza Hotel, Hanoi, Vietnam, December 1-3. Organized by The University of Tokyo, Japan and The Asian Institute of Technology Hanoi Vietnam. 2004; Posters presentations: PO4-126.
88. **Meutia A A & Awalina, A.** (2004). *The comparison of the surface and subsurface flow tropical constructed wetlands application on Suspended solid and organic constituents in tapioca industrial wastewater*. . Makalah poster dalam Proceedings of The second International Symposium on Southeast Asian water Environment. Shinichiro Ohgaki, Kensuke Fukushi, Hiroyuki Katayama, Satoshi Takizawa

- (Eds). Sofitel Plaza Hotel, Hanoi, Vietnam, December 1-3, 2004; Organized by The University of Tokyo, Japan and The Asian Institute of Technology Hanoi Vietnam.
89. **Awalina, A. & Meutia A A.** (2004) *The differences of Nitrogenous, phosphorus compounds and total organic matter characters in tropical hypereutrophic and mesotrophic small ponds.* . Oral presentation paper in Proceedings of The second International Symposium on Southeast Asian water Environment. Shinichiro Ohgaki, Kensuke Fukushi, Hiroyuki Katayama, Satoshi Takizawa (Eds). Sofitel Plaza Hotel, Hanoi, Vietnam, December 1-3. 2004; Organized by The University of Tokyo, Japan and The Asian Institute of Technology Hanoi Vietnam, 310-6.
 90. **Hartoto D I &Awalina, A.** (2002).*Proposed set points for conservation management of Malili lakes, South Sulawesi based on several physico-chemico limnological characters.* Paper presented in the oral Session in the International Symposium on land management and biodiversity in Southeast Asia. Organized by Hokkaido university, Japan and research Center for Biology, Indonesian Institute of Sciences. Bali, September 17-20, 2002.
 91. **Awalina, A. & Hartoto D I.** (1999). Limnological characters of lake Rengas Fishery reserve in Central Kalimantan. Proceeding of the International Symposium on Tropical Peatland management, by T. Iwakuma, T. Inoue, T. Kohyama, M. Osaki, H. Simbolon, H. Tachibana, H. Takahashi, N. Tanaka, K. Yabe (Eds)., Graduate School of Environmental Earth Sciences, Hokkaido University, Sapporo &RDC for Biology, Indonesian Institute of Sciences 1999; Bogor 22-23 November 1999, 387-96.

Prosiding Nasional

92. **Awalina, A.**, Sulawesty F, Chrismadha T, Satya I A, Setiadi T, Mardiyati Y, Dida E N, Widoretno M R & Oktariani E. (2014). *Profil Total Phosphor, Total Nitrogen, Total ion Cd dalam Sedimen Situ Rawa Kalong: Potret Sebuah Danau Urban Hypereutrofik*. Naskah presentasi Oral dalam Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi LIPI 2014. “ Peran Penelitian Geoteknologi untuk Menunjang Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia ” Bandung 2 – 3 Desember 2014.
93. Sulawesty F, **Satya, A.** & Chrismadha T. (2011). *Phytoplankton community changes and its correlation to some of water quality in experimental Pb (lead) bioaccumulation pond*. Proceeding of National Symposium The 8 th Indonesian public waters forum. Science and Technology supports to Fishery management business and public waters-inland waters fishery resources. Palembang 26-27 September 2011. Research Division of Public waters (BRPPU) Res.Dev.of Marine and Fishery-Indonesian Ministry of Marine and Fisheries. (In Indonesian) 2011.
94. **Satya, A.**, Hartoto D I & Bakri R. (2011). *Correlation of Chlorophyll-a to Lead (Pb) and Cadmium (Cd) ions in phytoplankton community in eutrophic shallow waters*. Proceeding of National Symposium The 8 th Indonesian public waters forum. Science and Technology supports to Fishery management business and public waters-inland waters fishery resources. Palembang 26-27 September 2011. Research Division of Public water 2011; Palembang 26-27 September 2011. Research Division of Public waters (BRPPU) Res. Dev.of Marine and Fishery-Indonesian Ministry of Marine and Fisheries. Palembang 26-27 September 2011. Research Division of Public water (In Indonesian).

95. **Satya, A.,** Chrismadha T & Sulawesty F. (2010).Heavy Metals Biomagnification in aquatics environment: study case on shallow lakes around of Bogor. Poster paper in Proceeding of Seminar Nasional Limnologi V 2010-Prospek Ekosistem Perairan Darat Indonesia : Mitigasi bencana dan Peran Masyarakat , IPB International Convention center. Bogor 28 Juli 2010.
96. **Satya, A.,** Chrismadha T & Widoretno M R. (2008) *Pola Akumulasi Fe, K dan Mg oleh Kultur Scenedesmus dimorphus pada Variasi Penambahan Konsentrasi Larutan Campuran Logam* Makalah presentasi oral dalam Prosiding Seminar Nasional Limnologi 2008-Perairan Darat dan Perubahan Iklim , IPB International Convention center.Bogor 15 October 2008. (In Indonesian)
97. **Awalina, A.,** Sunanisari S & Ramadaniya R.(2006) *Distribusi spatial laju akumulasi karbon organik dan TOM dalam sediment dan hubungannya terhadap suspended solid di Situ Cibuntu.* . Makalah presentasi oral dalam Prosiding Seminar nasional Limnologi 2006. Pengelolaan sumberdaya perairan darat secara terpadu di Indonesia. Jakarta 05 September . 2006 :119-33.
98. Hartoto D I, Kusumadinanta K, **Awalina, A.** & Yustiawati. (2000).*Water hyacinth control using Grass carp (Ctenopharyngodon idella) and its related limnological changes in L. Kerinci, Indonesia.* . Prosiding “Semiloka Nasional Pengelolaan & Pemanfaatan Danau & Waduk” oleh Y Dhahiyat, S. Astuti, Sariati, & Zahidah (Eds). Fak. Pertanian Jurusan Perikanan. Universitas Padjadjaran Bandung, 7 Nofember 2000. 2000, 1-40.
99. Hartoto D I, Sumantadinata K & **Awalina, A.** (1995).*Uji Coba Limnoteknologi Pemulihan Populasi Ikan Semah (Tor douronensis) di Batang Merangin, Kabupaten Kerinci.* . In:

Proceeding Kongres Ilmu Pengetahuan Nasional VI, by A. Sugiarto, N. Kahar, D. Pitono, S. Ahmad, A.S. Luhulima, K.S. Sugiarto, L. Hakim and J. Jatin (eds). 1995, 1073-94

Paten International Terdaftar

1. **Awalina, A.**, Chrismadha, T., Setiadi, T., Artanti, N., Harimawan, A., Pangestuti, R., Satya, I.A., Gunawan, Nofdianto, Syawal, M.S., Rosidah. (2025). *Hybrid photobioreactor for microalgae cultivation and atmospheric carbon dioxide capture* No. paten P00202415123 terdaftar pada skema Patent Cooperation Treaty (PCT) dengan No PCT/ID2025/000007

Paten Nasional Tersertifikasi

2. Gunawan, Chrismadha, T., **Awalina, A.** Nofdianto, Sudiyono, B.T. (2024). *Alat untuk meningkatkan produksi biomassa mikroalga*. P00202206618. No sertifikat IDP 000095675.

Paten Nasional Terdaftar

3. **Awalina, A.**, Gunawan, Chrismadha, T, Satya, I.A. , Syawal, M.S; Nofdianto; Rosidah. (2024). *Alat untuk meningkatkan efisiensi pengadukan pada fotobioreaktor untuk produksi kultur mikroalga dan sianobakteria*. No.Pendaftaran Paten P00202415456, Indonesia
4. **Awalina, A.**, Chrismadha, T., Setiadi, T., Artanti, N., Harimawan, A., Pangestuti, R., Satya, I.A., Gunawan; Nofdianto; Syawal, M.S, Rosidah. (2024) *.Fotobioreaktor hibrida untuk kultivasi mikroalga dan penangkapan karbondioksida atmosferik*. No.Pendaftaran Paten P00202415123,
5. **Satya, A.**, Subehi, L., Setiawan, E., Chrismadha, T., Satya, I.A., ; Gunawan, Melati, I., Maghfiroh, M., Nofdianto, Rosidah; Nafisyah, E., Lestari F.S, Cindiati, M., Pratama. A.A. (2025).

Sistem kultur mikroalga atau organisme fotosintetik lainnya untuk produksi biomassa dan dekarbonasi udara. No.IDP P00202513806.

6. **Awalina, A.**, Chrismadha, T., Satya, I.A., Rosidah, Gunawan, Pangestuti, R., Nafisyah, E., Fajar Sumi Lestari, Nofdianto, Agus Waluyo.(2025).*Sistem terintegrasi untuk kultivasi serta pemanenan mikroalga,sianobakteria dan mikroorganisme fotosintetik lainnya.*, No. IDP P00202513807.
7. Firman, M.N, Waluyo, A., Oktaviyani, D., Lestari, F.S., Nafisyah, E., Akhdiana, I., **Awalina, A.**, Chrismadha, T., Satya I.A., Gunawan, Verawati, D., Widoretno, M.R., Hermana, I.S. (2025).*Sistem resirkulasi pemanfaatan limbah akuakultur untuk budidaya pakan alami (Lemna perpusilla) berprotein tinggi dan berkelanjutan.* Proses pendaftaran DJKI. S00202512741

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

1. **Satya,A.** Radjasa, O.K., Subehi L., Setiawan, E., Chrismadha,T., Gunawan, Nofdianto, Maghfiroh, M., Melati, I., Satya, I.A., Rosidah, Cindiati, M., Lestari, F.S., Nafisyah, E., & Pratama, A.A., (2025). *Metodologi Carbon Capture Utilization and Storage Menggunakan Fotobioreaktor Olympus 1.0*. Pusat Riset Limnologi dan Sumber daya Air-Organisasi Riset Kebumian dan Maritim-BRIN dan PT. Alam Semesta Integra. Juli 2025.
2. **Satya, A.** & Chrismadha,T (2025).*Managing Minute Duckweed (Lemna Perpusilla Torr) Cultivation for Fish Feed in Indonesia*. World Congress on March 31-April 01, 2025. Virtual event. Peers Alley Media. <https://plantscience.peersalleyconferences.com/> Page: 67. Advances in Plant Science and Plant Biology
3. **Satya, A.** & Subehi, L (2025) *Mikroalga untuk Carbon Capture Utilization & Storage*. Narasumber pada The 10th Thee Kian Wie Lecture Series 2025. “*Economic Navigation in Uncertain Times: Competitiveness, Inclusive, and Green Growth as Strategic Pillars*”. *Carbon Capture Storage and Utilization of CO₂ (Carbon Recycling) as a key Technology for Achieving a carbon neutral society and crucial requirement for green development towards the Net-Zero Emission Target*. Pusat Riset Ekonomi dan Perilaku Sirkular-OR-TKPEKM BRIN. 30 April 2025.
4. **Satya, A.** (2024).*Kultivasi Mikroalga : Prinsip Dasar dan Prospek Pemanfaatan Produk Biomassanya*.Kuliah Praktisi Program Studi Budidaya Perairan Fak. Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin, Makassar. 05 Desember 2024. .
5. **Satya, A.** , Rahanra, G., Chrismadha T., Satya, I.A., Setiadi. T., & Show, P.L. (2023).*Spirulina platensis biomass and phycocyanin productivity in a hybrid photobioreactor system with varying*

irradiance and carbon dioxide feeding.1st Middle East Chemical Engineering Symposium (MEChES 2023), 18th -19th October 2023, Abu Dhabi, UAE.

