

PENGELOLAAN KUALITAS AIR DANAU MELALUI PENDEKATAN BIOGEOKIMIA

ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
BIDANG LIMNOLOGI-DINAMIKA PROSES



OLEH:
CYNTHIA HENNY

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

**PENGELOLAAN KUALITAS AIR DANAU
MELALUI PENDEKATAN BIOGEOKIMIA**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Diterbitkan pertama pada 2023 oleh Penerbit BRIN

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



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

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

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



PENGELOLAAN KUALITAS AIR DANAU MELALUI PENDEKATAN BIOGEOKIMIA

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
BIDANG LIMNOLOGI-DINAMIKA PROSES**

OLEH:
CYNTHIA HENNY

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2023 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Pengelolaan Kualitas Air danau melalui pendekatan biogeokimia/Cynthia Henny. Jakarta:
Penerbit BRIN, 2023

ix + 132 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-623-8372-09-6 (cetak)
978-623-8372-10-2 (e-book)

1. Pengelolaan Danau
2. Kualitas Air
3. Biogeokimia

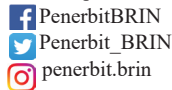
553.7

Copy editor : Risma Wahyu Hartiningsih
Proofreader : Apriwi Zulfitri & Rahma Hilma Taslima
Penata Isi : S. Imam Setyawan
Desainer Sampul : S. Imam Setyawan

Cetakan : September 2023



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



Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
BIODATA RINGKAS	1
PRAKATA PENGUKUHAN	5
I. PENDAHULUAN.....	7
II. FAKTOR PENGENDALI KUALITAS AIR DANAU.....	13
A. Karakteristik Spesifik dan Lanskap Danau.....	13
B. Dampak Antropogenik dan Perubahan Iklim	33
III. PERKEMBANGAN RISET TENTANG PENGELOLAAN KUALITAS AIR DANAU DI INDONESIA	37
A. Riset Kualitas Air Danau	37
B. Riset Biogeokimia tentang Kualitas Air Danau	38
C. Riset Perbaikan Kualitas Air Danau	41
D. Tantangan dan Arah Riset dalam Pengelolaan Kualitas Air Danau	42
IV. KONTRIBUSI RISET BIOGEOKIMIA TERHADAP PEMAHAMAN KARAKTERISTIK KUALITAS AIR DANAU DI INDONESIA.....	45
V. PENDEKATAN BIOGEOKIMIA SEBAGAI DASAR PENGELOLAAN KUALITAS AIR DANAU BERKELANJUTAN DI INDONESIA.....	53
VI. KESIMPULAN	61
VII. PENUTUP.....	63
VIII. UCAPAN TERIMA KASIH	65

DAFTAR PUSTAKA.....	69
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	87
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA.....	103
GLOSARIUM.....	107
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	119

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Sebaran Danau dan Waduk di Indonesia	8
Gambar 2.1	Ilustrasi struktur tiga densitas lapisan kolom air danau	17
Gambar 2.2	Ilustrasi Proses Biogeokimia Ekosistem Danau.....	19
Gambar 2.3	Ilustrasi Kategori Danau Berdasarkan Tipe Pengadukan dan Aliran Air	20
Gambar 2.4	Potensi Metabolisme Komunitas Mikrob pada Sedimen Kaya Senyawa Besi (<i>ferruginous</i>) Danau Towuti	24
Gambar 2.5	Siklus besi, sulfat, dan fosfor tentang pelepasan fosfor dari beban internal (sedimen danau) menentukan status trofik danau.	26
Gambar 2.6	Profil Fe (II), Mn (II), PO ₄ , dan sulfida (S ₂) di Danau Matano, Toba, Maninjau, dan Singkarak	27
Gambar 2.7	Ilustrasi siklus nutrisi pada tiga tipe danau dengan kedalaman <i>mixing</i> (pengadukan) yang berbeda dan kerentanan mengalami eutrofikasi.....	28
Gambar 2.8	Struktur Vegetasi Tutupan Area <i>Wetland (Littoral)</i> dan Riparian dan Kriteria Empat Zona Pelindung Ekosistem Danau	32
Gambar 2.9	Perubahan <i>Long-Term</i> Profil Kedalaman Kandungan Oksigen Terlarut dan Sulfida	34
Gambar 2.10	Perubahan Status Trofik di Area Terdalam Danau Maninjau dari 2005–2017.....	34
Gambar 5.1	Skematik pengelolaan kualitas air danau pendekatan biogeokimia terintegrasi dengan <i>community-based management</i> dan kelembagaan yang baik (<i>good governance</i>).....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ringkasan Proses Metabolisme pada Ekosistem Danau	21
Tabel 5.1 Kriteria Kualitas Air Ekosistem Danau	54
Tabel 5.2 Kriteria Status Trofik	55

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BIODATA RINGKAS



Cynthia Henny, lahir di Lirik, Riau, pada tanggal 18 Februari 1963, adalah anak ke tujuh dari sembilan bersaudara, dari Bapak Azis Hamid (alm.) dan Ibu Zainab Syaid (almh.).

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 3/M/2022 tanggal 19 Januari 2022, yang bersangkutan diangkat menjadi Peneliti Ahli Utama Badan Riset dan Inovasi Nasional terhitung mulai 1 Oktober 2021.

Berdasarkan Surat Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 248/I/HK/2023 tanggal 14 Agustus 2023 tentang Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan pidato Pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar YPKP di Lirik, tahun 1974, Sekolah Menengah Pertama Yos Sudarso di Padang, tahun 1977, dan Sekolah Menengah Atas Don Bosco di Padang, tahun 1981. Memperoleh gelar Sarjana Jurusan Biologi dari Universitas Andalas, Padang, tahun 1986, gelar Magister bidang Environmental Science and Engineering dari The University of North Carolina, Chapel Hill-USA, tahun 1993, dan gelar Doktor bidang Environmental Science and Engineering dari The University of Maine, Orono-USA, tahun 2001.

Mengikuti beberapa pelatihan tentang *Environmental Assessment on Air and Water Pollution* di Rijk Universitat, Ghent, Belgium (1988); *Industrial Pollution Control*, di National Institute for Resources and Environment, Tsukuba, Jepang (1995); *Anaerobic Treatment of High-Strength Industrial and Agricultural Wastes* di Marquette University, Milwaukee, Wisconsin, USA (2003); dan mengikuti Pelatihan *Reviewer Penelitian K/L Angkatan I-Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional* (2021).

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Pertama golongan III/a tahun 1988, Asisten Peneliti Muda golongan III/b tahun 1993, Peneliti Ajun Madya golongan III/c tahun 1997, Peneliti Ahli Madya golongan IV/a tahun 2007, Peneliti Ahli Madya golongan IV/b tahun 2011, Peneliti Ahli Madya golongan IV/c tahun 2016, Peneliti Ahli Utama golongan IV/d tahun 2018, Peneliti Ahli Utama golongan IV/e tahun 2022.

Menghasilkan 106 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding internasional dan nasional, serta paten. Sebanyak 69 KTI dalam bahasa Inggris.

Sebagai Ketua Kelompok Penelitian Pengendalian Pencemaran Perairan Darat, Pusat Penelitian Limnologi-LIPI (2014–2019), sebagai Asesor Peneliti Instansi dan Pusat (sejak 2019). Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai fasilitator diklat jabatan fungsional peneliti pada Pusbindiklat LIPI dan fasilitator diklat BRIN, pembimbing skripsi (S-1) pada Universitas Andalas Padang, Universitas Sahid Jaya Jakarta,

dan Universitas Muhammadiyah Solo; pembimbing tesis (S-2) pada Institut Pertanian Bogor dan Institut Teknologi Bandung; pembimbing disertasi (S-3) pada Universitas Padjadjaran, Institut Pertanian Bogor, dan Institut Teknologi Bandung; serta penguji tesis (S-2) pada Universitas Indonesia dan Institut Pertanian Bogor.

Sebagai ketua tim peneliti pada kegiatan penelitian kerja sama tentang *Urban Lakes Environment Management – Jakarta Megacity Project* (Pusat Penelitian Limnologi (P2L) LIPI dan Research Institute for Humanity, Kyoto Jepang) (2013–2014); *Biogeochemistry of Malili Lakes-South Sulawesi* (P2L-LIPI dan UBC Canada) (2008–2015); *Towuti Drilling Project* (P2L-LIPI dan GFZ Jerman, UBC Canada, University of Geneva,) (2015–2017); *Biogeochemistry and Geomicrobiology of Tropical Lakes* (P2L-LIPI dan GFZ Jerman) (2012–2016); *Biogeochemistry and Geomicrobiology of Tropical Lakes* (P2L-LIPI dan GFZ Jerman, Universitas Papua) (2017–2021).

Sebagai delegasi Indian Ocean Rim Association-Republik Indonesia pada *First Meeting on Water Environment* di South Africa (2015) dan sebagai anggota *drafting team* of International Water Quality Guideline for Ecosystems UNEP-UNESCO (2014–2016).

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, antara lain sebagai anggota American Society for Microbiology (ASM) (sejak 1998), Masyarakat Limnologi Indonesia (MLI) (sejak 2017), Perhimpunan Periset Indonesia (PPI) (sejak 2019), dan International Society of Limnology (SIL) (sejak 2021).

Menerima penghargaan program *Post-Doctoral Research (Anaerobic Lagoon Treatment)* di University of Missouri, Rolla, USA (2001–2004); *Research fellowship (Urban Lake Ecosystem Management)* di Research Institute for Human and Nature (RIHN) Kyoto, Jepang (2013); penghargaan ilmiah internasional *The Ibaraki Kasumigaura Prize* (2014) pada *The 15th World Lake Conference* di Perugia, Italia; *The Best Presenter* pada *Tropical Limnology International Conference* (2019), *Sustainable Urban Water International Seminar* (2019), *International Conference of Indonesian Limnology Society* (2021), *The 11th International Seminar of Fisheries and Marine Science* (2022), dan *The 4th International Conference on Green Energy and Environment* (2022); Menerima penghargaan *The Encouragement Award of The Hitachi Global Foundation Asia Innovation Award* (2021); dan Satyalencana Karya Satya X tahun (1999), XX tahun (2008), dan XXX tahun (2017) dari Presiden Republik Indonesia.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

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

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

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya pada tanggal 12 September 2023 menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

**“PENGELOLAAN KUALITAS AIR DANAU
MELALUI PENDEKATAN BIOGEOKIMIA”**

I. PENDAHULUAN

Danau, baik alami maupun buatan merupakan sumber daya air (SDA) yang esensial dalam memenuhi kebutuhan air bersih. Namun, danau merupakan ekosistem air tawar yang paling ekstensif dan sangat cepat mengalami perubahan dan kerusakan (Bogardi dkk., 2020; Lehmusluoto dkk., 1997; UNEP, 2016). Cakupan sumber air tawar danau meliputi 0,3% dari 1% sumber air tawar yang bisa dimanfaatkan di dunia (Bogardi dkk., 2020; Giesen, 1994; UNEP, 2016). Jumlah danau di Indonesia yang teridentifikasi mencapai 5.808, yakni 1.022 di antaranya merupakan danau alami (Gambar 1.1) (Dianto dkk., 2020). Sekitar 0,25% dari permukaan daratan Indonesia merupakan tutupan area danau, yang menampung sekitar 500 km³ air tawar (Giesen, 1994; Lehmusluoto dkk., 1997). Danau Indonesia mempunyai peran multifungsi yang penting dalam menyediakan berbagai jasa ekosistem, termasuk penyediaan air untuk konsumsi manusia, kesehatan, pangan, dan energi; mengatur layanan untuk siklus makanan, pemurnian air, iklim mikro, dan keanekaragaman hayati, serta menyediakan sarana rekreasi dan budaya (Haryani, 2013; Lukman dkk., 2018; Nontji, 2016; UNEP, 2016).



Keterangan: Jumlah danau teridentifikasi di setiap provinsi (dalam kotak putih). Total area dari seluruh danau teridentifikasi dengan luas 586.871,64 ha.

Sumber: Peta (Google Earth); Data jumlah danau dan waduk (Dianto dkk., 2020)

Gambar 1.1 Peta Sebaran Danau dan Waduk di Indonesia

Sebagai warisan sumber daya alam dan aset SDA masa depan, fungsi danau dari segi keilmuan juga tidak kalah menarik. Sebagai perwakilan area tropis dengan kondisi geografis dan iklim yang berbeda dari belahan dunia lainnya, danau tropis Indonesia mempunyai karakteristik ekosistem danau dengan keunikan tersendiri. Kepulauan di Indonesia berada tepat di dalam kawasan cincin api Pasifik yang merupakan area tektonik dan vulkanik aktif, dengan sungai-sungai besar dan rawa, bahkan pegunungan es di Papua, mencirikan tipologi morfogenesis ekosistem danau yang khas dan spesifik, baik secara lokal maupun regional (Dianto dkk., 2020; Giesen, 1994). Tipologi yang membedakan karakteristik hidrogeomorfologi memengaruhi biogeokimia danau. Hal ini merupakan karakteristik spesifik pengendali kualitas air danau dan respons terhadap dampak aktivitas antropogenik dan perubahan iklim (Crowe dkk., 2007; Henny, 2009; Nomosatryo dkk., 2021).

Tekanan dari dampak aktivitas antropogenik akibat meningkatnya aktivitas manusia di badan air dan di daerah tangkapan air (DTA) telah menimbulkan permasalahan serius terhadap kualitas air danau. Pemanfaatan badan air danau untuk budi daya ikan keramba jaring apung (KJA) (Henny, 2015; Henny & Nomosatryo, 2016) dan pemanfaatan area DTA danau untuk pengembangan area urban, aktivitas pertanian, pertambangan, dan wisata telah menimbulkan pencemaran air danau yang menyebabkan degradasi kualitas air danau (Henny & Susanti, 2009; Lehmusluoto dkk., 1997; Lukman dkk., 2018). Hasil kajian dari 30 tahun karya peneliti Pusat Penelitian Limnologi (P2L) LIPI dan rangkuman dari peneliti lainnya terhadap 40 danau besar alami (Giesen, 1994; Lehmusluoto dkk., 1997; Lukman dkk., 2018), sebagian besar waduk dan puluhan danau kecil, danau urban, dan danau bekas tambang (DBT) (Henny, 2011a, 2018a; Henny & Meutia, 2014a), menunjukkan bahwa 85% dari danau sudah mengalami degradasi kualitas air. Penurunan kualitas air, antara lain berupa pencemaran bahan organik dan nutrien yang menimbulkan kondisi danau anoksik (kehabisan oksigen) dan eutrofikasi danau yang menjadi penyebab kematian ikan dan biota danau (Henny & Nomosatryo, 2016; Sulastri, Henny, & Nomosatryo, 2019). Eutrofikasi merupakan fenomena peledakan fitoplankton dan alga beracun (Sulastri dkk., 2022; Sulastri, Henny, & Santoso, 2019), diindikasikan dengan warna air danau menjadi hijau pekat disertai lendir hijau ataupun penutupan permukaan air oleh tanaman invasif sehingga multifungsi danau terganggu (Henny & Meutia, 2014b; Sulastri dkk., 2016). Eutrofikasi merupakan permasalahan kualitas air danau global yang pelik dan sulit untuk dikendalikan.

Danau-danau juga sudah tercemar polutan berbahaya, seperti logam berat (Henny, 2011b.; Henny & Meutia, 2014a; Susanti dkk., 2017), pestisida (Ibrahim dkk., 2022) bahkan sampah plastik (Rohaningsih dkk., 2022), dan *emerging pollutant* seperti mikroplastik (Henny, Rohaningsih, Suryono, Santoso, dkk., 2023; Henny, Rohaningsih, Suryono, Sudarso, dkk., 2023). Dampak perubahan iklim memperparah permasalahan kualitas air sehingga mengganggu stabilitas danau dan meningkatkan beban polutan yang masuk ke danau (Henny & Triyanto, 2011; Sulastri, Henny, & Santoso, 2019). Lima belas danau besar utama di Indonesia (Danau Toba, Danau Maninjau, Danau Singkarak, Danau Kerinci, Danau Rawa Danau, Danau Rawa Pening, Danau Batur, Danau Tondano, Danau Kaskade Mahakam (Melintang, Semayang, dan Jempang), Danau Sentarum, Danau Limboto, Danau Poso, Danau Matano, Danau Tempe, dan Danau Sentani) sudah ditetapkan sebagai danau prioritas untuk diselamatkan. Penyelamatan ini dalam upaya rehabilitasi danau akibat degradasi lingkungan berupa kerusakan DTA danau dan penurunan kualitas air yang serius (PP No. 60, 2021).

Riset biogeokimia terhadap dinamika kualitas air danau di Indonesia masih sangat terbatas. Kolaborasi riset tim peneliti biogeokimia di P2L-LIPI dengan peneliti mancanegara telah menghasilkan temuan baru. Salah satu di antaranya adalah dalam mengungkapkan karakteristik biogeokimia dan kualitas air Danau Matano dan Towuti yang mirip dengan karakteristik biogeokimia danau purba pada zaman awal terbentuknya bumi (*Precambrian Eon*) (Crowe, Paris, dkk., 2014; Vuillemin dkk., 2023). Bahkan, Danau Matano merupakan danau air tawar

satu-satunya di dunia dengan karakteristik biogeokimia danau purba yang menyerupai kondisi laut zaman purba (*archean ocean*) dan dicanangkan sebagai salah satu danau purba warisan dunia (*World Heritage of Ancient Lake*) (Crowe, Paris, dkk., 2014). Temuan signifikan riset biogeokimia lainnya adalah tentang biogeokimia sulfur. Biogeokimia ini merupakan salah satu indikator kunci terjadinya fenomena tubo belerang pemicu kematian ikan massal di Danau Maninjau (Henny, 2009; Henny & Nomostroyo, 2016)).

Terobosan riset yang berhasil dilakukan berupa inovasi teknologi perbaikan kualitas air danau menggunakan pendekatan biogeokimia. Inovasi teknologi ini menggunakan aplikasi *in situ* sistem *constructed wetlands* dan sistem aerasi untuk perbaikan kualitas air danau yang tercemar bahan organik dan nutrisi (Henny & Gunawan, 2011; Henny, Kurniawan, & Akhdiana, 2019; Henny, Kurniawan, & Trisuryono 2019; Henny dkk., 2020).

Setiap danau mempunyai karakteristik biogeokimia yang berbeda sehingga juga membedakan dalam pengaturan kualitas airnya. Oleh karena itu, dibutuhkan pengelolaan kualitas air yang spesifik bagi setiap tipe danau (Crowe dkk., 2007; Henny, 2009; Nomosatryo dkk., 2023). Pengelolaan kualitas air danau melalui pendekatan biogeokimia adalah pendekatan berbasis karakteristik spesifik alami dari ekosistem danau. Pengelolaan fokus pada peran proses biogeokimia terhadap siklus elemen kimia dalam mengatur kualitas air danau. Oleh karena itu, pendekatan biogeokimia merupakan *nature-based solution*,

solusi terbaik dalam menjaga kualitas air danau dan mendukung ekosistem danau yang sehat dan lestari.

Orasi ini memaparkan antara lain faktor pengendali pengatur kualitas air danau, perjalanan riset tentang pengelolaan kualitas air danau, kontribusi riset biogeokimia terhadap pemahaman karakteristik kualitas air danau, dan pendekatan biogeokimia dalam pengelolaan kualitas air danau sebagai rekomendasi dasar pembuatan kebijakan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

II. FAKTOR PENGENDALI KUALITAS AIR DANAU

Kualitas air menggambarkan kondisi air termasuk karakteristik kimia, fisika, dan biologi air untuk tujuan tertentu. Kualitas air yang baik untuk ekosistem adalah air dengan kandungan konstituen, baik secara fisika, kimia, maupun biologi yang tidak membahayakan kehidupan biota di dalamnya dan mendukung pemanfaatannya untuk kebutuhan hidup manusia, serta menjaga keberlanjutan ekosistem yang sehat (Lukman dkk., 2018; UNEP, 2016). Kualitas air permukaan setiap badan air, termasuk danau, merupakan fungsi dari salah satu atau kedua pengaruh alam dan aktivitas manusia (Likens, 2010; UNEP, 2016).

Kualitas air danau dipengaruhi oleh faktor internal (alami) meliputi karakteristik spesifik dan lanskap danau; dan faktor eksternal (luar), yaitu dampak dari aktivitas manusia (antropogenik) dan perubahan iklim.