6. **Satya, A.** ,Chrismadha T. & Nofdianto. (2022). *Teknologi fotobioreaktor cost effective untuk produksi biomassa mikroalga*. Dies natalis FTIP Universitas Padjadjaran ke-17 ,14 September 2022
7. **Satya, A.** ,Chrismadha, T., & Satya., I.A. (2022) *A cost effective inclined outdoor photobioreactor for cultivating Arthrospira (Spirulina) platensis: biomass productivity and nutritive contents*). The Food Systems in Small Islands and Developing States (FSSIDS) network. The FSSIDS network is organising the 2nd International Conference on 7 – 9 September 2022, to be held in-person in The Everly Putrajaya, with the theme “Towards Resilient Food Systems” University of Nottingham Malaysia..
8. **Satya, A** .(2021).*Mengenal Mikroalga & pemanfaatannya sebagai sumber energi*.Kuliah UMUM-pengelolaan biomassa Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Jendral Achmad Yani. 27 April 2021.
9. **Satya, A.**(2021).*Pemanfaatan Mikroalga sebagai pangan dan feed stock energi*.Kuliah UMUM-Program Studi Teknologi Industri Pertanian (TIN) Unpad Mk Biomassa dan Bioenergi, MK Mikrobiologi Industri dan MK Biorefinery dan Bioekonomi, 05 April 2021.
10. **Satya, A.**(2021).*Biosorpsi Logam Berat: Reaktor Hibrida Membran Terendam beserta Pemodelan Empiris dan Mekanistik*”. Jurusan Teknik Kimia- Fakultas Teknik- Universitas Sriwijaya. Kegiatan kuliah umum II-UNSRI2021.09 Oktober 2021.
11. **Satya, A.**, Chrismadha, T., Nofdianto, N., Pangestuti, R. & Setiadi, T.” (2021).*Development of a cost effective photobioreactor system for microalgae cultivation*”.The 2021 New Southbound Mini-Symposium. Dec. 7 (Tue.) 15:00-17:30. Science 5 Building

Room 112, NCU. Department of Life Sciences- National Central University (NCU), Taiwan.

12. **Satya, A.** (2021). *Berkarir sebagai peneliti teknologi bioproses.* Assesment mahasiswa Program Studi Teknologi Industri Pertanian (TIN) Unpad.06 Nofember 2021.
13. **Satya, A.** Chrismadha ,T., Satya, A.D.M & Satya, I.A.. (2021). *Optimizing crude protein production from minute duckweed (Lemna perpusilla Torr) grown in varied NPK based medium.* ORAL PRESENTER At The 5th Indonesian Society of Limnology (MLI) Congress and International Conference on Limnology with theme: “Building Synergies Towards Sustainable Utilization ” December 2nd, 2021
14. **Satya, A. & Setiadi, T.** (2021) as authors of the Invited Lecture presentation entitled : “*The Use of Freshwater Microalgae As Biosorbent For Cadmium Removal From Industrial Wastewater*”. The 9th International Forum on Industrial Bioprocessing (IBA-IFIBIOP2021). September 13-15, 2021. Infoteca Central, Campus Arteaga, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, México
15. **Satya, A.** (2020) “*Teknik Budidaya dan Pemanfaatan Mikroalga*”. WEBINAR SERIES 4 BALAI BIO INDUSTRI LAUT - tanggal 10 Dec 2020 at 13.00 to 15.20 WIB melalui kanal Zoom serta live streaming melalui kanal YouTube
16. **Satya, A.** (2020). “*Teknologi Kultivasi Mikroalga*”. Webinar *Microalgae Biorefinery*. Rabu, 25 November 2020. Center of Excellence for Microalgae Biorefinery, Pusat Studi Energi Universitas Gadjah Mada sebagai Pusat Unggulan Iptek Perguruan Tinggi Orientasi Produk Kemendikbud. Online seminar dengan platform Zoom.
17. **Satya, A. , Harimawan, A., Keryanti, & Setiadi, T.** (2020) *Local Equilibrium Modelling in Simulating Experimental Breakthrough Curves of Cadmium Biosorption using Fixed Bed Reactor.* Presenter oral pada acara International Seminar on Chemical

Engineering Soehadi Reksowardojo in conjunction with Symposium on Photocatalyst and Photocatalysis 2020 (STKSR – Symphosis 2020) pada tanggal 16 – 17 November melalui Zoom Meeting

18. **Satya, A.,** Satya I A & Chrismadha, T. (2019). *Nitrogen uptake competition between minute duckweed (Lemna perpusilla Torr) and microalgae under various nutrient composition*. International Conference on Tropical Limnology 2019, 28-29 August 2019, Bogor, Indonesia
19. **Satya, A.,** Sulawesty, F. Yustiawati & Widiyanto, T. (2019) *Cadmium distribution in water, microalgae biomass, and sediment of River Bonan Dolok, Samosir-North Sumatra, Indonesia*. International Conference on Tropical Limnology 2019, 28-29 August 2019, Bogor, Indonesia
20. **Satya, A.** (2019) *Mikroalga & Potensi Pemanfaatannya dalam industri*. Pembicara Tamu pada kegiatan perkuliahan TK-2204 Mikrobiologi Industri Program Studi Sarjana Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung Rabu, 20 Maret 2019
21. **Satya, A.** (2018.) *Pemanfaatan Biosorben Mikroalga Perairan Darat untuk Penyisihan Kadmium pada Air Limbah Industri*. Warta Limnologi No.60/Tahun XXXI. Juni 2018
22. **Satya, A.,** Oktariani, E., Harimawan, A., & Setiadi, T. (2017). *Batch studies of cadmium (II) biosorption by dried Aphanothece sp biomass from carbon dioxide fed photobioreactor system*. Presentasi oral dalam 15th International Conference on Quality in Research (QiR) 2017. g.Organized by the Faculty of Engineering, Universitas Indonesia, Co-hosted with Universitas Udayana, Politeknik Negeri Bali, Queensland University of technology. <http://qir.eng.ui.ac.id/uncategorized/presentation-schedule-of-qir-2017/>

23. **Satya, A.,** Harimawan, A. & Setiadi, T. (2016). *Biosorption of Cadmium Ion from Aqueous Solution by Aphanothece sp: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies*. Naskah presentasi Oral dalam 3 rd International Postgraduate Conference on Biotechnology (IPCB2016). Current Trends in Biotechnological research for Environmental Sustainability. Institut Teknologi Sepuluh Nopember-Soka University- Universiti Malaysia Terengganu. Surabaya, 24-26 August 2016
24. **Satya, A.,** Harimawan, A. , Haryani G.S & Setiadi, T.(2016). *Equilibrium and Kinetic Modelling of Cadmium (II) Biosorption by Dried Biomass Aphanothece sp. From Aqueous Phase*. Naskah presentasi Oral dalam International Conference on Biomass (ICB2016).”Sharing knowledge and experience on biomass: Technology, Application and Sustainable Development”. Organized by Institut Pertanian Bogor, Surfactant and Bioenergy Alliance (SBAC), Villanova University, AbgI, Universitas Lampung, Indocement, Ristekdikti, Salak Tower Hotel, Bogor-Indonesia. October 10-11 th 2016.
25. **Satya, A.,** Nurulfadillah, A., Harimawan, A. & Setiadi, T. (2016). Biochemicals content of Aphanothece sp cultured in Photobioreactor originated from an urban lake and its dried biomass capability to uptake cadmium ion in aqueous solution. http://www.recwet.t.u-tokyo.ac.jp/asian_water2016/For_Presenters.html.
26. **Satya, A.,** Nurulfadilah, A. , Harimawan, A., & Setiadi, T.(2015). *Carbon Dioxide Bio-sequestration Potential and Growth Kinetics of Aphanothece sp in A Photo-bioreactor*.Naskah presentasi Oral dalam The 22nd Regional Symposium on Chemical Engineering: RSCE 2015.“Embracing the Opening of AEC Incorporating with Education,Research, and Industries in Chemical Engineering”. Bangkok, Thailand, September 24-25, 2015
27. **Satya, A.,** Nurulfadilah, A., Harimawan, A. & Setiadi, T..(2015). *Carbon Dioxide Bio-sequestration Potential and Growth Kinetics*

of Aphanothece sp in A Photo-bioreactor. Naskah presentasi Oral dalam The 8th Regional Conference on Chemical Engineering (RCCHE-2015). November 29 – December 1, 2015 in Hanoi, Vietnam. RCCHE-VNCC-VNCEC 2015. <http://chemeng.hust.edu.vn/rcche2015>

28. **Satya, A.** (2014). *Aplikasi Praktis Biosorpsi pada Pengolahan Air Limbah Industri Mengandung Ion Logam Berat*. Artikel dalam Warta Limnologi No.53/Tahun XXVII. ISSN 0251-5168. Desember 2014.
29. **Satya, A.** (2012). *Pemaparan Logam Berat, Bioavailabilitas dan Resikonya*. Artikel dalam Warta Limnologi No.48/Tahun XXV. ISSN 0251-5168. Juni 2012
30. **Satya, A.** Sunanisari S & Sulawesty F. (2008). *Pengembangan Metoda untuk Ekstraksi Total Mercury dalam Matriks biota Hewan dan Tumbuhan dan Aplikasi pengukurannya dengan Hg Analyzer Berbasis pada Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry (CVAAS)*. Makalah poster dalam Prosiding Seminar Nasional Limnologi 2008-Perairan Darat dan Perubahan Iklim , IPB International Convention center. Bogor 15 October 2008.
31. **Awalina, A.** & Meutia A A. (2004) *Application of tropical surface flows constructed wetland to remove SS and organics constituents in Tapioca wastewater*. Poster paper presented on The Fourth national Seminar on waste management technology. Organized by National Atomic Agency of Indonesian (BATAN), RC for Radioactive waste treatment. Gedung Grha widia Bakti-DRN Puspiptek Serpong, Tangerang 15 September 2004. (In Indonesian)
32. Meutia A A & **Awalina, A.** (2004). *Kemampuan Lahan Basah Buatan Tropis jenis aliran vertical bawah permukaan dalam mengolah limbah industri tepung tapioca*. . Makalah poster yang disajikan dalam Seminar Nasional Limnologi 2004. “Peran Strategis data dan Informasi sumberdaya Perairan darat dalam

Pembangunan Nasional “. Diselenggarakan oleh P2L-LIPI di Hotel Salak, Bogor 28 Juli 2004.