A. Karakteristik Spesifik dan Lanskap Danau

1. Karakteristik Spesifik Danau

Karakteristik spesifik danau meliputi tipologi yang menentukan karakteristik geomorfologi, hidrologi, limnologi, dan biogeokimia danau. Berdasarkan morfogenesis atau asal pembentukannya, tipologi danau di Indonesia dibagi menjadi dua, yaitu danau alami dan danau buatan. Tipologi danau alami meliputi danau tektonik, danau tektono-vulkanik, danau

vulkanik/kaldera; danau kawah (*crater lake*) (vulkanik aktif); danau paparan banjir (*floodplain lake*), danau oxbow, danau *landslide dam*; danau karst (batu kapur); dan danau glasial yang terbentuk dari aktivitas gletser (Giesen, 1994; Haryani, 2013; Hutchinson, 1975). Danau kecil alami ada yang disebut *situ* atau telaga (Soeprbowati dkk., 2018a, 2022) dan untuk di area perkotaan penulis mengategorikan sebagai danau urban contohnya di area Megakota Jakarta (Henny & Meutia 2014a). Danau buatan meliputi waduk, danau urban, dan danau bekas galian tambang (DBT). Keberadaan DBT antara lain di area bekas tambang timah di Pulau Bangka Belitung dikenal dengan istilah *kolong*, serta di area bekas tambang emas dan batu bara di Kalimantan dan Embung di Nusa Tenggara Barat dan Timur (Henny, 2018a; Lukman dkk., 2018; Widiyono, 2019).

Karakteristik geomorfologi. Karakteristik geomorfologi meliputi lokasi danau (koordinat, garis bujur dan lintang), ketinggian di atas permukaan laut (dpl.), bentuk danau, kedalaman, luas area permukaan danau, rasio luas area DTA terhadap luas area permukaan danau, pengembangan garis pantai, area riparian, kemiringan riparian, jenis mineral tanah/geologi area riparian dan sedimen danau, rasio area sedimen, dan volume danau (Likens, 2010; Read dkk., 2015; Soranno dkk., 2010).

Danau-danau besar tektonik dan tektono-vulkanik umumnya bercirikan danau yang sangat dalam dan pinggiran yang curam. Danau Matano merupakan danau tektonik yang berada di antara dua patahan, salah satu danau terdalam di dunia dengan

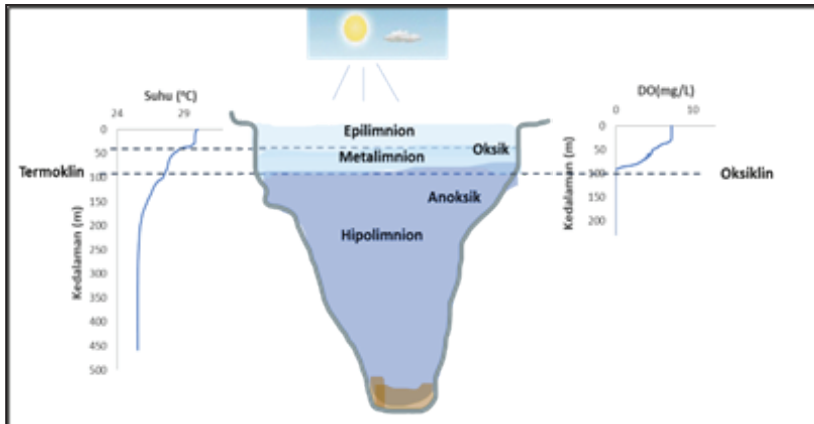
kedalaman 590 m dengan struktur *graben shape*, area litoral yang sempit, dan 80% tepian danau yang curam, serta lapisan kolom air dasar hipolimnion mulai dari kedalaman 230 m sampai ke dasar berada di bawah permukaan laut atau *cryptodepression* (Crowe dkk., 2007; Katsev dkk., 2010). Danau Toba merupakan danau tektono-vulkanik yang terbesar dengan luas 112.970 ha dan kedalaman mencapai 508 m (Fukushima dkk., 2023; Sunaryani dkk., 2018).

Sementara itu, danau paparan banjir dicirikan dengan area yang luas, relatif dangkal, dan landai (Aisyah dkk., 2018; Lukman dkk., 2018). Danau urban dan danau kecil dicirikan dengan area luas permukaan yang kecil dengan DTA sangat luas, rasio luas danau dan luas DTA 1: >10, dan juga dangkal (Henny & Meutia, 2014b, 2014c). Danau bekas tambang (DBT) dicirikan sebagai danau dengan tepian yang curam dari yang dangkal sampai dengan sangat dalam > 200 m bergantung pada tipe penambangannya (Henny, 2011a, 2018a)

Karakteristik hidrologi. Karakteristik hidrologi danau meliputi sumber air, debit air, aliran air/pola arus. Sumber air utama danau adalah dari air tanah, aliran sungai, dan air hujan. Danau berdasarkan karakteristik hidrologi dibedakan dari keberadaan aliran air masuk (*inlet*) dari sungai dan aliran air keluar (*outlet*) (Likens, 2010; Read dkk., 2015; UNEP, 2016). Kualitas sumber air dan debit air memengaruhi kualitas air danau. Debit air secara alami akan berfluktuasi bergantung pada iklim (musim hujan/kering) yang akan memengaruhi konsentrasi dari konstituen kimia air (Aisyah dkk., 2018; Henny & Triyanto, 2011; Likens, 2010).

Rezim hidrologi seperti besarnya aliran air dan besarnya volume air menentukan waktu tinggal air (*water retention time*). Makin lama waktu tinggal air, danau cenderung mengakumulasi polutan yang masuk dan akan lama pulih kembali apabila mengalami gangguan berupa beban polutan yang melebihi kapasitas daya pulih danau. Danau besar dan dalam mempunyai waktu tinggal air yang sangat lama, contohnya Danau Toba mempunyai waktu tinggal air 81 tahun (Haryani, 2014; Sunaryani dkk., 2018). Sementara itu, danau paparan banjir, waduk, dan danau urban yang dangkal dengan aliran air inlet dan outlet yang besar dan cepat mempunyai waktu tinggal air yang lebih pendek, hanya hitungan kurang dari satu bulan sampai beberapa bulan saja (Lewis, 2010; Lukman dkk., 2018). Danau tertutup mempunyai waktu tinggal air tak berhingga contohnya Danau Batur akan rentan dan mudah terganggu kualitas airnya apabila menerima beban polutan melebihi daya pulih danau (Henny dkk., 2008; Lukman dkk., 2018).

Karakteristik limnologi. Karakteristik limnologi dicirikan oleh struktur lapisan kolom air, terstratifikasi permanen atau tidak terstratifikasi berdasarkan perbedaan densitas air (lapisan piknoklin), suhu (lapisan termoklin), dan kandungan oksigen terlarut (lapisan oksiklin). Lapisan termoklin membagi struktur kolom air danau tropis menjadi tiga lapisan, yaitu lapisan kolom air atas yang hangat (epilimnion) yang teraduk secara sempurna, lapisan kolom air tengah (metalimnion) yang biasanya sangat tipis, dan lapisan kolom air dalam sampai dasar yang dingin (hipolimnion) (Gambar 2.1) (Crowe dkk., 2007; Likens, 2010).



Keterangan: Lapisan kolom air danau berdasarkan gradien/perbedaan temperatur (epilimnion, metalimnion, hipolimnion) dan lapisan berdasarkan gradien kandungan oksigen terlarut (oksiklin)

Sumber: Modifikasi Likens (2010)

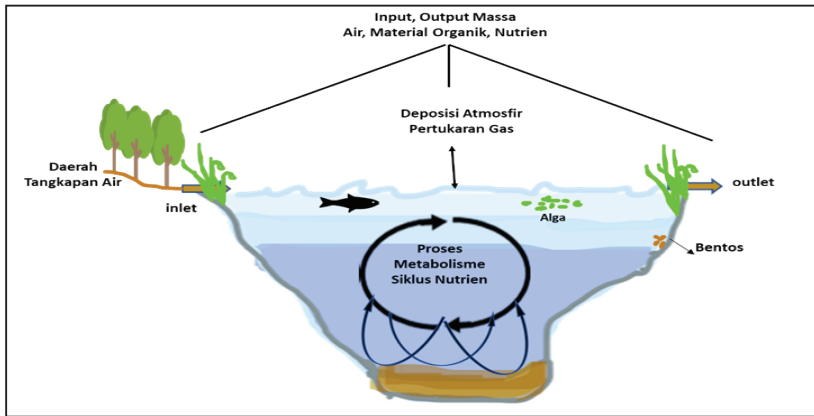
Gambar 2.1 Ilustrasi struktur tiga densitas lapisan kolom air danau

Struktur danau memengaruhi pola pengadukan lapisan kolom air yang akan memengaruhi siklus biogeokimia setiap elemen kualitas air (Fukushima dkk., 2021; Katsev dkk., 2010; Lewis, 2010). Danau tropis besar dan dalam mempunyai lapisan air yang terstratifikasi permanen dan secara umum ketiga lapisan tidak mengalami pengadukan atau disebut dengan danau *meromictic*. Hanya lapisan epilimnion dan metalimnion yang tipis mengalami pengadukan musiman akibat pengaruh iklim. Kedalaman lapisan termoklin danau memengaruhi kerentanan terhadap pengadukan musiman. Danau Matano memiliki lapisan termoklin/oksiklin yang mencapai kedalaman 100 m (Crowe dkk., 2011; Katsev dkk., 2010) dan kedalaman 150 m untuk Danau Toba (Fukushima dkk., 2023; Sunaryani dkk., 2018). Danau Maninjau memiliki lapisan termoklin/oksiklin yang

sangat dangkal dan berfluktuasi pada kedalaman 10 m dan 20 m (Fukushima dkk., 2017; Henny & Nomosatryo, 2016). Lapisan oksiklin merupakan pembatas lapisan kolom air yang oksik (ada oksigen) dan lapisan air anoksik (tanpa oksigen). Lapisan ini merupakan lapisan aktif reaksi antara reduksi-oksidasi (redoks) dari proses biogeokimia terhadap siklus/pertukaran elemen kimia esensial yang mengatur kualitas air danau (Crowe dkk., 2007; Henny & Nomosatryo, 2016). Berbeda dengan danau besar tektonik ataupun vulkanik yang dalam, danau paparan banjir dan danau urban yang dangkal mempunyai kolom air tidak terstratifikasi (Aisyah dkk., 2018; Henny dkk., 2014; Henny & Meutia, 2014a, 2014b). Danau yang dangkal bisa mengalami pengadukan secara sempurna sampai dengan air dasar bahkan lapisan permukaan sedimen.

Karakteristik biogeokimia. Biogeokimia danau merupakan proses yang berperan terhadap aliran/siklus elemen atau pertukaran elemen kimia danau terutama elemen biogenik (pendukung kehidupan biota), meliputi karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), sulfur (S), dan fosfor (P) melintasi komponen biotik (makhluk hidup) dan abiotik (lingkungan). Namun, semua elemen kimia yang masuk ke dalam danau mengalami pertukaran/siklus secara biogeokimia. Biogeokimia danau secara mendasar mempelajari bentuk spesies elemen kimia yang masuk ke danau, alur transformasinya di dalam danau, dan melalui alur mana elemen tersebut dialirkan ke luar danau. Proses biogeokimia dikendalikan secara bersama oleh aliran massa dan metabolisme yang sangat ditentukan oleh karakteristik hidrogeomorfologi dan limnologi berdasarkan

tipologi danau. Ilustrasi siklus biogeokimia yang terjadi di ekosistem danau ditampilkan pada Gambar 2.2 (Lewis, 2010; Likens, 2010).

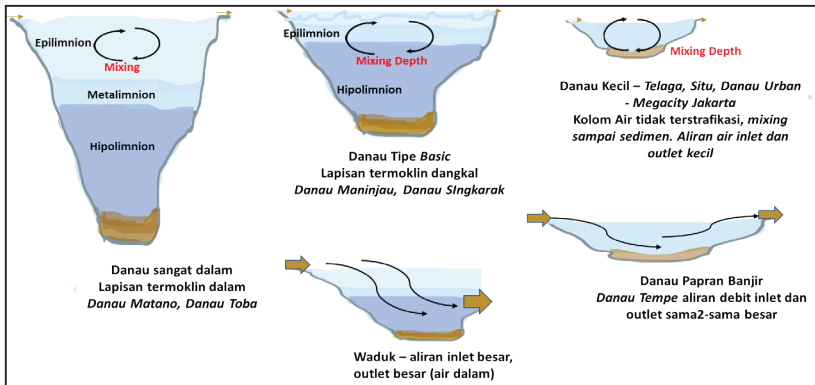


Sumber: Modifikasi Likens (2010)

Gambar 2.2 Ilustrasi Proses Biogeokimia Ekosistem Danau

Bentuk danau yang mengatur struktur lapisan termoklin/ oksiklin dan pola pengadukan pada setiap tipe danau menentukan proses mana yang berperan pada siklus biogeokimia elemen (Gambar 2.3). Pada danau besar dan sangat dalam yang terstratifikasi permanen dengan lapisan oksiklin yang dalam, proses metabolisme yang dominan mengatur perubahan elemen kualitas air danau (Crowe, Maresca, dkk., 2014; Friese dkk., 2021; Jones dkk., 2011; Lewis, 2010; Vuillemin dkk., 2018). Danau dengan sirkulasi air cepat, seperti pada danau dangkal dan danau paparan banjir, aliran massa lebih memengaruhi perubahan elemen, baik komposisi dan konsentrasi elemen akibat aliran air masuk atau air keluar maupun deposisi atau pertukaran gas dari

atmosfer (Aisyah dkk., 2018; Henny dkk., 2014; Lewis, 2010). Struktur geokimia batuan dan mineral tanah di area sekeliling, sedimen danau, serta beban polutan merefleksikan spesies kimia elemen dominan dari konstituen kualitas air danau (Henny, 2018a; Henny & Susanti, 2009; Nomosatryo dkk., 2021, 2023).



Keterangan: Kategori danau berdasarkan tipe pengadukan dan aliran air yang akan membedakan proses biogeokimianya

Sumber: Modifikasi Lewis (2010)

Gambar 2.3 Ilustrasi Kategori Danau Berdasarkan Tipe Pengadukan dan Aliran Air

Pada siklus biogeokimia di danau, proses metabolisme yang dimediasi oleh bakteri atau mikroorganisme lainnya merombak senyawa organik menjadi spesies senyawa anorganik terlarut, atau spesies bentuk gas yang akan mengalami transformasi lebih lanjut, atau disintesis menjadi senyawa organik kembali pada kondisi oksik ataupun anoksik (Crowe dkk., 2007; Jones dkk., 2011; Lewis, 2010; Likens, 2010). Siklus elemen ini akan terus berlangsung secara alami di dalam lapisan kolom air danau yang oksik dan anoksik. Proses metabolisme pada kondisi oksik berkaitan dengan proses perombakan dan transformasi senyawa,

biasa dikenal sebagai respirasi aerobik, sedangkan pada kondisi anoksik dikenal sebagai respirasi anaerobik (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Ringkasan Proses Metabolisme pada Ekosistem Danau

Proses Metabolisme	Sumber Energi	Mediator Tanaman	Mediator Fitoplankton Cyanobacteria	Mediator Bakteri	Kondisi Lingkungan di Danau
Fotosintesis Aerobik	Sinar Matahari	Iya	Iya	Tidak	Universal, Fotik, Oksik
Fotosintesis Anaerobik	Sinar Matahari	Tidak	Tidak	Khusus - Autotrofik	Kadang-kadang, Fotik, Anoksik
Kemosintesis Aerobik	Oksidasi inorganik	Tidak	Tidak	Khusus - Autotrofik	Umum, Lapisan Oksik/anoksik
Respirasi Aerobik	Oksidasi organik	Tidak	Iya	Iya - Heterotrofik	Universal, Oksik
Respirasi Anaerobik	Reduksi inorganik atau organik	Tidak	Tidak	Iya - Autotrofik atau Heterotrofik	Umum, Lapisan Oksik/anoksik

Sumber: Likens (2010)

Danau merupakan *hotspot* siklus biogeokimia di alam terutama untuk siklus C. Hal ini karena karbon merupakan sumber makanan bagi mikroba dalam mentransformasi elemen lainnya, seperti N, P, S. Bahkan juga pada logam (besi) Fe dan mangan (Mn) yang umumnya melimpah di sedimen danau. Danau mengontrol keseimbangan karbon regional dan global (Crowe dkk., 2007; Likens, 2010). Selain karbon, oksigen berperan penting pada proses biogeokimia dalam menentukan spesies kimia pada konstituen kualitas air danau. Oksigen merupakan indikator kunci kualitas air yang baik dalam mendukung kehidupan biota danau atau ekosistem yang sehat. Apabila proses biogeokimia terjadi pada kondisi oksik atau respirasi aerobik, bakteri menggunakan oksigen sebagai pengoksidasi dalam merombak senyawa organik atau mentransformasi senyawa anorganik untuk menghasilkan energi.

Sebagai contoh, senyawa organik karbon akan dirombak secara sempurna oleh bakteri menjadi senyawa H_2O dan CO_2 . Senyawa ini bisa disintesis kembali oleh alga/tanaman menjadi senyawa organik dalam bentuk sel alga/tanaman pada proses fotosintesis, dan/atau teremis ke atmosfer (Crowe dkk., 2007; Lewis, 2010; Likens, 2010). Respirasi aerobik senyawa anorganik di danau yang utama adalah transformasi senyawa amonia menjadi nitrat. Oleh karena itu, danau yang menerima beban organik karbon dan nitrogen yang melebihi daya dukung bisa menghabiskan kandungan oksigen dengan cepat dan menyebabkan kondisi danau anoksik atau kehabisan oksigen (Fukushima dkk., 2017; Henny & Nomosatryo, 2016).

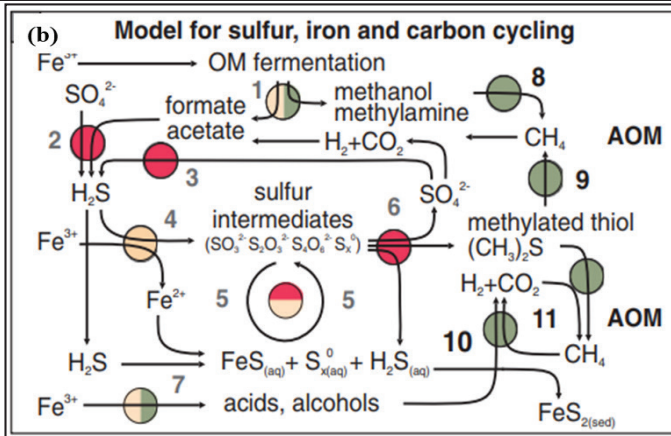
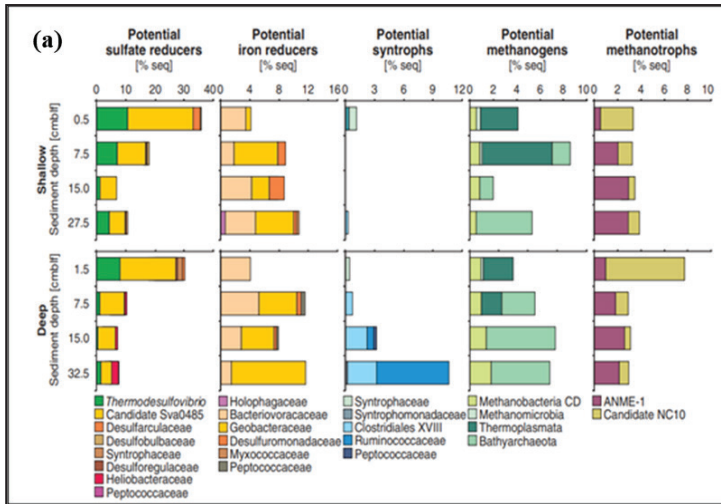
Sebaliknya, pada kondisi anoksik, proses biogeokimia danau didominasi oleh proses perombakan atau respirasi secara anaerobik. Sebagai pengganti oksigen pada perombakan senyawa organik atau transformasi senyawa anorganik, mikroba menggunakan senyawa non oksigen untuk menghasilkan energi, antara lain sulfat (SO_4) (Crowe dkk., 2007; Crowe, Paris, dkk., 2014; Henny & Nomosatryo, 2012a, 2012b), nitrat (NO_3) (Likens, 2010), fosfat (PO_4) (Henny & Nomosatryo, 2012b; Yao dkk., 2016) mangan oksida (MnO) (Jones dkk., 2011), dan besi oksida (Fe_2O_3) (Bray dkk., 2017; Friese dkk., 2020; Kopf dkk., 2013). Pada kondisi anoksik senyawa organik karbon umumnya tidak dirombak secara sempurna sehingga memicu pembentukan senyawa toksik dan berbahaya, seperti amonia dan sulfida (Henny & Nomosatryo, 2012a, 2016), serta gas N_2 , CO_2 , dan metan (CH_4) (Crowe dkk., 2021; Friese dkk., 2021; Likens, 2010; Sturm dkk., 2019). Gas CO_2 dan CH_4 merupakan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

gas rumah kaca pemicu pemanasan global (Crowe dkk., 2011; Ohba dkk., 2022). Kondisi danau yang anoksik mengindikasikan kualitas air danau yang tidak sehat dan berbahaya terhadap kehidupan biota danau (Henny, 2015).