33. **Awalina, A. & Meutia A. (2004).***Aplikasi Lahan Basah Buatan tropis jenis aliran permukaan untuk menyisihkan SS dan konstituen organik dalam limbah industri tepung tapioca.* Makalah poster yang disajikan dalam “Seminar teknologi Pengelolaan Limbah IV” 2004; diselenggarakan oleh Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN)l, Pusat pengembangan pengelolaan limbah radioaktif. Gedung Grha widia Bakti-DRN Puspiptek Serpong, Tangerang 15 September 2004.
34. **Awalina, A.** *Pola temporal dan spatial spesiasi ionic Fe pada sediment dan kolom perairan Situ Tegal Abidin, Bekasi.* (2004). Makalah poster yang disajikan dalam Seminar Nasional Limnologi 2004. “Peran Strategis data dan Informasi sumberdaya Perairan darat dalam Pembangunan Nasional “. Diselenggarakan oleh P2L-LIPI di Hotel Salak, Bogor 28 Juli 2004.
35. **Awalina, A. (2003)** *Relationship of some aquatic physico-chemical features to aquatic nitrogenous (N) and phosphorus (P) compounds and Total Organic Matter (TOM) in Situ Pondok, Tangerang.* . Poster paper presented on Workshop and expose “Fundamental Research Scientific Results of Indonesia-Japan Cooperation Program (LIPI-JSPS)”, Widya Graha LIPI-Jakarta, 17-18 July 2003
36. **Awalina, A., Sulastris & Hartoto D I. (2002).** *The characteristics of Nitrogenous and phosphorus compounds of three oligotrophic lakes in Malili area, South Sulawesi.* . Paper presented in the poster Session in National Seminar of R&D Activities of RDCL, Fiscal year 2001-2002. Bogor 22 april 2002.
37. **Sulawesty F, Damayanti A & Awalina, A. (2002)** *Struktur komunitas fitoplankton di situ cibuntu hubungannya dengan beberapa parameter kualitas air* Paper presented in the poster Session in National Seminar of IPK-LIPI. Jakarta 25 September 2002.

38. Hartoto D I & **Awalina, A.** (2001). *Limnology of Indonesian National Park; Physico-chimico limnological condition of Mendalam river in betung Kerihun national Park.* . Makalah disajikan sebagai poster. Dalam seminar sehari “Lokakarya pengelolaan sungai terpadu diselenggarakan atas kerjasama Bapedal, Depdagri & Otoda, Puslitbang Limnologi LIPI, PPLH-IPB. Bogor, 4 juli 2001.
39. Hartoto D I & **Awalina, A.** (1999). *Metals bioconcentration of freshwater fishes in central kalimantan as an criteria for management of inland water fishery reserve.* . Makalah dalam seminar on Tropical Peat Swamp forest, Bogor 12 Februari 1999. Puslitbang Biologi-LIPI 25 p. 1999.
40. **Awalina, A.** & Hartoto D I. (1999) *Limnological characters of Lake Rengas fishery reserve in Central Kalimantan..* Paper presented as poster in TROPEAT99, International Symposium on Tropical Peatland Management, JSPS & RDC for Biology, Indonesian Institute of Sciences, Ciloto-Bogor, Indonesia, November 22-23, 1999. (In English) 1999.
41. **Awalina, A.** & Hartoto D I. (1999). *Heavy metals pollution in rivers at Tanjung Puting National Park, Central Kalimantan..* Paper presented in Seminar on Tropical Peat Swamp Forest, Bogor 12 Februari 1999. Puslitbang Biologi-LIPI..
42. Hartoto D I & **Awalina, A.** . (1999). *Nitrogen fractions variation in some Oxbow Lakes of Central Kalimantan.* Paper presented in the Poster Session in Seminar of R&D Activities of RDCL, 1998-1999, Cibinong, 13 April 1999.
43. Hartoto D I, **Awalina, A.** & Syawal M.S. (1998). *Studi dasar limnologi untuk pengembangan kawasan wisata konservasi suaka perikanan Teluk Pilla di Danau Ranau, Prop. Sumatera Selatan.* Makalah seminar ekspose tahunan hasil penelitian puslitbang Limnologi-LIPI. 1997-1998., Cibinong, 30-31 Maret 1998.

44. Hartoto D I, Sarnita A S, Sjafei D S, **Awalina, A.**, Yustiawati, Sulastrri, Kamal M M & Siddik. Y. (1998). *Dokumen: Kriteria Evaluasi Suaka Perikanan Perairan Darat*. . Paper presented in Research Development Center for Limnology Annually Seminar, Bogor, April 1998. Pusat Penelitian dan Pengembangan Limnologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. 1998, 51 pp.
45. **Awalina, A.** (1997) *Lake Water Quality Management on Lake Matano: by Limnological Approach*. Presented in Final Report Seminar on Lake Water Quality Management Training Course. Kusatsu-City :18-19 March 1997. JICA- ILEC. 1997 28 pp
46. Hartoto D I, Sarnita A S, D.S. Sjafei D S, **Awalina, A.**, Yustiawati, Sulastrri & Kamal M M. (1997). *Proposed criteria for evaluation of inland fishery reserve*. Paper Presented in Second Indonesian Fishery Symposium, Ujung Pandang, 2-3 Desember 1997. (In Indonesian). 1997.
47. **Awalina, A.** (1996). *The Characteristic of Determinant Physico-Chemistry Parameters that influence on dominant heavy metals profiles in Lake Matano, South Sulawesi*. . Paper presented in the oral Session in Seminar of R & D Activities of RDCL, Fiscal Year 1995-1996. Cibinong. 1996, 18 pp
48. Hartoto D I & **Awalina, A.** (1995) *Some Physico-Chemico Limnological Characters of Lake Matano and Towuti as the set Points for Their Conservation Management*. . Research and Development on the mnotechnology and lake management Group. Technical Report . 1995, 14 pp.
49. **Awalina, A.** (1995). *The Study on some heavy metals distribution in River Cimadur, South of Banten*. . Paper presented in the oral Session in Seminar of R&D Activities of RDCL, Fiscal Year 1994-1995. Cibinong. 1995, 16 pp.
50. **Awalina, A.** (1994). *Vertically Distribution and Anomalous Relationship ORP to Fe (II), Fe (III), Total Fe and Dissolved Oxygen on Lake Kerinci, Jambi Province*. Paper presented in the oral Session in Seminar of R&D Activities of RDCL, Fiscal Year 1993-1994. Bogor. 1994 14pp.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Data Pribadi