Kebutuhan senyawa karbon, pengoksidasi oksigen ataupun non oksigen menentukan alur metabolisme dan jenis komunitas mikroorganisme yang memediasi proses biogeokimia (Bray dkk., 2020; Friese dkk., 2021; Likens, 2010; Vuillemin dkk., 2016, 2018). Alur metabolisme dan komunitas mikrob yang berperan merupakan karakteristik utama biogeokimia danau yang menentukan laju metabolisme. Laju metabolisme ini menggambarkan kapasitas daya pulih danau yang akan menentukan komposisi dan bentuk spesies kimia elemen kualitas air spesifik pada setiap tipe danau (Tabel 2.1, Gambar 2.4).

Karakteristik biogeokimia yang penting lainnya adalah keberadaan senyawa sulfida di lapisan hipolimnion yang anoksik. Sulfida mampu mengontrol pergerakan kandungan logam berbahaya sehingga menyebabkan hilangnya kandungan logam esensial yang dibutuhkan organisme. Hal lain yang penting bahwa sulfida menjadi penyebab pelepasan senyawa fosfat kembali dari sedimen ke lapisan air permukaan, yaitu dengan menggantikan ikatan P pada mineral Fe dan Mn membentuk mineral Fe-Mn-S. Mineral Fe dan Mn oksida diketahui sebagai pengontrol senyawa fosfat agar tidak terbebas di dalam lapisan air. Pelepasan P dari sedimen merupakan sumber fosfor dari beban internal danau yang sulit dikontrol. Selain itu, pelepasan P dari sedimen menjadi parameter kunci pemicu eutrofikasi



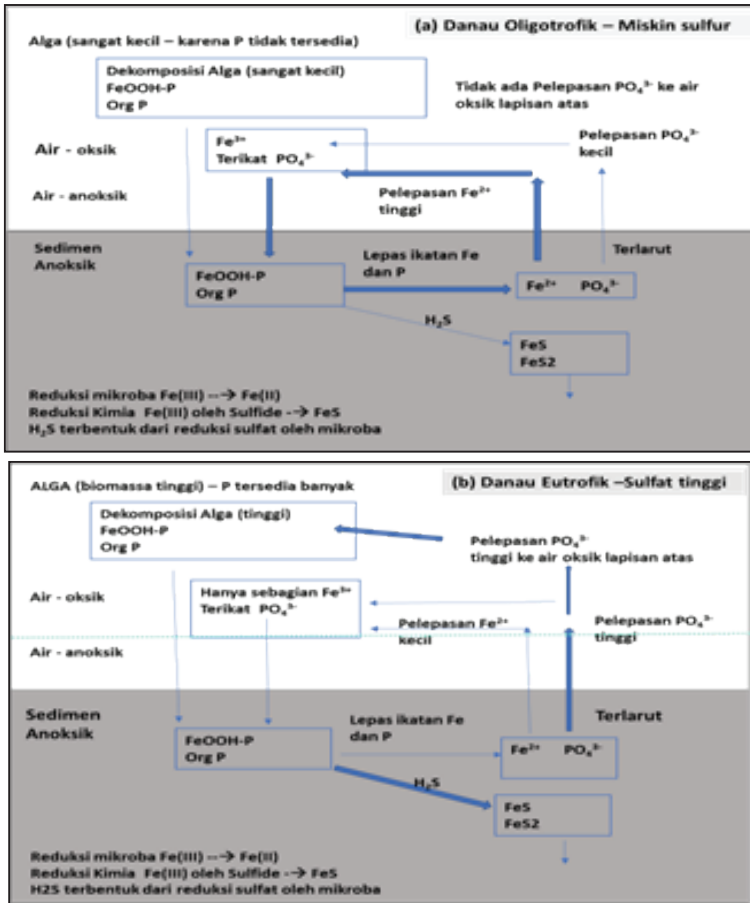
Keterangan: (a) Kelimpahan relatif dari komunitas mikroba dan potensi metabolisme yang berperan pada siklus biogeokimia sulfur (S), besi (Fe), dan karbon (C) di Danau Towuti, (b) Diagram alur metabolisme dari siklus biogeokimia S, Fe, dan C di Danau Towuti.

Sumber: Vuillemin dkk., (2018)

Gambar 2.4 Potensi Metabolisme Komunitas Mikroba pada Sedimen Kaya Senyawa Besi (*ferruginous*) Danau Towuti

danau. Perbedaan karakteristik biogeokimia terhadap profil fosfat, besi, dan sulfida membedakan status trofik pada danau tektonik (Danau Matano dan Danau Singkarak) dan danau vulkanik (Danau Toba dan Danau Maninjau). Skenario proses pelepasan fosfat dari sumber internal danau berdasarkan tinggi rendahnya kandungan Fe, Mn, dan sulfida, serta risiko terhadap eutrofikasi danau ditampilkan pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6 (Henny dkk., 2021; Lehtoranta dkk., 2009). Keberadaan besi, mangan, dan sulfida merupakan karakteristik biogeokimia yang merefleksikan kapasitas penjerap/pelepas fosfor danau. Hal ini juga untuk mengontrol sumber internal fosfor dan mencegah eutrofikasi danau (Henny dkk., 2021; Henny & Nomosatryo, 2012b; Lehtoranta dkk., 2009).

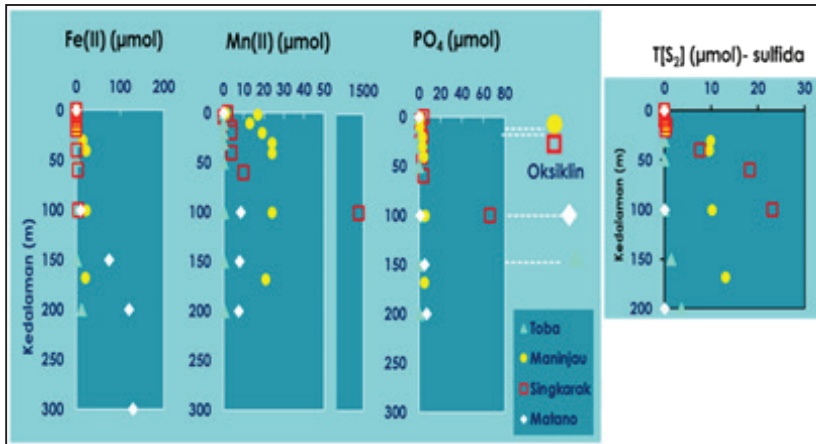
Selain kapasitas metabolisme, proses biogeokimia pembentukan mineral (diagenesis), baik secara geokimia maupun biomineralisasi dan disolusi/pelapukan mineral berperan penting dalam mengontrol pergerakan elemen. Senyawa dalam bentuk padatan/mineral umumnya terendap pada sedimen danau, sedangkan senyawa dalam bentuk ion akan terlarut di kolom air. Mineral fosfat atau logam sulfida dalam bentuk padatan akan terakumulasi pada sedimen. Akan tetapi, proses pelapukan mineral dan transformasi logam menyebabkan fosfat dan elemen logam tertentu terlarut kembali di kolom air. Hal ini akan memengaruhi kandungan konstituen kualitas air danau (Bauer dkk., 2020; Friese dkk., 2021; Vuillemin dkk., 2020; Davidson dkk., 2021).



Keterangan: (a) Contoh pada danau yang sangat dalam miskin sulfat/sulfida, kaya elemen besi, danau cenderung oligotrofik (Danau Matano dan Danau Toba), (b) Contoh pada danau dengan kandungan sulfat/sulfida tinggi (Danau Maninjau, Danau Singkarak), danau cenderung rentan mengalami eutrofikasi.

Sumber: Henny dkk. (2021); Modifikasi Lehtoranta dkk. (2009)

Gambar 2.5 Siklus besi, sulfat, dan fosfor tentang pelepasan fosfor dari beban internal (sedimen danau) menentukan status trofik danau.

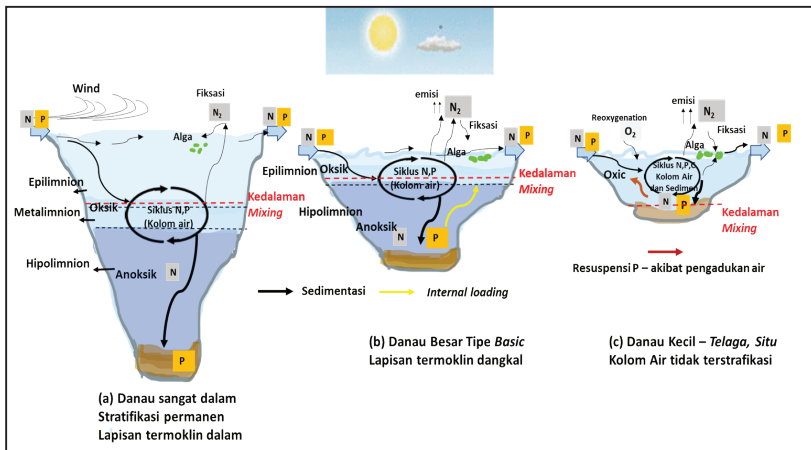


Sumber: Henny dkk. (2021)

Gambar 2.6 Profil Fe (II), Mn (II), PO₄, dan sulfida (S₂) di Danau Matano, Toba, Maninjau, dan Singkarak

Siklus biogeokimia nutrien (N dan P) merupakan pengatur penting proses biogeokimia pada proses fotosintesis terutama oleh alga dan menjadi faktor pengendali status trofik danau dan eutrofikasi danau. Gambar 2.7 menampilkan skenario siklus biogeokimia N dan P pada tiga tipe danau dengan kedalaman termoklin/oksiklin dan tipe pengadukan (*mixing*) yang berbeda sehingga memengaruhi ketersediaan dan keterbatasan N dan P. Tinggi rendahnya rasio N:P juga memengaruhi status trofik dan kerentanan danau terhadap eutrofikasi. Danau dengan N sebagai pembatas, tetapi P melimpah akan sangat rentan terhadap eutrofikasi danau. Pada kondisi N dan P sama-sama menjadi pembatas, eutrofikasi danau juga ditemukan. Hanya danau dengan P yang sangat terbatas maka tidak mengalami eutrofikasi dan kualitas air terjaga dengan integritas tinggi. Oleh karena itu,

untuk mengontrol P, baik dari sumber eksternal maupun internal sangat penting dalam usaha mitigasi eutrofikasi danau (Qin dkk., 2020).



Keterangan: (a) Danau dengan pola pengadukan hanya pada lapisan atas epilimnion, pertukaran elemen, baik nitrogen (N) maupun fosfor (P) hanya terjadi di dalam lapisan air danau pada lapisan oksiklin, dan sangat kecil terlepas ke udara atau keluar danau; P hampir sebagian besar terendapkan pada sedimen, danau cenderung dengan P terbatas sehingga terjaga dengan kualitas air yang baik (oligotrofik), dan tidak rentan mengalami eutrofikasi (Contoh untuk Danau Matano dan Toba), (b) Danau sering mengalami pengadukan, elemen N dan P sering terlepas ke air permukaan dari lapisan hipolimnion yang anoksik dan kandungan cenderung nutrisi tinggi, danau sangat rentan mengalami eutrofikasi (contoh untuk Danau Maninjau dan Danau Singkarak), (c) P sangat melimpah pada lapisan air permukaan dari sumber internal (sedimen), sedangkan N menjadi terbatas karena banyak terlepas ke atmosfer, dan danau lebih rentan mengalami eutrofikasi (contoh telaga dan danau urban di Megakota Jakarta).

Sumber: Modifikasi Lewis (2010); Henny dan Nomosatryo (2012a, 2012b, 2016)

Gambar 2.7 Ilustrasi siklus nutrisi pada tiga tipe danau dengan kedalaman *mixing* (pengadukan) yang berbeda dan kerentanan mengalami eutrofikasi.

Faktor-faktor seperti suhu, cahaya (radiasi matahari), pH, dan beban polutan, yaitu nutrien, bahan organik, dan polutan lainnya, bisa mengganggu keseimbangan proses biogeokimia dan laju proses metabolisme. Hal ini akan berdampak pada perubahan kualitas air. Danau tropis dengan suhu dan intensitas cahaya matahari yang tinggi, laju reaksi metabolisme secara aerobik bisa 2–5 kali lebih besar dan secara anaerobik mencapai 10 kali lebih besar daripada danau subtropis. Tinggi rendahnya laju reaksi metabolisme dan laju pergerakan elemen pada siklus biogeokimia dari setiap elemen mencerminkan kapasitas daya pulih danau atau dikenal sebagai daya dukung danau. Daya dukung ini akan menentukan respons setiap ekosistem danau terhadap gangguan eksternal dalam mengatur kondisi kualitas air danau (Lewis, 2010). Karakteristik kualitas air berbagai tipologi danau besar alami Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Karakteristik Umum dan Kualitas Air Danau-Danau di Indonesia

No. Lake	Lokasi	Altitud (m)	Area (ha)	Kedalaman Maksimum (m)	Tipologi	Secchi (m)	Nutrien (Status Trofik)
1 Laut Tawar	Aceh	1,126	5,500	80	Tektonik	1 - 3	Meso-Eutrofik
2 Toba	Sumatra Utara	906	112,970	508	Tektono-vulkanik	8 - 9	Oligotrofik
3 Maninjau	Sumatra Barat	463	9,950	168	Tektono-vulkanik	1 - 2	Eutrofik
4 Singkarak	Sumatra Barat	364	13,011	270	Tektonik	2.5	Meso-Eutrofik
5 Diatas	Sumatra Barat	1,531	1,230	44	Tektonik	2.5	Meso-Oligotrofik
6 Dibawah	Sumatra Barat	1,462	1,120	309	Tektonik	10	Oligotrofik
7 Kerinci	Jambi	783	4,200	110	Volkanik	3 - 3.5	Oligo - Mikrofit
8 Siak Besar (Danau Gambut)	Riau	10	2,416	6 - 15	Paparan Banjir	-	Meso-Oligotrofik
9 Ranau	Lampung-Sumatra Selatan	543	12,500	229	Volkanik	5 - 7	Meso-Oligotrofik
10 Rawa Danau	Banten	115	250	13	Volkanik	1	Eutrofik
11 Menjer	Jawa Tengah	1300	70	52	Volkanik	1	Eutrofik
12 Rawa Pening	Jawa Tengah	463	2,500	4 - 5	Tektono-vulkanik	1	Eutrofik-Mikrofit
13 Ranu Grati	Jawa Timur	10	198	134	Volkanik	1	Eutrofik
14 Batur	Bali	1,031	1,590	91	Volkanik	2.3	Eutrofik
15 Buyan	Bali	1,214	390	30	Volkanik	2.1	Eutrofik
16 Bratan	Bali	1,231	380	23	Volkanik	4	Meso-Eutrofik
17 Tamblingan	Bali	1,217	160	90	Volkanik	2 - 3	Meso-Eutrofik
16 Segara Anak	Lombok	2,030	1,125	160	Volkanik	-	-

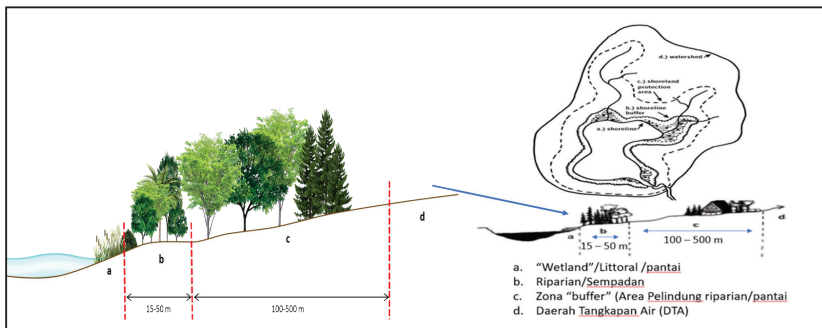
No.	Lake	Lokasi	Altitud (m)	Area (ha)	Kedalaman Maksimum (m)	Tipologi	Secchi (m)	Nutrien (Status Trofik)
17	Kelimutu	Flores	1,410	40	60	Volkanik	-	-
18	Semayang-Melintang-Jempang	Kalimantan Timur	2	39,000	2 - 4	Paparan Banjir	0,3	Distrofik
19	Sentarum	Kalimantan Barat	35 - 50	132,000	6 - 14	Paparan Banjir	0.60	Distrofik
20	Tondano	Sulawesi Utara	600	5,000	20	Volkanik	1 - 3	Eutrofik-Mikrofit
21	Limboto	Gorontalo	25	5,600	2 - 3	Paparan Banjir	0.5	Eutrofik-Mikrofit
22	Lindu	Sulawesi Tengah	1000	3,200	70 - 100	Tektonik	6	Oligotrofik
23	Poso	Sulawesi Tengah	485	32,320	450	Tektonik	6	Oligotrofik
24	Matano	Sulawesi Selatan	350	164,100	590	Tektonik	18 - 20	Oligotrofik
25	Mahalona	Sulawesi Selatan	350	2,440	73	Tektonik	>10	Oligotrofik
26	Towuti	Sulawesi Selatan	350	56,100	203	Tektonik	14 - 15	Oligotrofik
27	Tempe	Sulawesi Selatan	6	35,000	9	Paparan Banjir	0.3	Eutrofik
28	Tolire	Ternate	1,715	7,600	43	Volkanik	1.4	-

Sumber: Giesen (1994); Lehmusluoto dkk., (1997); Lukman dkk., (2018)

2. Lanskap Danau

Lanskap danau merupakan area dengan tutupan vegetasi dalam hal ini yang harus terjaga secara alamiah adalah area riparian, yaitu area litoral dan sempadan, mulai garis pantai sampai area transisi; dan area tansisi sebagai zona pelindung (*buffer zone*) dan DTA (Henny & Kurniawan, 2020; Likens, 2010). Persentase tutupan vegetasi lahan dan struktur vegetasi pada area riparian dan DTA mengindikasikan besar kecilnya pengaruh dan dampak beban polutan terhadap integritas kualitas air danau (Henny & Meutia 2014c; Kurniawan & Henny, 2016a, 2016b; Henny,

2018a). Idealnya lanskap danau sebagai zona perlindungan ekosistem danau meliputi zona lindung area pantai/litoral (batas tinggi air bertemu daratan) yang ditumbuhi tanaman *wetland* (tanaman air – muncul (*emergent*), terendam (*submerged*), mengapung (*floating*), dan daun mengapung (*floating leave*)); area riparian sempadan mulai dari garis pantai atau pinggiran danau dengan tipe vegetasi tanaman semak (tanaman lokal), rumputan, dan tanaman pohon; dan zona transisi (*buffer*) berupa tanaman pohon (Gambar 2.8) (Cappiella & Schueler, 2001; Henny & Kurniawan, 2020). Zona *wetland* danau dengan vegetasi tanaman air lengkap terutama dilihat dari keberadaan tanaman terendam. Oleh karena itu, struktur vegetasi dan keberadaan tanaman air mempunyai peranan penting untuk menjaga keseimbangan proses biogeokimia danau dalam mencegah polutan dan menjaga kualitas air yang jernih untuk jangka panjang.



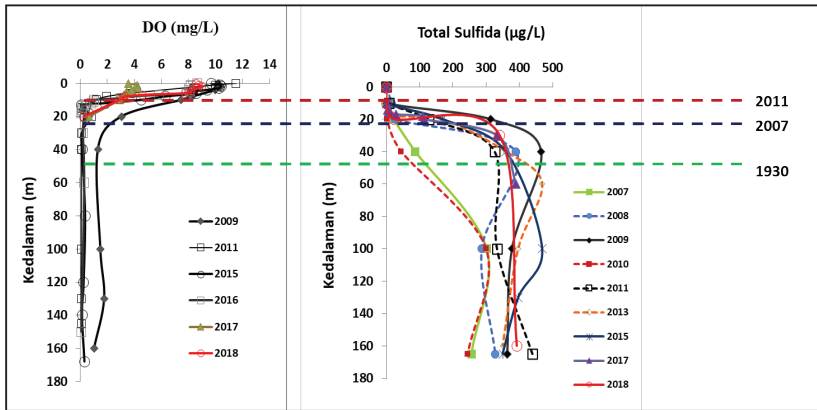
Sumber: Cappiella dan Schueller (2001); Henny (2018a)

Gambar 2.8 Struktur Vegetasi Tutupan Area *Wetland* (*Littoral*) dan Riparian dan Kriteria Empat Zona Pelindung Ekosistem Danau

B. Dampak Antropogenik dan Perubahan Iklim

Sumber polutan bisa berasal dari deposisi atmosfer, limpasan dari DTA, dan buangan limbah langsung ke badan air danau. Aktivitas antropogenik yang merupakan sumber titik polutan langsung adalah input dari limbah domestik dan aktivitas budi daya ikan KJA (Henny, 2015). Aktivitas antropogenik yang merupakan sumber nontitik polutan termasuk perubahan atau hilangnya lanskap danau (riparian area) dan DTA untuk pemanfaatan lahan oleh permukiman, pertanian, dan pertambangan (Henny & Fakhrudin, 2019; Lukman dkk., 2018; Sulastri dkk., 2016). Dampak aktivitas antropogenik berkontribusi kepada pencemaran air danau berupa penambahan beban polutan ke badan air danau yang akan mengubah konstituen dan kandungan kualitas air. Peningkatan polutan bahan karbon organik contohnya, mampu meningkatkan laju metabolisme dan memicu kondisi kehabisan oksigen danau dan terdifusinya sulfida naik ke lapisan air permukaan sehingga mengubah profil kedalaman lapisan termoklin/oksiklin (Henny & Nomosatryo, 2016). Danau Maninjau mengalami perubahan lapisan termoklin/oksiklin dari kedalaman 50 m tahun 1930 pada saat masih alami (*pristine*) (Ruttner, 1931) dan setelah terjadi pencemaran oleh aktivitas budi daya ikan KJA yang naik terus sampai ke kedalaman 10 m sejak 2011 (Gambar 2.9). Peningkatan kandungan nutrisi danau menimbulkan permasalahan eutrofikasi danau. Kondisi status trofik Danau Maninjau terus berubah dari status oligotrofik pada 1930 (Ruttner, 1931) ke status eutrofik bahkan sering mengalami kondisi hipereutrofik dalam periode 20 tahun terakhir (Gambar 2.10) (Henny & Fakhrudin, 2019; Henny & Nomosatryo,

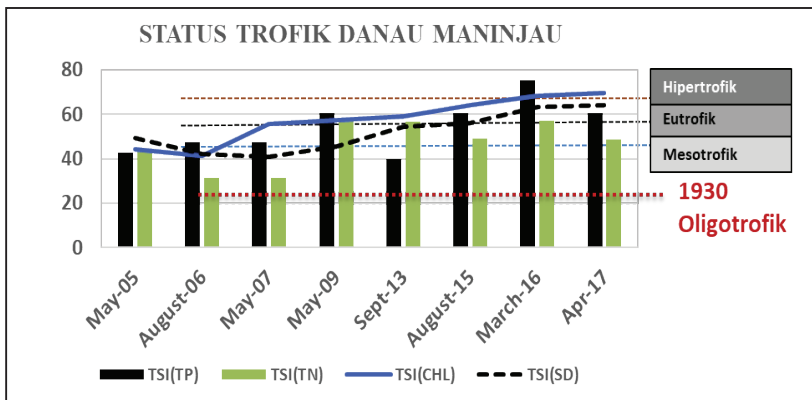
2016). Aktivitas antropogenik meningkatkan senyawa polutan berbahaya dan menghambat proses biogeokimia (Henny & Satria, 2009; Ibrahim dkk., 2022; Lukman dkk., 2018).



Keterangan: Perubahan kedalaman kandungan oksigen terlarut dan sulfida pada Danau Maninjau yang berdampak pada kenaikan lapisan oksiklin ke permukaan

Sumber: Henny dan Fakhruddin (2019); Henny dan Nomosatryo (2016); Ruttner (1931)

Gambar 2.9 Perubahan *Long-Term* Profil Kedalaman Kandungan Oksigen Terlarut dan Sulfida



Sumber: Henny & Fakhruddin (2019); Henny & Nomosatryo (2016); Ruttner (1931)

Gambar 2.10 Perubahan Status Trofik di Area Terdalam Danau Maninjau dari 2005–2017

Dampak perubahan iklim mungkin bukan penyebab utama permasalahan kualitas air danau, tetapi menambah kompleksitas permasalahan kualitas air danau. Peningkatan suhu mempercepat laju metabolisme yang memicu eutrofikasi dan menyebabkan penumpukan senyawa yang tidak diinginkan. Curah hujan ekstrem meningkatkan debit air limpasan dari area DTA yang membawa berbagai macam polutan masuk ke danau (Henny dkk., 2016; Henny & Triyanto, 2011). Dampak perubahan iklim berupa cuaca ekstrem dengan intensitas hujan tinggi dan angin kencang bisa menyebabkan pengadukan air danau dan mendorong lapisan air hipolimnion yang anoksik dan mengandung gas beracun, seperti sulfida dan amonia, ke lapisan air permukaan dan sering memicu terjadinya fenomena kematian massal di danau dan waduk yang terdapat aktivitas KJA (Henny, 2015; Henny & Fakhrudin, 2019).

III. PERKEMBANGAN RISET TENTANG PENGELOLAAN KUALITAS AIR DANAU DI INDONESIA

A. Riset Kualitas Air Danau

Awal perkembangan penelitian kualitas air danau di Indonesia dimulai pada masa kolonial Belanda melalui ekspedisi danau atau dikenal dengan “Ekspedisi Sunda” yang dilakukan oleh Ruttner periode tahun 1928–1929. Pengamatan kualitas air danau di Indonesia yang dilakukan pertama kali di beberapa danau di Pulau Sumatra, Jawa, dan Bali sudah mencakup morfometri danau, karakteristik limnologi, dan stratifikasi danau berdasarkan termoklin/oksiklin, serta menampilkan profil kedalaman beberapa kandungan elemen spesifik biogeokimia danau (Ruttner, 1931).

Setelah periode kemerdekaan negara Republik Indonesia, pengembangan wilayah untuk pembangunan dan ekonomi yang mencakup area perairan termasuk danau, telah menimbulkan permasalahan terhadap eksistensi dan kualitas air danau akibat pencemaran. Kepedulian terhadap perairan Indonesia sebagai SDA yang penting, namun sudah mengalami degradasi terutama terhadap kualitas airnya diwujudkan dengan berdirinya Pusat Penelitian dan Pengembangan Limnologi (P3L) LIPI pada tahun 1986. Pada periode sejak 1987 sampai dengan sekarang, riset tentang danau dan pengelolaannya termasuk kualitas air terus

Buku ini tidak diperjualbelikan.

berkembang, baik dari fokus topik-topik riset maupun lokus kegiatan yang mencakup hampir semua tipe danau yang tersebar di seluruh kepulauan di Indonesia. Kompleksnya permasalahan kualitas air danau menuntut riset-riset yang lebih fokus untuk meningkatkan pemahaman terhadap karakteristik dan dinamika kualitas air akibat pencemaran (Henny, Rohaningsih, Suryono, Santoso, dkk., 2023; Henny, Rohaningsih, Suryono, Sudarso, dkk., 2023; Henny & Nomosatryo, 2016; Henny, 2018a; Ibrahim dkk., 2022; Melati & Henny, 2018), dampak aktivitas antropogenik, dan perubahan iklim (Henny & Triyanto, 2011; Lukman dkk., 2018; Soeprobowati, Suedy, Hadiyanto, dkk., 2018).

Riset-riset untuk meningkatkan pemahaman terhadap eutrofikasi danau, antara lain kajian terhadap dinamika senyawa nitrogen dan fosfor sebagai parameter kunci pemicu eutrofikasi danau dan pengaruhnya terhadap dinamika komunitas fitoplankton dan alga beracun (Adhar dkk., 2022; Sulastri dkk., 2020; 2022; Sulastri, Henny, & Santoso, 2019), penutupan permukaan danau oleh tanaman invasif (Sulastri dkk., 2016), serta perubahan status trofik dan kualitas air danau jangka panjang (Henny & Fakhrudin, 2019; Henny & Nomosatryo, 2016).

B. Riset Biogeokimia tentang Kualitas Air Danau

Perkembangan kemajuan riset dalam kontribusi keberlanjutan ilmiah terhadap karakteristik biogeokimia sebagai pengatur kualitas air danau dilakukan melalui kolaborasi riset peneliti

Pusat Penelitian Limnologi (P2L)-LIPI dengan peneliti asing dari mancanegara, antara lain Jepang, Kanada, Jerman, Swiss, dan Amerika Serikat. Riset biogeokimia yang difokuskan di Danau Matano, Towuti, dan Sentani telah banyak menghasilkan temuan-temuan baru, antara lain proses biogeokimia dominan yang mengatur kualitas air danau, seperti geokimia DTA (Crowe dkk., 2007; Nomosatryo, Tjallingii, Schleicher, dkk., 2021; Nomosatryo, Tjallingii, Henny, dkk., 2023), rekaman geokimia sedimen (Bauer dkk., 2020; Ordoñez dkk., 2019; Vuillemin dkk., 2019, 2020), mikrobiologi dan geomikrobiologi (Bray dkk., 2017, 2020; Finke dkk., 2019; Hempel dkk., 2019; Vuillemin dkk., 2017), dan alur metabolisme (Crowe, Maresca, dkk., 2014; Friese dkk., 2020; Vuillemin dkk., 2016, 2018; Yao dkk., 2016).

Eksplorasi Danau Towuti melalui *Towuti Drilling Project* pada tahun 2015–2017 merupakan kolaborasi riset peneliti mancanegara dengan peneliti P2L-LIPI. Eksplorasi ini melakukan pengeboran untuk mendapatkan sampel *sediment core* dengan ketebalan sampai kedalaman 150 m untuk pengembangan riset biogeokimia, paleolimnologi, evolusi biologi, dan paleoklimat. Proksi biogeokimia pada *sediment core* digunakan untuk merekonstruksi kondisi biogeokimia danau dan pengaruh iklim, serta kejadian bencana alam pada masa lampau (Russell dkk., 2016; Vuillemin dkk., 2023). Rekaman sedimen danau sampai ketebalan 150 m memperkuat dan mendukung temuan riset biogeokimia sebelumnya yang hanya melihat rekaman sedimen dengan ketebalan < 2 m, yaitu bahwa mineral dari deposit sedimen Danau Towuti merupakan mineral yang ditemukan pada zaman purba *Precambrian Eon* ribuan juta tahun yang lalu

Buku ini tidak diperjualbelikan.

pada masa awal terbentuknya bumi (Vuillemin dkk., 2023). Riset biogeokimia dan kaitannya dengan paleolimnologi di beberapa danau oleh peneliti Indonesia lainnya mampu mengungkapkan sejarah dampak antropogenik dari masa lampau (Soeprbowati, Suedy, Hadiyanto, dkk., 2018; Soeprbowati dkk., 2023; Soeprbowati, Suedy, & Hadiyanto, 2018). Riset biogeokimia terhadap beberapa tipe danau menunjukkan bahwa geokimia DTA dan aktivitas antropogenik memengaruhi kualitas air Danau Sentani (Nomosatryo dkk., 2021, 2023), danau urban (Henny & Meutia, 2014a), DBT (Henny, 2011), dan danau paparan banjir (Aisyah dkk., 2018).

Riset biogeokimia danau juga mengungkapkan perbedaan karakteristik biogeokimia yang memengaruhi kualitas air pada danau besar purba dengan umur yang sangat tua dan danau besar pada era modern dengan umur lebih muda (Friese dkk., 2021). Riset biogeokimia danau-danau bekas tambang (DBT) di Pulau Bangka dan Belitung yang merupakan danau buatan relatif baru juga menggarisbawahi bagaimana geokimia tanah DTA danau dan umur danau sangat menentukan karakteristik dan dinamika kualitas air danau yang mempunyai pH cenderung asam dan kandungan beberapa logam berat yang tinggi (Henny, 2011a, 2018a).

Riset terhadap biogeokimia sulfida dan hubungannya dengan dinamika fosfor di Danau Maninjau merupakan kontribusi ilmiah dalam menjawab permasalahan eutrofikasi dan kematian ikan terutama di danau-danau dengan tipe vulkanik (Henny, 2009, 2015; Henny & Nomosatryo, 2012a, 2016). Eutrofikasi dan fenomena kematian ikan yang sering terjadi di danau dan

waduk yang dimanfaatkan untuk budidaya ikan KJA juga melatarbelakangi riset-riset biogeokimia terhadap dinamika nutrisi terutama fosfor dan oksigen di danau (Henny & Fakhruddin, 2019; Henny & Nomosatryo, 2016; Lukman dkk., 2018).

C. Riset Perbaikan Kualitas Air Danau

Sebagai bagian dari strategi pengelolaan kualitas air danau yang sudah tercemar, peneliti juga melakukan riset tentang teknologi pengolahan air limbah dan perbaikan kualitas air danau yang tercemar nutrisi dan bahan organik. Lanskap riparian danau dengan komposisi vegetasi yang beragam mampu menjaga kualitas air, menurunkan beban polutan, dan mendukung keseimbangan proses biogeokimia di area litoral (Henny & Kurniawan, 2020; Henny & Meutia, 2014c; Henny, 2018a)

Riset inovasi teknologi remediasi untuk perbaikan kualitas air terus dikembangkan. Riset dilakukan secara kimia dan biologi, antara lain untuk pengolahan limbah logam (Davidson dkk., 2021; Henny, 2008; Henny dkk., 2010; Kurniawan dkk., 2022; Susanti, Oktaviyani & Henny, 2012); kajian ekoteknologi seperti *constructed treatment wetland* (CTW) menggunakan berbagai jenis tanaman, antara lain *Canna indica*, *Heliconia* sp., *Cyperus papyrus*, *Echinodorus palaefolius*, dan *Vetiveria zizanioides* untuk penyisihan beban polutan, organik karbon, padatan tersuspensi, nutrisi, limbah budi daya ikan intensif (Henny, 2018b; Susanti dkk., 2019); dan limbah industri seperti limbah tekstil (Henny dkk., 2022a; Rohaningsih dkk.,

2023). *Constructed floating wetland* (CFW) yang merupakan sistem perbaikan kualitas air yang inovatif menggunakan tanaman pada media apung mulai dikembangkan pada tahun 2016 sampai sekarang, baik pada skala laboratorium (Henny dkk., 2022d) maupun skala lapangan secara *in situ* di danau (Henny, Kurniawan, & Akhdiana, 2019; Henny, Kurniawan, & Suryono, 2019). Skala pilot CFW diintegrasikan dengan teknologi aerasi air mancur dan *ultra fine bubble* dibangun di Danau Maninjau pada tahun 2018 sebagai upaya mengatasi eutrofikasi, meningkatkan kandungan oksigen, dan kualitas air danau. Sistem aerasi mampu meningkatkan kandungan oksigen > 5 ppm dalam radius 5–10 m (Henny dkk., 2020; Sulastri dkk., 2020). CFW dan sistem aerasi meningkatkan oksigen dalam air sehingga mempercepat penyisihan polutan, proses perombakan polutan organik karbon dan transformasi nutrisi oleh bakteri, dan menjaga keseimbangan siklus biogeokimia dalam mengatur kualitas air danau.

D. Tantangan dan Arah Riset dalam Pengelolaan Kualitas Air Danau

Karakteristik biogeokimia memberikan gambaran kualitas air danau yang faktual. Sampai saat ini masih terbatas data-data tentang estimasi laju reaksi dari proses biogeokimia yang mengatur kandungan senyawa konstituen kualitas air, kapasitas penyisihan, dan daya pulih danau. Padahal data-data tersebut diperlukan sebagai input riset pemodelan. Tentunya, untuk mendukung akurasi model dalam mengestimasi beban polutan sesuai dengan kemampuan daya pulih danau untuk mencapai

Buku ini tidak diperjualbelikan.

target kualitas air danau yang baik dan mendukung ekosistem yang sehat (Lewis, 2010; Sunaryani dkk., 2018, Sunaryani dkk., 2021).

Ekosistem danau merupakan badan air yang tidak terlepas dari konektivitas dengan area DTA dan manusia sebagai pemanfaat yang berpengaruh terhadap respons dan ketahanan ekosistem danau. Kompleksnya hidrodinamika dan proses biogeokimia ditambah faktor dampak aktivitas antropogenik dan perubahan iklim di dalam sistem danau memengaruhi dinamika polutan dan kualitas air danau secara spasial. Pengembangan riset pemodelan sangat dibutuhkan dengan memperhitungkan semua variabel dari faktor tersebut di atas. Model numerik dua dimensi (2D) dan tiga dimensi (3D) merupakan model yang tersedia dan memungkinkan untuk memasukkan lebih banyak variabel dan proses biogeokimia. Model ini harus didukung dengan ketersediaan resolusi dan kualitas data pengamatan yang baik sehingga mampu menghasilkan simulasi model yang lebih baik. Simulasi ini untuk memberikan estimasi beban polutan yang akurat untuk mencapai target kualitas air danau yang diinginkan (Soranno dkk., 2010; Sunaryani dkk., 2018). Oleh karena itu, perlu pengembangan teknologi untuk pemutakhiran data secara *online* seperti pengembangan *online monitoring system*. Ketersediaan data jangka panjang berupa data-data *time series*, teknologi *remote sensing* untuk pengamatan terhadap indikator kualitas air, dan pengembangan sistem informasi dalam mendukung riset pemodelan kualitas air danau (Henny & Fakhruddin, 2019; Setiawan dkk., 2019).

Pengembangan teknologi inovasi yang lebih maju untuk perbaikan kualitas air melalui pendekatan biogeokimia seperti *advanced constructed treatment wetlands* dapat ditingkatkan efektivitasnya dengan menambahkan bakteri (Tara dkk., 2019), fungi (Melati dkk., 2023), dan bahan aktif lain (Henny dkk., 2010).

IV. KONTRIBUSI RISET BIOGEOKIMIA TERHADAP PEMAHAMAN KARAKTERISTIK KUALITAS AIR DANAU DI INDONESIA

Kontribusi riset biogeokimia danau sangat penting dalam memberikan pemahaman bahwa setiap tipe danau mempunyai karakteristik kualitas air yang spesifik dan unik. Ada tujuh kontribusi ilmiah penting terkait riset biogeokimia dalam meningkatkan pemahaman karakteristik kualitas air danau, sebagai berikut.

Pertama, hidrogeomorfologi danau menentukan karakteristik limnologi dari struktur lapisan air yang memengaruhi proses sirkulasi/pengadukan air di danau dan proses biogeokimia dalam mengatur siklus elemen konstituen kualitas air (Crowe dkk., 2007; Likens, 2010). Pada danau yang curam, sempit, dan sangat dalam sebagai contoh pada Danau Matano, atau pun tipe danau besar yang dalam, seperti Danau Toba dengan lapisan air berstratifikasi permanen, lapisan termoklin/oksiklin yang dalam > 100 m, pertukaran/siklus elemen hanya terjadi pada lapisan oksiklin dan hampir sebagian besar elemen akan terakumulasi di lapisan hipolimnion yang anoksik atau terdeposisi pada sedimen danau, dan hanya sangat kecil elemen terlarut terlepas di lapisan air permukaan atau ke atmosfer dalam bentuk gas. Danau-danau dengan tipe ini mempunyai kualitas air dengan integritas tinggi, hampir semua parameter kunci elemen kualitas air dengan kandungan sangat kecil, air sangat jernih, kandungan oksigen di

Buku ini tidak diperjualbelikan.

air permukaan yang tinggi dengan status bahkan ultra-oligotrofik dan penetrasi cahaya yang sangat dalam > 10 m (Gambar 2.7) (Crowe dkk., 2007; Fukushima dkk., 2023; Nomostroyo dkk., 2014).