Nama	: Dr. Dra. Awalina, M.Si.
Tempat, Tanggal Lahir	: Semarang/13 Mei 1968
Anak ke	: 1 dari 2 Bersaudara
Jenis Kelamin	: Wanita
Nama Ayah Kandung	: Drs. Soetikno Wiryono
Nama Ibu Kandung	: Nisbah Ramli, B.Sc
Nama Suami	: Ir. Ika Atman Satya, M.Ling
Jumlah Anak	: 3 orang
Nama Anak	: 1. Azalea DM Satya, S.Si, M.Phil 2. A. A. Linus Satya, ST 3. A.N. Fauzan
Nama Instansi	: Pusat Riset Limnologi dan Sumber Daya Air-BRIN
Ilmu	: Rancangan proses pada fotobioreaktor kultivasi mikroalga untuk <i>carbon capture utilization and storage</i>
Bidang	: Limnologi Terapan (05.05.07)
Kepakaran	: Perancangan Proses pada Fotobioreaktor
Judul Orasi	: Teknologi Biosirkulasi Air Limbah Menggunakan Fotobioreaktor untuk Kultivasi Mikroalga dan sianobakteria
Bidang Kepakaran	: Limnologi Terapan-Fikoremediasi/ Perancangan Proses pada Fotobioreaktor

No. SK Pangkat Terakhir : Keputusan Presiden Republik Indonesia
Nomor .22/K tahun 2024 tanggal 09 Oktober
2024

No. SK Peneliti Ahli Utama : Keputusan Presiden Republik Indonesia
Nomor 3/M tahun 2022 tanggal 19 Januari
2022

Tautan Scopus : [https://www.scopus.com/authid/detail.
uri?authorId=57200257281](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57200257281)

Tautan Google scholar : [https://scholar.google.com/
citations?user=55CBykQAAAAJ&hl=id&oi=ao](https://scholar.google.com/citations?user=55CBykQAAAAJ&hl=id&oi=ao)

B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/ PT/ Universitas	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1.	SD	Karangayu II	Semarang	1981
2.	SMP	Purnama 3	Semarang	1984
3.	SMA	A.1/Ilmu Fisika SMA Negeri 06	Semarang	1987
4.	S1	Kimia-FMIPA- Universitas Hasanuddin	Ujung Pandang (Makassar)	1992
5.	S2	Kimia-FMIPA- Universitas Indonesia	Jakarta	2011
6.	S3	Teknik Kimia FTI- Institut Teknologi Bandung	Bandung	2018

C. Pendidikan Nonformal

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1.	<i>The Group Training on Lake Water Management-JICA</i>	Osaka, Kusatsu City (Jepang)	1997
2.	Pendidikan dan Latihan Metoda Penelitian dan Pengolahan Data tahun 2013; <i>Fundamental Matlab for Scientist and Engineer Certified-Information Technology Service</i> in ITB (ComLabs USDI-ITB)	Bandung	2013
3.	Kursus Pengelolaan Air Limbah-Pusat Studi Lingkungan Hidup Institut Teknologi Bandung (PSL- ITB)	Bandung	2013
4.	Pelatihan Aspek Teknis Pengolahan Air Limbah (IPAL)-Pelatihan Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) yang diselenggarakan oleh Pusat Studi Lingkungan Hidup- ITB	Bandung	2020

5.	<i>The use of fluorescence microscope HCS CX7 through the HIGH CONTENT SCREENING CX7 LZR WORKSHOP organized in collaboration with BRIN, PT. Nutrilab Pratama and Thermo Fischer</i>	Cibinong	2024
----	---	----------	------

D. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Peneliti Ahli Pertama	01 Feb 1995
2.	Ahli Peneliti Muda	01 Nov 1998
3.	Ahli Peneliti Muda	01 Okt 2002
4.	Peneliti Ahli Muda	01 Des 2005
5.	Peneliti Ahli Madya	01 Mar 2010
6	Peneliti Ahli Madya	01 Nov 2012
7	Peneliti Ahli Utama	06 Nov 2019
8	Peneliti Ahli Utama	01 Okt 2022
9	Peneliti Ahli Utama	01 Okt 2024

E. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1.	Pengelolaan Laboratorium Hidrokimia-P2L-LIPI	Penanggung jawab	LIPI (Cibinong)	1996-2008

2	Sinergi Penelitian Bidang Iptek Dikti-LIPI: Biomagnifikasi Logam Berat di Lingkungan Akuatik: Studi kasus di Setu Rawa Kalong,Depok	Peneliti Ketua	LIPI (Cibinong)	2009
3	Kegiatan Kompetitif LIPI: Pemanfaatan Fitoplankton sebagai Bio Indikator dan Agen Fitoremediasi untuk Pengembangan Strategi Pengelolaan Perairan Tercemar Limbah Cair Industri: Studi Kasus Situ Rawa Kalong	Peneliti Ketua	LIPI (Cibinong)	2014
4	Inhouse-Teknologi Bioproses-TK-FTI-ITB: Isolasi dan kultivasi <i>under exploited</i> sianobakterium <i>Aphanothece sp</i> dalam fotobioreaktor yang diperkaya dengan CO ₂ dan variasi intensitas cahaya	Peneliti Ketua	ITB (Bandung)	2015-2016
5	Inhouse-Teknologi Bioproses-TK-FTI-ITB: Pengembangan reaktor biosorpsi sianobakterium <i>Aphanothece sp</i> (batch system)	Peneliti Ketua	ITB (Bandung)	2016-2017
6	Inhouse-Teknologi Bioproses-TK-FTI-ITB: Pengembangan reaktor biosorpsi sianobakterium <i>Aphanothece sp</i> (fixed bed system-continuous)	Peneliti Ketua	ITB (Bandung)	2017-2018