Sementara itu, pada danau besar dan dalam yang sudah tercemar bahan organik dan nutrien, seperti Danau Singkarak, Danau Maninjau, dan danau besar lainnya yang lapisan termoklin dan oksiklin dangkal < 20 m, pengadukan bisa terjadi sampai pada lapisan air hipolimnion dalam yang anoksik. Pengadukan membawa senyawa kimia yang terakumulasi di lapisan air anoksik sehingga kandungan beberapa senyawa yang juga bersifat toksik, seperti gas sulfida, amonia dan fosfat menjadi sangat tinggi di air permukaan (Fukushima dkk., 2017; Henny & Nomosatryo, 2016; Setiawan dkk., 2019; Sulastri, Henny, & Santoso, 2019).

Sebaliknya, danau paparan banjir dan danau kecil umumnya mempunyai sirkulasi/pertukaran air yang cepat, pengadukan bisa mencapai dasar danau dan kontak dengan sedimen, serta kualitas air ditentukan oleh geokimia area DTA dan beban polutan dari limpasan dan aliran sungai. Kualitas air dipengaruhi oleh banjir musiman, pencucian dan pelapukan mineral, serta dekomposisi tanaman air yang mati. Danau paparan banjir dicirikan dengan tingginya kandungan partikulat tersuspensi, serta kandungan organik dan nutrien yang tinggi (Henny dkk., 2016; Lukman dkk. 2018; Sulastri dkk., 2016; Soeprbowati dkk., 2021). Danau paparan banjir seperti danau gambut dicirikan pada air berwarna kehitaman, tingginya kandungan asam humat, dan pH yang rendah (< 4) akibat dominasi tipe tanah humus (Henny dkk., 2014, 2016).

Danau urban dengan area DTA urban yang sangat luas dicirikan pada kandungan nutrien yang tinggi, sering mengalami eutrofikasi dan penutupan air permukaan dengan tanaman air invasif, serta kandungan logam dan bakteri patogen yang tinggi akibat tingginya beban polutan (Henny & Meutia, 2014a, 2014b). Sementara itu, danau bekas tambang (DBT) dicirikan dengan air yang asam ($\text{pH} < 3$), kandungan logam dan sulfat yang tinggi akibat pencucian mineral pada tanah area tambang (Henny, 2011a, 2018a; Henny & Susanti, 2009). Pada tipe danau dengan sistem aliran tertutup yang tidak mempunyai aliran masuk dan aliran keluar, dengan masa tinggal air yang tak berhingga, proses biogeokimia, kimia air tanah, dan air hujan berfungsi sebagai regulator karakteristik dan dinamika kualitas air. Hal ini terjadi pada Danau Batur dan DBT. Peningkatan kandungan senyawa kimia tertentu melebihi baku mutu akan terjadi akibat akumulasi beban polutan. Danau pada sistem ini sangat rentan terhadap beban polutan dan berisiko tinggi mengalami eutrofikasi (Henny, 2011a, 2018a; Henny dkk., 2008).

Kedua, beban kandungan organik di danau dan kandungan sulfur (sulfat) yang tinggi bisa memicu produksi senyawa sulfida yang tinggi di lapisan hipolimnion yang anoksik. Contohnya pada danau-danau vulkanik (Danau Maninjau, Batur, Tondano dan danau-danau di pegunungan Dieng) atau danau tektonik yang berada di area aktif vulkanik (Danau Singkarak). Danau dicirikan pada lapisan termoklin/oksiklin yang dangkal dan sangat rentan terhadap kondisi anoksia pada air permukaan akibat pengadukan air musiman (Fukushima dkk., 2018; Henny & Fakhrudin 2019; Henny & Nomosatryo, 2016; Henny dkk.,

2008; Soeprbowati dkk., 2021). Keberadaan gas sulfida > 2 $\mu\text{g/L}$ bersifat toksik terhadap biota akuatik. Kandungan total sulfida pada lapisan hipolimnion Danau Maninjau mencapai 500 $\mu\text{g/L}$, sedangkan di Danau Batur bisa mencapai > 1000 $\mu\text{g/L}$ (Henny, 2009; Henny & Nomosatryo, 2012a, 2016; Henny dkk., 2008). Danau sering kali mengalami kondisi anoksik dan eutrofikasi dengan kandungan P yang melimpah, berbau belerang, kualitas air yang buruk, dan terjadinya kematian ikan massal mendadak (Henny, 2009; 2015; Henny & Nomosatryo, 2016). Upaya mitigasi eutrofikasi danau atas kondisi danau yang anoksik adalah dengan membatasi beban polutan bahan organik dan menjaga kondisi oksik pada lapisan epilimnion dan kedalaman lapisan termoklin/oksiklin.

Ketiga, kemampuan mengikat/menjerap fosfor (P). Fosfor bisa bersumber dari beban polutan, baik eksternal maupun internal. Fosfor bebas berada di air dalam bentuk ion fosfat. Selain itu, fosfor akan terikat dengan elemen mineral, seperti besi (Fe), mangan (Mn), dan kalsium (Ca) membentuk partikulat yang terendap di dasar danau dan bisa menjadi sumber fosfor internal (Henny dkk., 2021; Henny & Nomostryo, 2012b; Nomosatryo dkk., 2016; Vuillemin dkk., 2020). Tinggi rendahnya ketiga elemen kandungan mineral akan mengontrol keberadaan fosfor dan menentukan kapasitas mengikat/jerap fosfor dari danau. Namun, fosfor yang terendap sebagai mineral fosfat terutama mineral Fe-Mn-P bisa terlepas kembali ke kolom air dengan keberadaan sulfida yang tinggi menggantikan ikatan fosfor pada ikatan mineral. Hal ini menyebabkan tingginya kandungan fosfor pada air permukaan seperti pada danau-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

danau vulkanik. Oleh karena itu, danau sangat rentan terhadap eutrofikasi (Henny dkk., 2021; Henny & Nomosatryo, 2012b; Likens, 2010). Sementara itu, danau yang sangat miskin sulfida dan sangat kaya kandungan mineral besi, seperti Danau Matano dengan kandungan besi mencapai 25.000 ton dan kapasitas kemampuan mengikat fosfat mencapai 40.000 ton fosfor maka danau akan terjaga kualitas air dengan status ultra-oligotrofik dan air yang sangat jernih (Bauer dkk., 2020; Crowe dkk., 2007; Nomosatryo dkk., 2014, 2016).

Keempat, biogeokimia danau sebagai bagian dari paleolimnologi. Karakteristik biogeokimia digunakan sebagai proksi untuk mengungkapkan evolusi danau dan kondisi danau zaman purba (*ancient*) yang mempunyai karakteristik kualitas air yang spesifik, unik, dan berbeda dibandingkan danau modern lainnya (Crowe dkk., 2007; Crowe, Paris, dkk., 2014; Vuillemin dkk., 2023). Miskinnnya kandungan sulfur dan sangat kaya kandungan mineral besi adalah ciri lingkungan pada zaman purba (*Precambion/Archean Eon*) atau berumur jutaan tahun lalu. Danau Matano, Danau Towuti, dan danau-danau yang merupakan habitat biota endemik yang tinggi masuk ke dalam kategori danau purba yang berumur jutaan tahun (Crowe dkk., 2014a; von Rintelen dkk., 2012; Vuillemin dkk., 2023). Danau yang dicirikan sangat miskin sulfur dan sangat kaya mineral besi biasa disebut juga dengan danau *ferruginous*, dan tecermin dari rekaman sedimen danau yang tinggi akan kandungan mineral besi, antara lain magnetit (Bauer dkk., 2020; Friese dkk., 2020), siderit (Ordoñez dkk., 2019; Vuillemin dkk., 2019) dan vivianit (Vuillemin dkk., 2020). Siderit dan vivianit merupakan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

mineral besi *autigenik*, sebagai indikator mineral dominan yang ditemukan pada zaman purba *Precambrian/Archean Eon* ribuan juta tahun yang lalu pada awal pembentukan bumi (Vuillemin dkk., 2023). Hal ini tecermin juga dari komunitas mikrob yang berperan penting pada proses biogeokimia (Bray dkk., 2017; Finke dkk., 2019; Vuillemin dkk., 2016, 2017; Yao dkk., 2016) dan biota endemik yang sangat spesifik yang ditemukan di danau (von Rintelen dkk., 2012).

Kelima, biogeokimia danau mencirikan danau sebagai sumber emisi atau *sink*/pengubur elemen dalam bentuk gas seperti gas rumah kaca (CO_2 dan CH_4) (Henny dkk., 2017; Nomosatryo dkk., 2015; Santoso dkk., 2011) dan gas berbahaya (sulfida) (Henny, 2009; Henny & Nomosatryo, 2016). Beberapa danau di Indonesia seperti danau tektonik (Danau Matano) menimbun sangat tinggi CH_4 dan juga mengemisi gas CH_4 (Crowe dkk., 2011; Sturm dkk., 2019). Sebaliknya, danau vulkanik aktif berkontribusi terhadap emisi CO_2 dan gas sulfida yang tinggi (Henny, 2009; Henny & Nomosatryo, 2016; Henny dkk., 2017). Gas CO_2 , CH_4 , dan sulfida yang terakumulasi di lapisan air dasar danau menjadi seperti bom waktu dan bisa menimbulkan ledakan berupa penyemburan gas ke permukaan danau akibat tekanan gas yang tinggi. Fenomena ini dikenal dengan istilah *limnic eruption* yang pernah menyebabkan kematian manusia di sekitar danau akibat semburan gas CO_2 di Danau Nyos, Afrika (Ohba dkk., 2022).

Keenam, pemahaman biogeokimia danau juga berkontribusi dalam upaya pengembangan ekoteknologi untuk mencegah atau

meremediasi kerusakan kualitas air danau akibat pencemaran. Lanskap danau area riparian, seperti komposisi dan struktur vegetasi berperan dalam mendukung keseimbangan proses biogeokimia untuk menurunkan beban polutan (Henny & Kurniawan, 2020). Teknologi remediasi, seperti aplikasi teknologi secara kimia (Davidson dkk., 2021; Susanti & Henny, 2012; Susanti dkk., 2012), teknologi *constructed wetland* (lahan basah buatan), dan teknologi aerasi merupakan teknologi yang menggunakan pendekatan biogeokimia untuk perbaikan kualitas air atau pengolahan air limbah (Henny, Kurniawan, & Akhdiana, 2019; Henny, Kurniawan, & Trisuryono, 2019; Henny dkk., 2020; Henny & Kurniawan, 2020, Henny dkk., 2022a, 2022b).

Ketujuh, mengetahui laju pertukaran dan pergerakan setiap elemen penyusun kualitas air. Laju pertukaran dan pergerakan elemen dapat dilihat pada kondisi keseimbangan proses biogeokimia dari setiap elemen yang menggambarkan kapasitas daya pulih danau. Data laju perombakan beban organik, transformasi nutrien, dan kapasitas mengikat fosfor sangat diperlukan pada metode pemodelan untuk bisa mengestimasi daya dukung atau beban polutan yang direkomendasikan untuk menjaga kualitas air yang baik dalam mendukung ekosistem danau yang sehat (Crowe dkk., 2007; Friese dkk., 2021; Lewis, 2010; Soranno dkk., 2010; Sunaryani dkk., 2018).

V. PENDEKATAN BIOGEOKIMIA SEBAGAI DASAR PENGELOLAAN KUALITAS AIR DANAU BERKELANJUTAN DI INDONESIA

Pendekatan biogeokimia menjadi dasar untuk mendukung keberhasilan pengelolaan kualitas air danau. Pengelolaan secara berkelanjutan meliputi empat hal, sebagai berikut.

1. Penetapan standar kriteria kualitas air berupa ambang batas kandungan kimia dari parameter kunci kualitas air. Hal ini berdasarkan karakteristik biogeokimia dari masing-masing tipe danau pada kondisi rona awal atau menunjukkan tanda-tanda masih sangat minimal gangguan. Baku mutu air danau untuk standar tertinggi Kelas I diterbitkan pada PP No. 82 Tahun 2001 dan PP No. 22 Tahun 2021. Sementara itu, beberapa parameter kualitas air masih dalam kisaran kandungan yang lebih tinggi dari kualitas air danau dalam kondisi ultra-oligotrofik untuk status trofiknya. Contohnya pada danau-danau purba di Indonesia yang secara ekologi mempunyai integritas tinggi dengan biota endemik yang spesifik dan unik. Parameter kunci yang tidak memenuhi, antara lain meliputi total fosfor, nitrogen, klorofil-a, kandungan oksigen, kandungan sulfat, dan bahan organik (Tabel 5.1) (Crowe dkk., 2007; Henny dkk., 2021; UNEP, 2016).

Tabel 5.1 Kriteria Kualitas Air Ekosistem Danau

Parameter	Unit	Danau Matano (Status Oligotrofik)	IWQGEs	PP. No. 22 Tahun 2021- Kelas I
Transparansi	mg/L	15 - 20	>10	10
Oksigen Terlarut (DO)	mg/L	>8	7 - 10,9	6*
Karbon Organik	mg/L	<0,02	0 - 1	2*
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	<1,5	-	300*
Nitrat (sebagai N)	mg/L	<0,01	0,01 - 0,1	.*
Ammonia (sebagai N)	mg/L	<0,01	0,013	.*
Total Nitrogen (sebagai N)	mg/L	<0,5	<0,5	0,65*
Total fosfat (sebagai P)	mg/L	<0,01	<0,01	0,01*
Nikel (Ni)	mg/L	<0,005	0,02	0,05*
Besi (Fe)	mg/L	<0,005	-	0,2*
Mangan (Mn)	mg/L	<0,005	0,02	0,4*
Klorofil-a (indikator status trofik)	mg/m ³	<0,3	3	10*

Keterangan:

Kriteria ini untuk indikator pada peraturan yang tidak memenuhi kategori kualitas air danau dengan integritas tinggi.

IWQGEs: International Water Quality Guideline for Ecosystems.

*Angka lebih kecil atau lebih besar dibandingkan indikator kualitas air danau dengan kualitas air integritas tinggi (Danau Matano) dan kriteria IWQGEs.

Sumber: Crowe, Paris dkk., (2007); Nomosatryo dkk., (2016); PP No. 22 (2021); UNEP (2016)

Penetapan standar kriteria parameter kualitas air hendaknya juga memenuhi standar kriteria terhadap status trofik danau. Status trofik danau termasuk kategori kualitas air danau sebagai indikator kesuburan danau dan kelimpahan populasi fitoplankton pada danau yang mengalami eutrofikasi (Henny & Nomosatryo, 2016; Henny & Nomostroyo, 2012b; Sulastri dkk., 2016; Sulastri, Henny, & Nomosatryo, 2019). Status trofik ditentukan dari indeks hasil formulasi berdasarkan kandungan fosfor, klorofil-a, dan kedalaman Secchi (kecerahan). Kategori status trofik dengan kategori kelas air ada empat, yaitu integritas tinggi/sangat baik (Oligotrofik), baik/sedang (Mesotrofik), buruk (Eutrofik), dan

sangat buruk (Hipereutrofik) (Carlson, 1996; Likens, 2010). Penetapan kriteria status trofik dalam kategori kelas air dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Kriteria Status Trofik

Kategori Status Trofik	Unit	Total rata-rata P (µg/L)	Rata-rata Klorofil-a (µg/L)	Maksimum Klorofil-a (µg/L)	Rata-rata Kecerahan-Kedalaman Secchi (m)
Oligotrofik		<10	<2,5	<8	> 6
Mesotrofik	µg/L	10 – 35	2,5 - 8	8 – 25	3 – 6
Eutrofik	µg/L	>35	>8	>25	<3



Keterangan: Kriteria ini berdasarkan indikator kandungan fosfor (P), klorofil-a, dan rata-rata kecerahan (kedalaman) Secchi

Sumber: Likens (2010); UNEP (2016)

2. Penetapan pemanfaatan danau seharusnya mengacu pada daya dukung danau hasil analisis pemodelan. Analisis pemodelan ini berasal dari beberapa parameter kunci karakteristik biogeokimia danau dengan input data laju kapasitas daya pulih danau, kapasitas jerap fosfat, dan karakteristik biogeokimia danau lainnya untuk menentukan besar beban polutan yang diperbolehkan (Crowe dkk., 2007; Henny & Fakhrudin, 2019; Lewis, 2010, Likens, 2010; Sunaryani dkk., 2018).
3. Penetapan kriteria lanskap danau juga berperan mendukung keseimbangan proses biogeokimia dalam menurunkan beban polutan dan menjaga kualitas air danau yang baik. Ekosistem

danau dengan kualitas air integritas tinggi seharusnya terjaga zona pendukung. Zona pendukung terdiri dari zona *littoral/wetland* danau dan riparian/semipadan, serta tambahan zona *buffer* sebagai pelindung area riparian dengan struktur dan komposisi vegetasi yang lengkap. Sebagai contoh pada pengelolaan riparian danau urban untuk *tidak* menurap dinding pinggir danau dengan bahan konkret yang *impermeable*. Zona transisi pembatas area riparian dan area DTA bisa ditambahkan dengan penanaman tanaman hutan/pohon sebagai ruang terbuka hijau. Struktur dan komposisi vegetasi area riparian berupa tanaman dari jenis pohon-pohonan, semak, dan tanaman air yang muncul (*emergent*), serta jarak dari garis pantai danau dengan kisaran 5–10 m ke daratan harus dijaga dan dilindungi (Gambar 2.8) (Cappiella & Schuller, 2001; Henny & Meutia, 2014c; Henny & Kurniawan, 2020).

4. Aplikasi teknologi perbaikan kualitas air menggunakan pendekatan biogeokimia, seperti teknologi *constructed treatment wetland* (Henny, 2018b; Henny, Kurniawan, & Akhdiana, 2019; Henny, Kurniawan, & Trisuryono, 2019; Henny dkk., 2022a, 2022b), teknologi aerasi (Henny dkk., 2020), dan penambahan beberapa elemen mineral adsorben. Pemanfaatan teknologi ini mampu mendukung keseimbangan proses biogeokimia danau dalam mencegah dan mempercepat perbaikan kualitas air danau yang rusak dan terganggu akibat pencemaran (Henny dkk., 2010; Henny & Gunawan, 2022; Henny & Susanti 2012).

Keberhasilan dari pengelolaan kualitas air menggunakan pendekatan biogeokimia tidak terlepas dari beberapa aspek pendukung. *Pertama*, ketersediaan data laju pertukaran dan pergerakan elemen, atau kapasitas daya pulih danau berdasarkan proses biogeokimia, dan data lingkungan pendukung kualitas air jangka panjang. Kekurangan atau bahkan belum adanya data tersebut sebagai input pada metode pemodelan menyebabkan estimasi beban polutan tidak akurat dan sering kali tidak mencapai target yaitu menciptakan kualitas air danau yang baik dan sehat. Oleh karena itu, selain penelitian terhadap biogeokimia, pengembangan sistem informasi data *time series* untuk kualitas air perlu dilakukan dengan memasang perangkat *online monitoring system* pada danau-danau prioritas secara intensif.

Kedua, pengelolaan DTA dan penetapan pemanfaatannya. Keberhasilan pengelolaan kualitas air danau di badan air tidak terlepas dari pengelolaan DTA dan pemanfaatannya. Beban polutan terbesar berasal dari limpasan atau aliran sungai yang dipengaruhi oleh tutupan lahan DTA. Tutupan vegetasi terutama zona *buffer* harus terjaga untuk menurunkan beban polutan dari limpasan DTA ke danau atau pada aliran masuk danau (Henny dkk., 2016; Henny & Kurniawan, 2020; Lukman dkk., 2018; Nomosatryo dkk., 2021).