7	Inhouse-Teknologi Bioproses-TK-FTI-ITB: Pengembangan reaktor biosorpsi sianobakterium <i>Aphanothece sp (submerged membrane adsorption system-continuous)</i>	Peneliti ketua	ITB (Bandung)	2018-2019
7	WBS-2 PRN-MALSAI: Pengembangan teknologi fotobioreaktor Pengembangan Teknologi Cerdas Kultivasi MALSAI yang Efektif dan Efisien untuk Menghasilkan Biomassa dengan Rendemen Tinggi Guna Keperluan Pangan dan Pakan	Peneliti Ketua	Kemenristek Dikti (Cibinong)	2020-2021
8	Pelaksana kegiatan Riset pada Kelompok Riset Limnologi dan Sumber Daya Air	anggota	BRIN (Cibinong)	2022-sekarang

9	Program Rispro LPDP-BRIN Mandatory- Prioritas Riset nasional Mikro-makroalga Laut Strain asli Indonesia (PRN-Malsai) : Sistem fotobioreaktor sebagai CO ₂ biosequester agent untuk pengembangan biomassa mikroalga berkualitas tinggi sebagai <i>feed stock</i> bahan pangan inovatif berbasis mikroalga strain asli Indonesia (MALSAI)	Peneliti Ketua	LPDP,BRIN (Cibinong)	2021-2022
10	Riset dan Inovasi untuk Indonesia Maju (RIIM)-LPDP-batch-1, bidang fokus: kemaritiman dengan topik riset pemanfaatan sumber daya laut untuk ketahanan pangan (RM-SDA) berjudul : Teknologi Cost effective photobioreactor penghasil biomassa <i>Spirulina</i> berkualitas tinggi dan higienis sebagai bahan baku produk pangan hasil laut	Peneliti Ketua	LPDP,BRIN (Cibinong)	2023-sekarang

11	<i>Grant Research Sawit K-22</i> - Pengembangan Teknologi Konversi Terintegrasi Untuk Pengolahan POME Dan Produksi Bahan Bernilai Tambah Dengan Biomassa Mikroalga)(PI. Dr. Ardiyan Harimawan, M.Eng)	Koordinator (BRIN side)	BPDPKS-LPPM- ITB (Cibinong)	2022-2024
12	Pengembangan teknologi produksi biomassa mikroalga pada Pusat Kolaborasi Riset “Biomassa dan Biorefineri” antara Pusat Riset Biomaterial BRIN dengan Universitas Padjadjaran (PI. Dr. Efry Mardawati)	Penanggung jawab (PRLSDA side)	PKR UNPAD- BRIN (Cibinong)	2022-2026

13	Pengembangan Teknologi Pengolahan Air Limbah dan Produksi Bahan Bernilai Tambah dengan Biomassa Mikroalga yang ditumbuhkan pada air limbah agrikultur. Dibawah payung kegiatan SATREPS Project for The Project for Development Of Integrated Bio-Circular Economy from Food and Energy Estate Waste Fraction to Biofuel and Bio-Chemicals antara JICA dan PRBSE- Organisasi Riset Hayati (PI. Prof. Puspita Lisdiyanti, M.Agr. Chem)	Penanggung jawab (Sub kegiatan Out put 2-PRLSDA side)	BRIN,SATREPS (JICA & JST) (Cibinong)	2025-2029
14	Kolaborasi riset dengan PR Mikrobiologi Terapan berjudul Peningkatan Produktivitas pada Budidaya Udang <i>Vannamei</i> melalui Pendekatan Mikrobiologi (PI. Dr. Anis Mahsunah, M.Eng), pada sub kegiatan Pengembangan Fotobioreaktor untuk kultur massal <i>Thalassiosira</i>	Penanggung jawab (PRLSDA side)	BRIN, PT. Intraco Agroindustry (Cibinong)	2023-2024

F. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
	Waste and Biomass Valorization	Springer Nature Journals	Reviewer	2025
	Journal of Natural Resources and Environmetal Management	Institut Pertanian Bogor	Reviewer	2024
	Bioremediation Journal	Taylor Francis Group	Reviewer	2024
	Biomass Conversion and Biorefinery	Springer Nature Link	Reviewer	2024
	Indonesian Journal of Limnology	Indonesian Society of Limnology	Editorial Board	2019 – 2020
	Jurnal Teknik Kimia Universitas Sriwijaya	Fak Teknik Universitas Srwiwijaya	Mitra bestari, Editor Board	2021 – 2023
	ACS Omega reviewer	American Chemical Society	Unique peer reviewer	2020
	Asia Pacific Molecular Biology and Biotechnology	University of Putra Malaysia	Reviewer	2021
	Journal of Engineering and Technological Sciences	Institut Teknologi Bandung	Reviewer	2021-2022

G. CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET, DAN INOVASI

1. Karya Tulis Ilmiah

a) Kualifikasi Karya

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Buku Internasional	14
2.	Buku Nasional	3
3.	Bagian dari Buku Internasional	-
4.	Bagian dari Buku Nasional	-
5.	Jurnal Internasional	13
6.	Jurnal Nasional	21
7.	Prosiding Internasional	39
8.	Prosiding Nasional	9
9.	Paten Internasional	
	Terdaftar	1
	Tersertifikasi	-
10.	Paten Nasional	
	Terdaftar	5
	Tersertifikasi	1
11.	Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)	-
12.	Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/Benih Unggul Tanaman Hutan	-
13.	Hak Cipta	-
14.	Desain Industri	-
15.	Desain dan Tata Letak Sirkuit Terpadu	-
16.	Transaksi Lisensi	-

b) Kualifikasi Penulis

No	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Tunggal	-
2.	Bersama Penulis Lainnya	-
	Total	-

c) Kualifikasi Bahasa

No	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	33
2.	Bahasa Inggris	66
3	Bahasa Lainnya	-
	Total	-

2. Kekayaan Intelektual

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Paten Internasional	
	Terdaftar	1
	Tersertifikasi	-
2.	Paten Nasional	
	Terdaftar	5
	Tersertifikasi	1
3.	Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)	-
4.	Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/Benih Unggul Tanaman Hutan	-
5.	Hak Cipta	-
6.	Desain Industri	-

7.	Desain dan Tata Letak Sirkuit Terpadu	-
----	---------------------------------------	---

3. Kerjasama bersama Mitra

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Transaksi Lisensi	-

H. Pembinaan Kader Ilmiah

Pejabat Fungsional Peneliti/Post Doctoral

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Ika Atman Satya	PRK-BRIN	Pembimbing	2021
2.	Agus Waluyo	PRLSDA-BRIN	Pembimbing	2021
3.	Fajar Sumi Lestari	PRLSDA-BRIN	Pembimbing	2023
4.	Eva Nafisyah	PRLSDA-BRIN	Pembimbing	2024
5.	Syed Saquib	Post doctoral fellow	Host researcher	2025

Mahasiswa

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Gilang Kuntiarso	Universitas Padjadjaran	Pembimbing 2	2018
2.	Deny Yogaswara	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2019
3.	Heti Herawati	Universitas Padjadjaran	Pembimbing 3	2019

4.	Indri Nuraini	Universitas Padjadjaran	Pembimbing 2	2021
5.	Geraldi Rahanra	Institut Teknologi Bandung	Pembimbing 2	2021
6.	Ibnu Difa Ramadhan	UIN-Syarif Hidayatullah	Pembimbing 2	2022
7.	Dita Nuriyah	Universitas Padjadjaran	Pembimbing 3	2023
8.	Muhammad Roykhan Dwidasa Ramadhan	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2024
9.	Tasya Nurul Fadya	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2024

I. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	Society of Indonesian Researcher	2020 – sekarang
2.	Anggota	Society for Indonesian Limnologist	2020~sekarang
3.	Anggota	American Chemical Society	2020~sekarang
4.	Anggota	International Bioprocessing Association -An International Forum on Industrial Bioprocesses (IBA-IFIBiop)	2022 – sekarang
5.	Anggota	Asian Federation of Biotechnology (AFOB)	2022 – sekarang

J. Tanda Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Satya Karya Satya X tahun	Presiden RI	01 Januari 2004
2	Best presenter dalam The 2 nd International Seminar on New Paradigm and Innovation on Natural Science and Its Application (ISNPINSA-2)	Universitas Diponegoro	2012
3.	Satya Karya Satya XX tahun.	Presiden RI	30 Juli 2018
4.	Satya Karya Satya XXX tahun.	Presiden RI	21 Juli 2023
5.	International ACS-Omega award as the one of 10,980 unique peer reviewers from 107 countries around the world which was instrumental in helping ACS Omega serves the global community of scientists	American Chemical Society	2020

Produksi pangan dan perbaikan lingkungan seharusnya diintegrasikan dengan upaya pemanfaatan sumber daya air yang berkelanjutan (berupa kultivasi biosirkular). Hal ini merupakan langkah yang sangat penting untuk dilakukan baik pada masa kini maupun pada masa mendatang, baik di Indonesia maupun pada tataran global.

Orasi ini membahas tentang pengembangan teknologi biosirkulasi menggunakan fotobioreaktor (PBR) mikroalga dan sianobakteria yang telah dan sedang dikembangkan oleh penulis dan team kerja yang dipimpinnya. Kegiatan ini mengintegrasikan kultivasi mikroalga ataupun sianobakteria dengan pengolahan air limbah untuk pemulihan sumber daya air (*water resource recovery*), penangkapan CO₂, produksi O₂ (perbaikan kualitas udara), penyisihan bahan pencemar akuatik (perbaikan kualitas air) sekaligus memproduksi biomassa yang bernilai. Kualitas produk biomassa yang bernilai tinggi sangat berpotensi untuk digunakan sebagai *feed-stock* untuk menghasilkan beragam produk turunan seperti pangan fungsional, pakan, farmasetik, dsb. Aspek inovatif terletak pada rancangan optimasi kinerja *closed-loop system* (siklus tertutup) yang secara kontinu mendaur ulang nutrient akuatik, karbon dioksida, dan konstituen organik. Hal tersebut berlangsung dalam sebuah system yang terkendali dan terpantau dengan baik. Dengan demikian, inovasi ini merupakan salah satu pendekatan yang tepat untuk mendukung upaya produksi pangan yang integratif dengan pemanfaatan sumber daya air berkelanjutan.

BRIN Publishing
The Legacy of Knowledge

Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Gedung B.J. Habibie Lt. 8,
Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kota Jakarta Pusat 10340
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.3427



ISSN 3090-8485



9

773090

848005