Ketiga, legal aspek yaitu mengevaluasi kebijakan dan regulasi terhadap kriteria standar mutu kualitas air danau pada badan air danau, penetapan zona lanskap danau, dan pemanfaatan DTA. Merevisi dan melengkapi regulasi standar baku mutu air

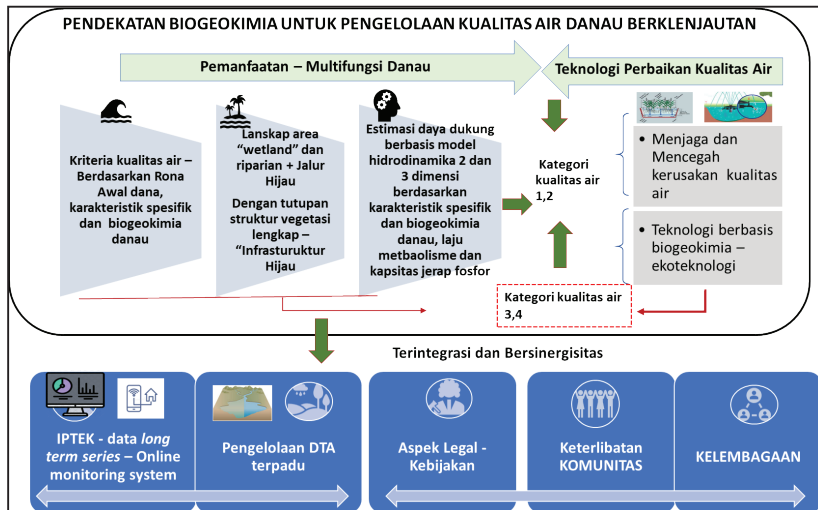
khusus danau (PP No. 22, 2021) yang mencakup semua tipe danau. Pengaturan lanskap danau meliputi zona lindung area sempadan danau dan penetapan jaraknya (Cappiella & Schuler, 2001; Henny & Kurniawan, 2020; UU No. 17, 2019). Selain itu, perlu juga untuk mengatur pemanfaatan badan air dan DTA danau sesuai dengan daya dukung danau (Henny & Fakhrudin, 2019; Sunaryani & Santoso, 2021; PP No. 22, 2021; PP No. 60, 2021).

Keempat, meningkatkan peran serta komunitas atau masyarakat sebagai garda terdepan untuk penyelamatan danau. Selain itu, perlu mengubah paradigma terhadap pengelolaan danau di masa lalu yang memperlakukan danau sebagai komoditas ke arah pengelolaan danau berbasis dinamika ekosistem. Perlu peningkatan pemahaman atau penyadartahuan terhadap karakteristik ekosistem danau melalui pemberdayaan masyarakat, memperkuat kearifan lokal, dan memadukan dengan iptek. Di sisi lain, perlu penerapan sistem *reward* dan *punishment* terhadap pengguna jasa ekosistem danau (Coggan & Whitten, 2008; Haryani, 2014; Henny dkk., 2012).

Kelima, membentuk kelembagaan yang sifatnya independen, atau sistem *good governance* untuk aspek legal terhadap implementasi dan evaluasi kebijakan, serta membuat program, perencanaan, dan pembiayaan dalam mendukung keberhasilan pengelolaan kualitas air danau yang berkelanjutan (Coggan & Whitten, 2008; Haryani, 2014; UNEP, 2016).

Pengelolaan kualitas air danau menggunakan pendekatan biogeokimia terintegrasi dengan pengelolaan berbasis masyarakat

dan kelembagaan yang baik. Pengelolaan ini diharapkan mampu mewujudkan ketahanan ekosistem danau dengan kualitas air yang sehat dan lestari (Gambar 5.1).



Gambar 5.1 Skematik pengelolaan kualitas air danau pendekatan biogeokimia terintegrasi dengan *community-based management* dan kelembagaan yang baik (*good governance*).

Kontribusi ilmiah dari riset biogeokimia berupa hasil pemikiran telah disampaikan pada berbagai pertemuan ilmiah nasional dan internasional, ke berbagai pihak pemangku kepentingan terkait. Hal ini dilakukan agar meningkatkan pemahaman publik. Inovasi teknologi perbaikan kualitas air danau menggunakan pendekatan biogeokimia sudah dilakukan melalui aplikasi teknologi *constructed wetlands* darat dan apung (Henny, Kurniawan, & Akhdiana, 2019; Henny, Kurniawan, & Trisuryono, 2019; Henny dkk., 2022a, 2022b) yang diintegrasikan dengan sistem aerasi air mancur, dan *ultra fine bubble aerator*

Buku ini tidak diperjualbelikan.

(Henny dkk., 2020). Inovasi teknologi ini dimanfaatkan untuk perbaikan kualitas air danau urban, danau bekas tambang, dan Danau Maninjau. Inovasi ini bisa dikembangkan di berbagai tipe danau lainnya yang ada di Indonesia untuk mendukung kualitas air danau yang sehat dan lestari.

Hasil pemikiran tentang pengelolaan kualitas air danau melalui pendekatan biogeokimia sudah dituangkan sebagai rekomendasi penting dalam bentuk buku panduan dan *policy brief* “Pengelolaan Danau Melalui Pendekatan Ekosistem” untuk danau bekas tambang di Pulau Bangka Belitung (Henny dkk., 2012) dan beberapa danau prioritas nasional, yaitu Danau Toba, Danau Matano, Danau Tempe (Pusat Penelitian Limnologi LIPI, 2019a, 2019b, 2019c), dan Danau Maninjau (Pusat Penelitian Limnologi LIPI, 2020), serta *International Water Quality Guideline for Ecosystems* oleh UNEP-UNESCO (UNEP, 2016). Rekomendasi terhadap pengelolaan kualitas air danau yang telah dihasilkan mewakili berbagai tipe danau yang ada di Indonesia. Tentunya, rekomendasi ini juga bisa diterapkan untuk semua danau-danau Indonesia lainnya, terutama dalam mendukung upaya penyelamatan danau-danau prioritas nasional.

Hasil riset biogeokimia selain digunakan pada bidang limnologi, ekologi danau untuk pengelolaan biodiversitas danau, dan pemodelan untuk memprediksi beban polutan, juga mendukung riset paleolimnologi/paleoklimat dalam merekonstruksi kondisi masa lampau danau.

VI. KESIMPULAN

Danau di Indonesia merupakan warisan sumber daya alam yang penting, baik dari sisi ekologis dan estetika maupun nilai ekonomi dan sosial dalam memenuhi kebutuhan hidup manusia. Namun, danau sudah mengalami penurunan kondisi kualitas air dan terancam kelestariannya. Danau di Indonesia mewakili danau tropis yang secara tipologi berbeda, mempunyai keunikan ekosistem, dan karakteristik kualitas airnya. Tekanan aktivitas antropogenik dan dampak perubahan iklim telah menyebabkan degradasi kualitas air yang memprihatinkan. Kerusakan kualitas air danau akibat pencemaran telah berdampak kepada menurunnya fungsi ekologis, biodiversitas, dan estetika sebagai pendukung nilai ekonomi dan sosial danau.

Aspek fundamental ilmiah dan aturan dalam pengelolaan kualitas air danau adalah menjaga kondisi kualitas air. Kualitas air yang baik akan mendukung fungsi ekosistem sehat dan pemanfaatan yang berkelanjutan. Pendekatan biogeokimia adalah pendekatan karakteristik spesifik alami yang membuat danau mampu merespons dan mengatasi gangguan eksternal. Dengan demikian, proses ini akan mewujudkan ekosistem danau dengan kualitas air yang sehat. Pengelolaan kualitas air danau dengan pendekatan biogeokimia dapat dilakukan menggunakan penetapan standar kriteria kualitas air. Standar ini mengacu pada spesifikasi tipe danau, penetapan beban polutan sesuai dengan kapasitas daya pulih danau, dan penetapan zona lanskap

Buku ini tidak diperjualbelikan.

dengan struktur dan vegetasi yang lengkap. Selain itu, juga perlu mengaplikasikan teknologi perbaikan kualitas air danau melalui pendekatan biogeokimia dalam menjaga kualitas air danau yang baik atau meremediasi danau yang sudah tercemar.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

VII. PENUTUP

Danau-danau Indonesia mewakili beragam tipologi danau tropis di dunia, yaitu mempunyai karakteristik biogeokimia unik dan spesifik, yang secara alami tecermin dari kualitas air. Danau, sebagai aset sumber daya air yang esensial dan investasi penting untuk masa depan, harus mempunyai kualitas air yang sehat dan layak untuk memenuhi kebutuhan air yang berkelanjutan bagi kehidupan biota dan manusia di sekitarnya. Oleh karena itu, upaya-upaya perlindungan, penyelamatan, dan pemulihan danau dalam mendukung pemanfaatan danau berkelanjutan termasuk menjaga kualitas air danau yang baik dan sehat menjadi keharusan dan krusial.

Pendekatan biogeokimia dapat dikembangkan sebagai solusi dalam pengelolaan kualitas air danau yang sehat. Pengelolaan ini untuk mendukung multifungsi danau berkelanjutan. Pengelolaan kualitas air danau yang efektif merupakan bagian dalam pemenuhan target dan sasaran dari pengelolaan ekosistem danau secara keseluruhan termasuk area DTA. Dukungan dan kerja sama riset antara peneliti-peneliti dengan interdisiplin ilmu, kebijakan yang relevan, institusi terkait, peran semua pihak, baik masyarakat lokal maupun pemangku kepentingan lainnya, kelembagaan, dan aspek legal sangat diperlukan untuk keberhasilan pengelolaan kualitas air danau yang berkelanjutan.

Keseluruhan pemikiran dari akumulasi hasil riset terhadap danau-danau di Indonesia telah penulis sampaikan pada berbagai

pertemuan ilmiah, baik nasional maupun internasional. Selain itu, hasil riset ini telah disampaikan ke berbagai pihak pemangku kepentingan terkait dan sudah terimplementasikan sebagai rekomendasi dalam pembuatan strategi pengelolaan kualitas air danau dan kebijakan, penetapan tata ruang pemanfaatan danau, serta aplikasi *in situ* teknologi perbaikan kualitas air melalui pendekatan biogeokimia.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

VIII. UCAPAN TERIMA KASIH

Mengakhiri orasi ini, perkenankan saya mengucapkan rasa syukur Alhamdulillah yang tak terhingga ke hadirat Allah Subhanahuwata'ala, atas segala nikmat, karunia, dan rahmat-Nya sehingga penyampaian orasi ini telah berjalan sebagaimana yang diharapkan.

Penghargaan dan ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Bapak Presiden Republik Indonesia, Ir. H. Joko Widodo; Kepala BRIN, Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc.; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani, sekaligus sebagai Tim Penelaah Naskah Orasi; Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, M.S.C.E., Ph.D.; Tim Penelaah Naskah Orasi, Prof. Dr. Wahyu Widiyono, M.Si. dan Prof. Dr. Tri Retnaningsih Soeprbowati, M.App.Sc.

Terima kasih juga saya sampaikan kepada Plt. Sekretaris Utama BRIN, Dr. Rr. Nur Tri Aries Suestiningtyas, S.IP., M.A.; Kepala Organisasi Riset Kebumian dan Kemaritiman, Prof. Dr. Okky Karna Radjasa; Kepala Biro Organisasi dan Sumber Daya Manusia, Ratih Retno Wulandari S.Sos., M.Si.; dan Kepala Pusat Riset Limnologi dan Sumber Daya Air, Dr. Hidayat, M.Sc. atas dukungan dan kesempatan yang diberikan kepada saya untuk dapat menyampaikan orasi ilmiah ini.

Perjalanan karier saya tidak terlepas dari dukungan mulai dari pendidikan sekolah dasar sampai tingkat doktor. Terima kasih kepada bapak ibu guru yang saya hormati dan cintai yang tidak bisa disebut satu per satu atas jasa yang tak terhingga, kepada pembimbing S-1, Drs. Rachman M.Si. (alm.) (Universitas Andalas-Padang); Supervisor S-2, Dr. Frederick Pfaender (The University of North Carolina, Chapel Hill, USA); Supervisor S-3, Dr. Lenly Weathers dan Dr. Lynn Katz (The University of Maine, Orono, USA); Director dan Supervisor Post-Doctoral, Dr. Craig Adams, Dr. Joel Barkin, Dr. Melanie Mormille (Missouri University of Science and Technology, Rolla, USA). Terima kasih kepada mantan kepala Pusat Penelitian Limnologi LIPI, Prof. Dr. Anugerah Nontji, Prof. Dr. Hery Harjono, Prof. Peter D. Hehanusa, M.Sc. (alm.), Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani, Dr. Tri Widiyanto, dan Dr. Fauzan Ali. Terima kasih kepada para mentor dan senior, Ir. Feizal Sabar, M.Sc. (alm.), Dr. Ir. Dede Irving Hartoto (alm.), dan Ir. Sulastri. Terima kasih juga saya ucapkan kepada Dr. Sean Crowe (University of British Columbia, Kanada), Dr. Jens Kallemeyer (GFZ, Jerman), Dr. Daniel Ariztegui (University of Geneva, Swiss), Dr. Ami Meutia Mizuno (CSEAS-Kyoto University, Jepang) atas kolaborasi penelitian tingkat internasional; Dr. Anto Tri Sugiarto, Veny Lupita, M.T., dan Dr. Hilman Alam, M.T. atas kolaborasi penelitian tingkat nasional; dan teman-teman Kelompok Penelitian Dinamika Pencemaran dan Ekoremediasi dan Kelompok Riset Dinamika Proses di Pusat Riset Limnologi dan Sumber Daya Air atas bantuan dan kerja samanya pada setiap kegiatan penelitian: Dr. Luki Subehi, Sulung Nomosatryo, M.Si.,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dr. Ir. Gunawan P. Yoga, Dr. Jojok Sudarso, Dr. Evi Susanti, Tri Suryono, M.Si., Riky Kurniawan, M.Si., Irma Melati, M.Sc., Denalis Rohaningsih, M.T., Nurul Setiadewi, S.T., M.T., Taofik Jasa Lesmana, M.Si., Dr. Arianto B. Santoso, Guruh Ajie Satria, M.Sc., Aan Dianto, S.Si., Rosidah, S.Si., B. Teguh Sudiono, Agus Waluyo, S.Si., dan teman-teman peneliti, perekayasa, teknisi litkayasa, serta eks staf administrasi Pusat Penelitian Limnologi LIPI yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu kelancaran pelaksanaan kegiatan penelitian.

Saya mengucapkan juga terima kasih kepada sahabat-sahabat saya, Diah Utami, Sri Sayekti, Suparwati, Diah Anugerah, dan Rosniaty Ismail yang selalu mendukung saya dalam suka dan duka, serta menjadi penyemangat buat saya. Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada panitia penyelenggara orasi ilmiah ini, seluruh hadirin, civitas BRIN, dan semua pihak yang telah membantu sehingga orasi ini dapat terlaksana.

Takzim dan hormat saya kepada kedua orang tua saya, Bapak Azis Hamid (alm.) dan Ibu Zainab Syaid (almh.) yang telah membesarkan, mendorong saya untuk terus menuntut ilmu setinggi-tingginya, serta berdoa tiada henti. Terima kasih kepada saudara-saudara yang saya cintai, kakak (Indrawati (alm.), Irtawati, Fauziah Irawati, Wenny Indraputri), abang (Azirwan dan Budi Setiawan (alm.)), dan adik (M. Mirza dan Ferry Indraputra). Terima kasih juga kakak, abang, dan adik ipar, keponakan, dan cucu keponakan yang saya sayangi, serta keluarga besar Kakek Hamid (alm.) dan Kakek Syaid (alm.) atas dukungan yang sangat besar kepada saya.

Terima kasih atas perhatian hadirin semua dan mohon maaf atas kekurangan dan kekhilafan dalam menyampaikan orasi ilmiah ini.

Wabillaahi taufiq wal hidayah. Wassalaamu a'laikum wa rahmatullahi wabarakatuh.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhar, S., Erlangga, Rusydi, R., Mainisa, Khalil, M., Muliani, Ayuzar, E., & Hatta, M. (2022). Pemodelan status trofik danau laut tawar Aceh Tengah. *Serambi Engineering VII(2)*, 2.841–2.851.
- Aisyah, S., Kurniawan, R., Ridwansyah, I., Samir, O., Haryani, G. S., & Hidayat. (2018). Flood pulse in atropical floddplain lake and its implication on aquatic habitat dynamics: Case study in Sentarum Lakes Area, Kalimantan, Indonesia. *Proceedings of 17th World Lake Conference*.
- Bauer, K. W., Byrne, J. M., Kenward, P., Simister, R. L., Michiels, C. C., Friese, A., Vuillemin, A., **Henny, C.**, Nomosatryo, S., Kallmeyer, J., Kappler, A., Smit, M. A., Francois, R., & Crowe, S. A. (2020). Magnetite biomineralization in ferruginous waters and early Earth evolution. *Earth and Planetary Science Letters*, 549, 116495. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116495>.
- Bogardi, J. J., Leentvaar, J., & Sebesvari, Z. (2020). Biologi Futura: Integrating freshwater ecosystem health in water resources management. *Biologi Futura* 71, 337–358. <https://doi.org/10.1007/s42977-020-00031-7>
- Bray, M. S., Wu, J., Padilla, C. C., Stewart, F. J., Fowle, D. A., **Henny, C.**, Simister, R. L., Thompson, K. J., Crowe, S. A., & Glass, J. B. (2020). Phylogenetic and structural diversity of aromatically dense pili from environmental metagenomes. *Environmental Microbiology Reports*, 12(1), 49–57. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12809>.
- Bray, M. S., Wu, J., Reed, B. C., Kretz, C. B., Belli, K. M., Simister, R. L., **Henny, C.**, Stewart, F. J., DiChristina, T. J., Brandes, J. A., Fowle, D. A., Crowe, S. A., & Glass, J. B. (2017). Shifting microbial communities sustain multiyear iron reduction and methanogenesis in ferruginous sediment incubations. *Geobiology*, 15(5). <https://doi.org/10.1111/gbi.12239>.

- Cappiella, K., & Schueler, T. (2001). Crafting a Lake Protection Ordinance. *Watershed Protection Ordinance*, 3(4), 752–754.
- Carlson, R. E., & Simpson, J. (1996). A Trophic State Index. Dalam *A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods*. North American Lake Management Society.
- Coggan, A., & Whitten, S. (2008). *A best practice framework for selecting control actions to improve water quality*. CSIRO.
- Crowe, S. A., Neill, A. H. O., Katsev, S., Hehanussa, P., Haffner, G. D., Sundby, B., Mucci, A., & Fowle, D. A. (2007). The biogeochemistry of tropical lakes: A case study from Lake Matano, Indonesia. *Limnol. and Oceanogr.*, 53(1), 2008, 319–331. <https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.1.0319>
- Crowe, S. A., Katsev, S., Leslie, K., Sturm, A., Magen, C., Nomosatryo, S., Pack, M. A., Kessler, J. D., Reeburgh, W. S., Roberts, J. A., González, L., Haffner, G. D., Mucci, A., Sundby, B., & Fowle, D. A. (2011). The methane cycle in ferruginous Lake Matano. *Geobiology*, 9(1), 61–78. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4669.2010.00257.x>.
- Crowe, S. A., Paris, G., Katsev, S., Jones, C. A., Kim, S. T., Zerkle, A. L., Nomosatryo, S., Fowle, D. A., Adkins, J. F., Sessions, A. L., Farquhar, J., & Canfield, D. E. (2014). Sulfate was a trace constituent of Archean seawater. *Science*, 346(6210), 735–739. <https://doi.org/10.1126/science.1258966>.
- Crowe, S. A., Maresca, J. A., Jones, C., Sturm, A., **Henny, C.**, Fowle, D. A., Cox, R. P., Delong, E. F., & Canfield, D. E. (2014). Deep-water anoxygenic photosynthesis in a ferruginous chemocline. *Geobiology*, 12(4), 322–339. <https://doi.org/10.1111/gbi.12089>.
- Davidson, A. B., Holmden, C., Nomosatryo, S., **Henny, C.**, Francois, R., & Crowe, S. A. (2021). Cr Isotopes and the Engineered Attenuation of Cr(VI)-Rich Runoff. *Environmental Science and Technology*, 55(21), 14938–14945. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c01714>.

- Dianto, A., Afandi, A. Y., Rahmadya, A., Rohaningsih, D., Verawati, D., Daruati, D., Setiawan, F., Ali, F., Rustini, H. A., Wibowo, H., Ridwansyah, I., Subehi, L., Yulianti, M., Novianti, R., Sudriani, Y., Sunaryani, A., Zahid, A., Anwar, M., & Oktaviani, T. S (Ed.). (2020). *Lima Seri Buku Identifikasi Danau Indonesia*. Pusat Penelitian Limnologi-LIPI. LIPI PRESS.
- Finke, N., Simister, R. L., O’Neil, A. H., Nomosatryo, S., **Henny, C.**, MacLean, L. C., Canfield, D. E., Konhauser, K., Lalonde, S. V., Fowle, D. A., & Crowe, S. A. (2019). Mesophilic microorganisms build terrestrial mats analogous to Precambrian microbial jungles. *Nature Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11541-x>.
- Friese, A., Bauer, K., Glombitza, C., Ordoñez, L., Ariztegui, D., Heuer, V. B., Vuillemin, A., **Henny, C.**, Nomosatryo, S., Simister, R., Wagner, D., Bijaksana, S., Vogel, H., Melles, M., Russell, J. M., Crowe, S. A., & Kallmeyer, J. (2021). Organic matter mineralization in modern and ancient ferruginous sediments. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22453-0>.
- Friese, A., Bauer, K., Glombitza, C., Ordóñez, L., Ariztegui, D., Heuer, V. B., Vuillemin, A., **Henny, C.**, Nomosatryo, S., Simister, R., Wagner, D., Bijaksana, S., Vogel, H., Melles, M., Russell, J., Crowe, S., & Kallmeyer, J. (2020). *Iron oxide reactivity controls organic matter mineralization in ferruginous sediments*.
- Fukushima, T., Matsushita, B., Subehi, L., Setiawan, F., & Wibowo, H. (2017). Will hypolimnetic waters become anoxic in all deep tropical lakes? *Scientific Reports*, 7(March), 1–9. <https://doi.org/10.1038/srep45320>.
- Fukushima, T., Setiawan, F., Subehi, L., Fakhrudin, M., Triwisesa, E., Dianto, A., & Matsushita, B. (2021). Convection of waters in Lakes Maninjau and Singkarak, tropical oligomictic lakes. *Limnology*, 23, 375–383. <https://doi.org/10.1007/s10201-021-00686-8>.

- Fukushima, T., Setiawan, F., Subehi, L., Jiang, D., & Matsushita, B. (2023). Water temperature and some water quality in Lake Toba, a tropical volcanic lake. *Limnology*, 24(1), 61–69. <https://doi.org/10.1007/s10201-022-00703-4>.
- Giesen, W. (1994). Indonesia's major freshwater lakes: A review of current knowledge, development processes and threats. *SIL Communications, 1953-1996; Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Mitteilungen* 24(1), 115–128. <https://doi.org/10.1080/05384680.1994.11904030>.
- Haryani, G. S. (2014). Kondisi danau di Indonesia dan strategi pengelolannya. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Limnologi Indonesia 2013*.
- Hempel, P., Keffer, J. L., Shevchenko, O., Henny, C., Polson, S. W., & Maresca, J. A. (2019). Complete genome sequence of *Microbacterium* sp. Strain 10M-3C3, isolated from an extremely phosphorus-poor lake. *Microbiology Resource Announcements*, 8(4). <https://doi.org/10.1128/MRA.01649-18>.
- Henny, C.** (2008). Chromium (VI) reduction by a mixed culture of sulfate reducing bacteria. *J. Manusia dan Lingkungan*, 15(1), 1–9.
- Henny, C.**, Triyanto, & Suryono, T. (2008). Dynamics of biogeochemistry of Lakes Maninjau and Batur. *Proceedings of Indonesian Inland Water International Conference*, 43–51.
- Henny, C.** (2009). Dynamics of biogeochemistry of sulfur in Lake Maninjau. *Limnotek: Perairan Darat Tropis di Indonesia*, 16(2), 74–87.
- Henny, C.**, & Ajie, G. S. (2009). Kandungan logam pada biota akuatik kolong bekas tambang timah di Pualau Bangka. *Prosiding Seminar Nasional Forum Perairan Umum Indonesia VI* (221–230). Balai Riset Perikanan Perairan Umum, Pusat Riset Perikanan Tangkap, Badan Riset Kelautan dan Perikanan. Palembang.
- Henny, C.**, & Susanti, E. (2009). Karakteristik limnologis beberapa kolong bekas tambang timah di Paulau Bangka. *Limnotek: Perairan Darat Tropis di Indonesia*, 16(2), 119–131.

- Henny, C., Ajie, G. S., & Susanti, E.** (2010). Pengolahan air asam tambang menggunakan sistem “Passive Treatment”. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi V* (331–343).
- Henny, C.** (2011a). “Kolong” bekas tambang timah di Pulau Bangka: Permasalahan kualitas air dan alternatif solusi untuk pemanfaatan. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 37(1), 119–138.
- Henny, C.** (2011b). Bioakumulasi logam pada ikan di kolong bekas tambang timah di Pulau Bangka. *Limnotek*, 18(1), 83–95.
- Henny, C., & Triyanto.** (2011). Effect of climate change on water quality of pit lakes in Bangka Island. *Proceedings of International Meeting of Asia Pasific of Ecohydrology* (151–163).
- Henny, C., & Gunawan.** (2011). Efektifitas pemanfaatan sistem “Passive Treatment” sebagai unit pengelolaan air baku kolong asam tambang timah untuk budidaya ikan nila. *Prosiding Forum Perairan Umum Indonesia VIII* (261–278).
- Henny, C., & Nomosatryo, S.** (2012a). Nutrient dynamics in sulfidic Lake Maninjau, Indonesia: Implication of fish cage aquaculture. *Proceedings of The 10th International Symposium on South East Asia Water Environment*.
- Henny, C., & Nomosatryo, S.** (2012b). Dinamika sulfida di Danau Maninjau: Implikasi terhadap pelepasan fosfat di lapisan hipolimnion. *Limnotek*, 19(2), 102–112.
- Henny, C., Triyanto, Gunawan, Prastyo, K. W., Susanti, E., Rosidah, Sudiono, B. T., & Akhdiana, I.** (2012). Pengembangan pemanfaatan danau galian tambang dengan sistem pengelolaan yang berkelanjutan sebagai alternatif ekonomi masyarakat Kepulauan Bangka Belitung pasca timah. Dalam A. T. Sugiarto, M. Wibowo, & D. S. Andriyani (Ed.), *Ketahanan Wilayah: Demi terwujudnya percepatan pembangunan ekonomi yang berwawasan lingkungan* (213–130). LIPI Press.
- Henny, C., & Meutia, A. A.** (2014a). Water quality and quantity issues of urban lakes in Megacity Jakarta. *Limnotek: Perairan Darat Tropis di Indonesia*, 21(2), 145–156.

- Henny, C., & Meutia, A. A. (2014b).** Urban lakes in Megacity Jakarta: Risk and Management Plan for Future Sustainability. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 737–746. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.088>.
- Henny, C., & Meutia, A. A. (2014c).** Urban lake management and strategy: Effect of distinct types of lake surroundings and shoreline landscape development on water quality of urban lakes in Megacity Jakarta. *Proceedings of the 15th World Lake Conference: Lakes: The Mirrors of the Earth, Balancing Ecosystem Integrity and Human Wellbeing* (275–278). Science4Press. <https://ricerca.unistrapg.it/retrieve/handle/20.500.12071/2323/8195/book-of-proceedings.pdf#page=280>
- Henny, C., Nomosatryo, S., Susanti, E., Kurniawan, R., Rosidah & Akhdianai, I. (2014).** Kondisi limnologi danau gambut Pulau Besar di Kawasan Margasatwa Zamrud, Kabupaten Siak, Provinsi Riau. Dalam Tj. Chrismadha, M. Fakhrudin, Nofdianto, Dj. S. Said, F. Sulawesty. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Limnologi Indonesia 2013: Perkembangan Limnologi dalam Mendukung Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia: Tantangan dan Harapan* (453–467).
- Henny, C. (2015).** Ecotechnology and ecosystem based management tools as alternatif solutions to reduce risk of ecosystem disaster and fish kills in Lake Maninjau. Dalam L. Subehi, G. S. Haryani, C. Henny, & H. Wibowo (Ed.), *Prosiding Seminar Nasional Limnologi VII* (593–607). Pusat Penelitian Limnologi LIPI.
- Henny, C., Kurniawan, R., Rosidah, & Dianto, A. (2016).** Karakteristik fisika kimia sungai gambut di Kabupaten Siak, Provinsi Riau. Dalam G. S. Haryani, G. Henny, Lukman, M. Fakhrudin, Tj. Chrismadha, L. Subehi, & S. Larashati (Ed.), *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Limnologi Indonesia 2015* (296–307). Masyarakat Limnologi Indonesia.
- Henny, C., & Nomosatryo, S. (2016).** Changes in water quality and trophic status associated with cage aquaculture in Lake Maninjau, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 31(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/31/1/012027>.

- Henny, C., Nomosatryo, S. & Santoso, A. B. (2017).** Carbon dioxide and methane accumulation in a highly eutrophic tropical lake, Indonesia. Dalam M. Maghfiroh, A. Dianto, T. Jasalesmana, I. Melati, O. Samir, & R. Kurniawan (Ed.), *Proceedings of The 16th World Lake Conference (557–565)*. Research Center for Limnology, Indonesian Institute of Sciences.
- Henny, C. (2018a).** Danau bekas tambang timah di Bangka Belitung: Sumber air daya air baru dan pengelolaan kualitas airnya. Dalam Lukman, F. Zulti, M. Maghfiroh, & Sugiarti (Ed.), *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Limnologi Indonesia 2017 (30–37)*. Masyarakat Limnologi Indonesia. https://drive.google.com/file/d/1z3lQy2tSO4rPS703IMzmC4Ie_0yNoUy/view
- Henny, C. (2018b).** Sistem lahan basah buatan (Constructed Wetlands) sebagai alternatif pengolah air limbah. Dalam *Pengembangan Teknopark Pengelolaan Perairan dan Sumber Daya Perikanan di Kabupaten Samosir (146–164)*. Penerbit Diandra.
- Henny, C., & Fakhrudin, M. (2019).** *Peningkatan kualitas air dari eutropik menjadi mesotropik Danau Maninjau [Laporan Teknik]*. Pusat Penelitian Limnologi LIPI.
- Henny, C., Kurniawan, R., & Akhdiana, I. (2019).** Floating treatment wetlands and submerged vegetation for water quality improvement of an urban lake in megacity Jakarta, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 308(1)*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/308/1/012005>.
- Henny, C., Kurniawan, R., & Trisuryono. (2019).** Application of floating treatment wetlands in a highly eutrophic lake, Indonesia: A new tool for lake restoration and provision of microhabitat. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 380(1)*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/380/1/012003>.
- Henny, C., Jasalesmana, T., Kurniawan, R., Melati, I., Suryono, T., Susanti, E., Yoga, G. P., Rosidah, & Sudiono, B. T. (2020).** The effectiveness of integrated floating treatment wetlands (FTWs) and lake fountain aeration systems (LFAS) in improving the landscape ecology and water quality of a eutrophic lake in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 535(1)*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/535/1/012018>.

- Henny, C., & Kurniawan, R. (2020).** Evaluation of plant structure in urban lake ecosystem and their performance in Treatment Wetland Systems (TWS) to maintain lake water quality in Megacity Jakarta, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 477(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/477/1/012003>.
- Henny, C., Nomosatryo, S., Santoso, A. B., Jasalesmana, T., & Suryono, T. (2021).** Biogeochemical characteristics controlling phosphorus release from lake hypolimnion in tropical lakes with different typology: Implication of internal loading on lake eutrophication. *35th Congress of SIL*, 210300.
- Henny, C., Rohaningsih, D., Susanti, E., Sumi, F., & Waluyo, A. (2022a).** Evaluation of *Heliconia psittacorum* in a Horizontal Flow Constructed Wetland (HFCW) system for the treatment of textile wastewater. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1062. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1062/1/012026>.
- Henny, C., Rohaningsih, D., Susanti, E., Sumi, F., & Waluyo, A. (2022b).** Application of constructed floating wetlands (CFWs) to treat textile effluent. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1108. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1108/1/012036>.
- Henny, C., Rohaningsih, D., Suryono, T., Santoso, A. B., & Waluyo, A. (2023).** Microplastic pollution in the surface water of Lake Singkarak, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1118. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1118/1/012050>.
- Henny, C., Rohaningsih, D., Suryono, T., Sudarso, J., Yoga, G. P., & Waluyo, A. (2023).** The occurrence of microplastics in the surface water of several urban lakes in the Megacity of Jakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1201. doi:10.1088/1755-1315/1201/1/012023
- Hutchinson, G. E. (1975). *A Treatise on limnology. Vol.1. Geography, physics and chemistry*. John Wiley (Chapman and Hall).

- Ibrahim, A., Syawal, M. S., Ardiwinata, A. N., Supriyono, E., Taufik, I., & Yoga, G. P. (2022). Occurrence of organochlorine residues in surface water and mussel *Corbicula sumatrana* from Lake Singkarak, West Sumatera. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1118(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1118/1/012054>.
- Jones, C., Crowe, S. A., Sturm, A., Leslie, K. L., MacLean, L. C. W., Katsev, S., **Henny, C.**, Fowle, D. A., & Canfield, D. E. (2011). Biogeochemistry of manganese in ferruginous Lake Matano, Indonesia. *Biogeosciences* 8, 2977–2991. <https://doi.org/10.5194/bg-8-2977-2011>.
- Katsev, S., Crowe, S. A., Mucci, A., Sundby, B., Nomosatryo, S., Haffner, G. D., & Fowle, D. A. (2010). Mixing and its effects on biogeochemistry in the persistently stratified, deep, tropical Lake Matano, Indonesia. *Limnology and Oceanography*, 55(2), 763–776. <https://doi.org/10.4319/lo.2009.55.2.0763>.
- Kopf, S. H., **Henny, C.**, & Newman, D. K. (2013). Ligand-enhanced abiotic iron oxidation and the effects of chemical versus biological iron cycling in anoxic environments. *Environmental Science and Technology*, 47(6), 2602–2611. <https://doi.org/10.1021/es3049459>.
- Kurniawan, R., & **Henny, C.** (2016a). Biodiversitas tumbuhan air dan kualitas air di beberapa situ di wilayah jabodetabek. Dalam G. S. Haryani, G. Henny, Lukman, M. Fakhrudin, Tj. Chrismadha, L. Subehi, & S. Larashati (Ed.), *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Limnologi Indonesia 2015* (112–124). Masyarakat Limnologi Indonesia.
- Kurniawan, R., & **Henny, C.** (2016b). Tumbuhan air dan kualitas air di Sungai Mandau, Kabupaten Siak, Provinsi Riau. Dalam G. S. Haryani, G. Henny, Lukman, M. Fakhrudin, Tj. Chrismadha, L. Subehi, & S. Larashati (Ed.), *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Limnologi Indonesia 2015* (152–164). Masyarakat Limnologi Indonesia.

- Kurniawan, R., Hamim, **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>.
- Lehmusluoto, P., Machbub, B., Terangna, N., Rusmiputro, S., Achmad, F., Boer, L., Brahmana, S. S., Priadi, B., Setiadji, B., Sayuman, O., & Margana, A. (1997). National inventory of the major lakes and reservoirs in Indonesia: General Limnology. Dalam *Expedition Indodanau Technical Report*. Helsinki.
- Lehtoranta, J., Ekholm, P., & Pitkänen, H. (2009). Coastal eutrophication thresholds: A matter of sediment microbial processes. *Ambio: A Journal of the Human Environment*. 38(6): 303–8. <https://doi.org/10.1579/09-A-656.1>.
- Lewis, W. M. (2010). Biogeochemistry of tropical lakes. *SIL Proceedings, 1922-2010, Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Verhandlungen* 30(10), 1595–1603. <https://doi.org/10.1080/03680770.2009.11902383>.
- Likens, G. E. (2010). *Lake ecosystem ecology: A global perspective*. Elsevier. <http://books.google.com.pe/books?id=OzJOqh90RuwC>.
- Lukman, Hidayat, Haryani G. S., Chrismada T., **Henny, C.**, Fakhrudin M., Widiyanto T., & Sulastri, L. (Ed.) (2018). *Tiga Dasawarsa Berkarya Pusat Penelitian Limnologi (LIPI)*. LIPI Press.
- Melati, I., & **Henny, C.** (2018). Kondisi bakteriologis beberapa danau bekas tambang (kolong) di Belitung, Provinsi Bangka Belitung. Dalam Lukman, F. Zulti, M. Maghfiroh, & Sugiarti (Ed.), *Prosiding Pertemuan Tahunan Masyarakat Limnologi 2017* (44–48). Masyarakat Limnologi Indonesia.
- Melati, I., Rahayu, G., Surono, Effendi, H., Henny, C., & Yanto, D. H. Y. (2023). Biodecolorization of anthraquinone and azo dyes by dark septate endophytic fungi. *Bioresource Technology Reports*. 22. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101427>

- Nomosatryo, S., **Henny, C.**, Santoso, A. B., Sadi, N. H., Rosidah, Sumi, & F., Oktaviyani, D. (2014). Keseimbangan Gas CO₂ di Danau Tondano, Sulawesi Utara. Dalam L. Subehi, G. S. Haryani, C. Henny, & H. Wibowo (Ed.), *Prosiding Seminar Nasional Limnologi VII* (225–231). Pusat Penelitian Limnologi LIPI.
- Nomosatryo, S., **Henny, C.**, Rihaeti, E., & Batubara, I. (2016). Keseimbangan penjerapan fosfat antar muka air sedimen: Studi kasus Danau Matano. *Prosiding Pertemuan Tahunan Masyarakat Limnologi 2015*, 246–254.
- Nomosatryo, S., Tjallingii, R., **Henny, C.**, Ridwansyah, I., Wagner, D., Tomás, S., & Kallmeyer, J. (2023). Surface sediment composition and depositional environments in tropical Lake Sentani, Papua Province, Indonesia. *Journal of Paleolimnology*, 69(1), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s10933-022-00259-4>.
- Nomosatryo, S., Tjallingii, R., Schleicher, A. M., Boli, P., **Henny, C.**, Wagner, D., & Kallmeyer, J. (2021). Geochemical characteristics of sediment in tropical lake Sentani, Indonesia, are influenced by spatial differences in catchment geology and water column stratification. *Frontiers in Earth Science*, 9(May), 1–16. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.671642>.
- Nontji, A. (2016). *Danau alami nusantara*. Pusat Penelitian Limnologi LIPI.
- Ohba, T., Oginuma, Y., Saiki, K., Kusakabe, M., Issa, Fouepe, T. A., Ntchantcho, R., Tanyileke, G., & Hell, J. V. (2022). A depression containing CO₂-enriched water at the Bottom of Lake Monoun, Cameroon, and implications for the 1984 limnic eruption. *Frontiers in Earth Science*, 10(May), 1–15. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.766791>.
- Ordoñez, L., Vogel, H., Sebag, D., Ariztegui, D., Adatte, T., Russell, J. M., Kallmeyer, J., Vuillemin, A., Friese, A., Crowe, S. A., Bauer, K. W., Simister, R., **Henny, C.**, Nomosatryo, S., & Bijaksana, S. (2019). Empowering conventional Rock-Eval pyrolysis for organic matter characterization of the siderite-rich sediments of Lake Towuti (Indonesia) using End-Member Analysis. *Organic Geochemistry*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2019.05.002>.

- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. (2001). <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/53103/pp-no-82-tahun-2001>.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. (2021). https://jdih.setkab.go.id/PUUdoc/176367/PP_Nomor_22_Tahun_2021.pdf
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 60 Tahun 2021 tentang Penyelamatan Danau Prioritas Nasional. (2021). https://jdih.setkab.go.id/PUUdoc/176471/Perpres_Nomor_60_Tahun_2021.PDF
- Pusat Penelitian Limnologi-LIPI. 2019a. Konsep pengelolaan Danau Toba berbasis daya dukung ekosistem. [Policy brief].
- Pusat Penelitian Limnologi-LIPI. 2019b. Konsep pengelolaan Danau Matano berbasis daya dukung ekosistem. [Policy brief].
- Pusat Penelitian Limnologi-LIPI. 2019c. Konsep pengelolaan Danau Tempe berbasis daya dukung ekosistem. [Policy brief].
- Pusat Penelitian Limnologi-LIPI. 2020. Konsep pengelolaan Danau Maninjau berbasis daya dukung ekosistem. [Policy brief].
- Qin, B., Zhou, J., Elser, J. J., Gardner, W. S., Deng, J., & Brooks, J. D. (2020). Water depth underpins the relative roles and fates of nitrogen and phosphorus in lakes. *Env. Sci. Technol.* 54. 3191–3198. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05858>
- Read, E. K., Patil, V. P., Oliver, S. K., Hetherington, A. L., Brentrup, J. A., Zwart, J. A., Winters, K. M., Corman, J. R., Nodine, E. R., Woolway, R. I., Dugan, H. A., Jaimes, A., Santoso, A. B., Hong, G. S., Winslow, L. A., Hanson, P. C., & Weathers, K. C. (2015). The importance of lake-specific characteristics for water quality across the continental United States. *Ecological Applications*, 25(4), 943–955. <https://doi.org/10.1890/14-0935.1>.

- Rohaningsih, D., **Henny, C.**, Suryono, T., & Santoso, A. B. (2022). Macroplastic abundance at Lake Singkarakriparian, West Sumatera. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1062(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1062/1/012025>.
- Rohaningsih, D., **Henny, C.**, Susanti, E., Febrianti, D., Fajar, S., Sugiarti, S., Sudiono, B. T., & Waluyo, A. (2023). The efficacy of *Vetiveria zizanioides* in a horizontal subsurface constructed wetland for treating textile waste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1201. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012073>
- Russell, J. M., Bijaksana, S., Vogel, H., Melles, M., Kallmeyer, J., Ariztegui, D., Crowe, S., Fajar, S., Hafidz, A., Haffner, D., Hasberg, A., Ivory, S., Kelly, C., King, J., Kirana, K., Morlock, M., Noren, A., O'Grady, R., Ordonez, L., **Henny, C.**, Tamuntuan, G. (2016). The Towuti Drilling Project: Paleoenvironments, biological evolution, and geomicrobiology of a tropical Pacific lake. *Scientific Drilling*, 21. <https://doi.org/10.5194/sd-21-29-2016>.
- Ruttner, F. (1931). Hydrographische und Hydrochemische Beobachtungen auf Java, Sumatra und Bali. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 5, 197–454. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05858>
- Santoso, A. B., Nomosatryo, S., & **Henny, C.** (2011). CO₂ emission sink in Java eutrophic shallow lakes. *Proceedings of International symposium on South Asian Water Environment*, 9, 2009–2015.
- Setiawan, F., Matsushita, B., Hamzah, R., Jiang, D., & Fukushima, T. (2019). Long-term change of the secchi disk depth in Lake Maninjau, Indonesia shown by landsat TM and ETM+ data. *Remote Sensing*, 11(23), 1–20. <https://doi.org/10.3390/rs11232875>.
- Soeprbowati, T. R., Suedy, S. W. A., Hadiyanto, Lubis, A. A., & Gell, P. (2018). Diatom assemblage in the 24 cm upper sediment associated with human activities in Lake Warna Dieng Plateau Indonesia. *Environmental Technology & Innovation* 10. 314–323. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.03.007>

- Soeprbowati, T. R., Suedy, S. W. A., & Hadiyanto. (2018). Find the future from the past: Paleolimnology in Indonesia. *E3S Web of Conferences* 31, 08002 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183108002>.
- Soeprbowati, T. R., Addadiyah, N. L., Hariyati, R., & Jumari, J. (2021). Physico-chemical and biological water quality of Warna and Pengilon Lakes, Dieng, Central Java. *Journal of Land and Water Development* No. 51(X–XII): 38–49. DOI: 10.24425/jwld.2021.139013 2021
- Soeprbowati, T. R., Purnaweni, H., Jumari, J., & Sari, K. (2022). The Relationship of Water Quality to Epipellic Diatom Assemblages in Cebong Lake, Dieng Indonesia. *Pol. J. Environ. Stud.* 31(1), 281–295. DOI: 10.15244/pjoes/137084
- Soeprbowati, T. R., Jumari, J., Hariyati, R., & Dilazuardi, A. (2023). Ecosystem Approach for Sustaining Water Resources. *Springer Nature Conference Proceeding on Climate Change and Ocean Renewable Energy*. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-26967-7>.
- Soranno, P. A., Spence Cheruvellil, K., Webster, K. E., Bremigan, M. T., Wagner, T., & Stow, C. A. (2010). Using landscape limnology to classify freshwater ecosystems for multi-ecosystem management and conservation. *BioScience*, 60(6), 440–454. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.6.8>.
- Sturm, A., Fowle, D. A., Jones, C. A., Leslie, K., Nomosatryo, S., Henny, C., Canfield, D. E., & Crowe, S. A. (2019). Rates and pathways of CH₄ oxidation in ferruginous Lake Matano, Indonesia. *Geobiology*, 17(3), 294–307. <https://doi.org/10.1111/gbi.12325>.
- Sulastri, Henny, C., & Handoko, U. (2016). Environmental condition and trophic status of Lake Rawa Pening in Central Java. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 1(3), 23–38. doi: 10.14203/oldi.2016.v1i3.20.

- Sulastrri, **Henny, C.**, & Nomosatryo, S. (2019). Keanekaragaman fitoplankton dan status trofik perairan Danau Maninjau di Sumatera Barat, Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*, 5(2), 242–250. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m050217>.
- Sulastrri, **Henny, C.**, & Santoso, A. B. (2019). Phytoplankton composition and the occurrence of cyanobacterial bloom in Lake Maninjau, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 380(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/380/1/012020>.
- Sulastrri, S., **Henny, C.**, & Susanti, E. (2020). Phytoplankton composition and abundance in the floating treatment wetlands (FTWs) system of Lake Maninjau, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 535(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/535/1/012014>.
- Sulastrri, Nomosatryo, S., **Henny, C.**, & Sulawesty, F. (2022). functional groups of phytoplankton and their relationship with environmental factors in Lake Maninjau, West Sumatra, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1062(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1062/1/012012>.
- Sunaryani, A., Harsono, E., Rustini, H. A., & Nomosatryo, S. (2018). Spatial distribution and assessment of nutrient pollution in Lake Toba using 2D-multi layers hydrodynamic model and DPSIR framework. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 118(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012031>.
- Sunaryani, A., Rustini, H. A., & Santoso, A. B. (2021). Short review: Which aquatic ecosystem model should Indonesian lake managers opt for? *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 789(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/789/1/012030>.
- Susanti, E., & **Henny, C.** (2012). *Pengelolaan limbah cair yang mengandung kromium dengan sistem lahan basah buatan dan reaktor kolom*. Pusat Penelitian Limnologi LIPI.

- Susanti, E., **Henny, C.**, & Oktaviyani, D. (2012). Kemampuan sistem lahan basah buatan menyisahkan kromium hexavalen [Cr(VI)]. *Limnotek* 19(1), 72–81.
- Susanti, E., Bafadal, N., Kurnani, T. B., Sunardi, & **Henny, C.** (2017). Temperature effects on lead trophic transfer within the phytoplankton-zooplankton-Nile Tilapia/common carp food web: A case study from Cirata Reservoir, Indonesia. *Proceedings of The 16th World Conference* (618–624).
- Tara, N., Arslan, M., Hussain, Z., Iqbal, M., Khan, Q. M., & Afzal, M. (2019). On-site performance of floating treatment wetland macrocosms augmented with dye-degrading bacteria for the remediation of textile industry wastewater. *Journal of Cleaner Production* 217, 541–548. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.258>.
- Undang Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air (2019). https://jdih.esdm.go.id/storage/document/UU_Nomor_17_Tahun_2019.pdf
- UNEP. (2016). *International Water Quality Guidelines for Ecosystems (IWQGES)*. UNEP-UNESCO.
- von Rintelen, T., von Rintelen, K., Glaubrecht, M., Schubart, C. D., & Herder, F. (2012). Aquatic biodiversity hotspots in Wallacea: the species flocks in the ancient lakes of Sulawesi, Indonesia. *Biotic Evolution and Environmental Change in Southeast Asia* 16, 290–315. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511735882.014>.
- Vuillemin, A., Friese, A., Alawi, M., **Henny, C.**, Nomosatryo, S., Wagner, D., Crowe, S. A., & Kallmeyer, J. (2016). Geomicrobiological features of ferruginous sediments from lake Towuti, Indonesia. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01007>.
- Vuillemin, A., Horn, F., Alawi, M., **Henny, C.**, Wagner, D., Crowe, S. A., & Kallmeyer, J. (2017). Preservation and significance of extracellular DNA in ferruginous sediments from Lake Towuti, Indonesia. *Frontiers in Microbiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01440>.

- Vuillemin, A., Horn, F., Friese, A., Winkel, M., Alawi, M., Wagner, D., **Henny, C.**, Orsi, W. D., Crowe, S. A., & Kallmeyer, J. (2018). Metabolic potential of microbial communities from ferruginous sediments. *Environmental Microbiology*, 20(12), 4297–4313. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14343>.
- Vuillemin, A., Wirth, R., Kemnitz, H., Schleicher, A. M., Friese, A., Bauer, K. W., Simister, R., Nomosatryo, S., Ordoñez, L., Ariztegui, D., **Henny, C.**, Crowe, S. A., Benning, L. G., Kallmeyer, J., Russell, J. M., Bijaksana, S., Vogel, H., & The Towuti Drilling Project Science Team. (2019). Formation of diagenetic siderite in modern ferruginous sediments. *Geology*, 47(6), 540. <https://doi.org/10.1130/G46100.1>.
- Vuillemin, A., Friese, A., Wirth, R., A. Schuessler, J., Schleicher, A. M., Kemnitz, H., Lücke, A., Bauer, K. W., Nomosatryo, S., von Blanckenburg, F., Simister, R., Ordoñez, L. G., Ariztegui, D., **Henny, C.**, Russell, J. M., Bijaksana, S., Vogel, H., Crowe, S. A., Kallmeyer, J., & the Towuti Drilling Project Science Team. (2020). Vivianite formation in ferruginous sediments from Lake Towuti, Indonesia. *Biogeosciences*, 17(7), 1955–1973. <https://doi.org/10.5194/bg-17-1955-2020>.
- Vuillemin, A., Mayr, C., Schuessler, J. A., Friese, A., Bauer, K. W., Lücke, A., Heuer, V. B., Glombitza, C., **Henny, C.**, von Blanckenburg, F., Russell, J. M., Bijaksana, S., Vogel, H., Crowe, S. A., & Kallmeyer, J. (2023). A one-million-year isotope record from siderites formed in modern ferruginous sediments. *Bulletin of the Geological Society of America*, 135(1–2), 504–522. <https://doi.org/10.1130/B36211.1>.
- Widiyono, W. (2019). *Pendekatan lanskap ekosistem embung untuk pemanfaatan air irigasi di lahan beriklim kering Nusa Tenggara Timur*. Orasi Pengukuhan Profesor Riset Bidang Botani. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. <https://penerbit.brin.go.id/press/catalog/book/202>
- Yao, M., **Henny, C.**, & Maresca, J. A. (2016). Freshwater bacteria release methane as a by-product of phosphorus acquisition. *Applied and Environmental Microbiology*, 82(23). <https://doi.org/10.1128/AEM.02399-16>.

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Buku

1. Hidayat, Widiyanto, T., Lukman, Chrismada, T., Said, D., Fachrudin, M., Haryani, G.S., Sulastrri, Yoga, G. P., Sulawesty, F., & Henny, C. (2018). *Tiga Dasawarsa Berkarya-Pusat Penelitian Limnologi (LIPI)*. Lukman, Hidayat, Haryani G.S., Chrismada T., **Henny, C.**, Fakhrudin M., Widiyanto T., Sulastrri, L. (Ed.). LIPI Press.
2. Susanti, E., & **Henny, C.** (2012). *Pengelolaan limbah cair yang mengandung kromium dengan sistem lahan basah buatan dan reaktor kolom*. Pusat Penelitian Limnologi LIPI.

Bagian dari Buku

3. **Henny, C.** (2018). Sistem lahan basah buatan (Constructed Wetlands) sebagai alternatif pengolahan air limbah. Dalam: *Pengembangan teknopark pengelolaan perairan dan sumber daya perikanan di Kabupaten Samosir* (146–164). Penerbit Diandra.
4. **Henny, C.**, Triyanto, Gunawan, Prastyo, K. W., Susanti, E., Rosidah, Sudiono, B. T., & Akhdiana, I. (2012). Pengembangan pemanfaatan danau galian tambang dengan sistem pengelolaan yang berkelanjutan sebagai alternatif ekonomi masyarakat Kepulauan Bangka Belitung pascah timah. Dalam: A. T. Sugiarto, M. Wibowo, & D. S. Andriyani (Ed.) *Ketahanan wilayah: Demi terwujudnya percepatan pembangunan ekonomi yang berwawasan lingkungan* (213–130). LIPI Press

Jurnal International

5. Melati, I., Rahayu, G., Surono, Effendi, H., **Henny, C.**, & Yanto, D.H.Y. (2023). Biodecolorization of anthraquinone and azo dyes by dark septate endophytic fungi. *Bioresource Technology Reports* 22. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101427>
6. Nomosatryo, S., Tjallingii, R., **Henny, C.**, Ridwansyah, I., Wagner, D., Tomás, S., & Kallmeyer, J. (2023). Surface sediment composition and depositional environments in tropical Lake Sentani, Papua Province, Indonesia. *Journal of Paleolimnology*, 69(1), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s10933-022-00259-4>
7. Vuillemin, A., Mayr, C., Schuessler, J. A., Friese, A., Bauer, K. W., Lücke, A., Heuer, V. B., Glombitza, C., **Henny, C.**, von Blanckenburg, F., Russell, J. M., Bijaksana, S., Vogel, H., Crowe, S. A., & Kallmeyer, J. (2023). A one-million-year isotope record from siderites formed in modern ferruginous sediments. *Bulletin of the Geological Society of America*, 135(1–2), 504–522. <https://doi.org/10.1130/B36211.1>
8. Kurniawan, R., Hamim, **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>
9. Davidson, A. B., Holmden, C., Nomosatryo, S., **Henny, C.**, Francois, R., & Crowe, S. A. (2021). Cr Isotopes and the Engineered Attenuation of Cr(VI)-Rich Runoff. *Environmental Science and Technology*, 55(21), 14938–14945. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c01714>
10. Friese, A., Bauer, K., Glombitza, C., Ordoñez, L., Ariztegui, D., Heuer, V. B., Vuillemin, A., **Henny, C.**, Nomosatryo, S., Simister, R., Wagner, D., Bijaksana, S., Vogel, H., Melles, M., Russell, J. M., Crowe, S. A., & Kallmeyer, J. (2021). Organic matter mineralization in modern and ancient ferruginous sediments. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22453-0>

11. Nomosatryo, S., Tjallingii, R., Schleicher, A. M., Boli, P., **Henny, C.**, Wagner, D., & Kallmeyer, J. (2021). Geochemical characteristics of sediment in Tropical Lake Sentani, Indonesia, are influenced by spatial differences in catchment geology and water column stratification. *Frontiers in Earth Science*, 9(May), 1–16. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.671642>
12. Bauer, K. W., Byrne, J. M., Kenward, P., Simister, R. L., Michiels, C. C., Friese, A., Vuillemin, A., **Henny, C.**, Nomosatryo, S., Kallmeyer, J., Kappler, A., Smit, M. A., Francois, R., & Crowe, S. A. (2020). Magnetite biomineralization in ferruginous waters and early Earth evolution. *Earth and Planetary Science Letters*, 549, 116495. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116495>
13. Bray, M. S., Wu, J., Padilla, C. C., Stewart, F. J., Fowle, D. A., **Henny, C.**, Simister, R. L., Thompson, K. J., Crowe, S. A., & Glass, J. B. (2020). Phylogenetic and structural diversity of aromatically dense pili from environmental metagenomes. *Environmental Microbiology Reports*, 12(1), 49–57. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12809>
14. Friese, A., Bauer, K., Glombitza, C., Ordóñez, L., Ariztegui, D., Heuer, V., Vuillemin, A., **Henny, C.**, Nomosatryo, S., Simister, R., Wagner, D., Bijaksana, S., Vogel, H., Melles, M., Russell, J., Crowe, S., & Kallmeyer, J. (2020). *Iron oxide reactivity controls organic matter mineralization in ferruginous sediments.*
15. Vuillemin, A., Friese, A., Wirth, R., A. Schuessler, J., M. Schleicher, A., Kemnitz, H., Lücke, A., W. Bauer, K., Nomosatryo, S., Von Blanckenburg, F., Simister, R., G. Ordoñez, L., Ariztegui, D., **Henny, C.**, M. Russell, J., Bijaksana, S., Vogel, H., A. Crowe, S., Kallmeyer, J., & The Towuti Drilling Project Science Team. (2020). Vivianite formation in ferruginous sediments from Lake Towuti, Indonesia. *Biogeosciences*, 17(7), 1955–1973. <https://doi.org/10.5194/bg-17-1955-2020>
16. Finke, N., Simister, R. L., O’Neil, A. H., Nomosatryo, S., **Henny, C.**, MacLean, L. C., Canfield, D. E., Konhauser, K., Lalonde, S. V., Fowle, D. A., & Crowe, S. A. (2019). Mesophilic microorganisms build terrestrial mats analogous to Precambrian microbial jungles. *Nature Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11541-x>

17. Hempel, P., Keffer, J. L., Shevchenko, O., **Henny, C.**, Polson, S. W., & Maresca, J. A. (2019). Complete genome sequence of *Microbacterium* sp. Strain 10M-3C3, isolated from an extremely phosphorus-poor lake. *Microbiology Resource Announcements*, 8(4). <https://doi.org/10.1128/MRA.01649-18>
18. Ordoñez, L., Vogel, H., Sebag, D., Ariztegui, D., Adatte, T., Russell, J. M., Kallmeyer, J., Vuillemin, A., Friese, A., Crowe, S. A., Bauer, K. W., Simister, R., **Henny, C.**, Nomosatryo, S., & Bijaksana, S. (2019). Empowering conventional Rock-Eval pyrolysis for organic matter characterization of the siderite-rich sediments of Lake Towuti (Indonesia) using End-Member Analysis. *Organic Geochemistry*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2019.05.002>
19. Vuillemin, A., Wirth, R., Kemnitz, H., Schleicher, A. M., Friese, A., Bauer, K. W., Simister, R., Nomosatryo, S., Ordoñez, L., Ariztegui, D., **Henny, C.**, Crowe, S. A., Benning, L. G., Kallmeyer, J., Russell, J. M., Bijaksana, S., Vogel, H., & The Towuti Drilling Project Science Team. (2019). Formation of diagenetic siderite in modern ferruginous sediments. *Geology*, 47(6), 540. <https://doi.org/10.1130/G46100.1>
20. Vuillemin, A., Horn, F., Friese, A., Winkel, M., Alawi, M., Wagner, D., **Henny, C.**, Orsi, W. D., Crowe, S. A., & Kallmeyer, J. (2018). Metabolic potential of microbial communities from ferruginous sediments. *Environmental Microbiology*, 20(12), 4297–4313. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14343>
21. Bray, M. S., Wu, J., Reed, B. C., Kretz, C. B., Belli, K. M., Simister, R. L., **Henny, C.**, Stewart, F. J., DiChristina, T. J., Brandes, J. A., Fowle, D. A., Crowe, S. A., & Glass, J. B. (2017). Shifting microbial communities sustain multiyear iron reduction and methanogenesis in ferruginous sediment incubations. *Geobiology*, 15(5). <https://doi.org/10.1111/gbi.12239>
22. Vuillemin, A., Horn, F., Alawi, M., **Henny, C.**, Wagner, D., Crowe, S. A., & Kallmeyer, J. (2017). Preservation and significance of extracellular DNA in ferruginous sediments from Lake Towuti, Indonesia. *Frontiers in Microbiology*, 8(JUL). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01440>

23. Russell, J. M., Bijaksana, S., Vogel, H., Melles, M., Kallmeyer, J., Ariztegui, D., Crowe, S., Fajar, S., Hafidz, A., Haffner, D., Hasberg, A., Ivory, S., Kelly, C., King, J., Kirana, K., Morlock, M., Noren, A., O'Grady, R., Ordonez, L., **Henny, C.**, ... Tamuntuan, G. (2016). The Towuti Drilling Project: Paleoenvironments, biological evolution, and geomicrobiology of a tropical Pacific lake. *Scientific Drilling*, 21. <https://doi.org/10.5194/sd-21-29-2016>
24. Vuillemin, A., Friese, A., Alawi, M., **Henny, C.**, Nomosatryo, S., Wagner, D., Crowe, S., Andrew, S., & Kallmeyer, J. (2016). Geochemistry and geomicrobiology profiles of ferruginous sediment, Lake Towuti, Indonesia. *PANGAEA*. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.861437>
25. Vuillemin, A., Friese, A., Alawi, M., **Henny, C.**, Nomosatryo, S., Wagner, D., Crowe, S. A., & Kallmeyer, J. (2016). Geomicrobiological features of ferruginous sediments from lake Towuti, Indonesia. *Frontiers in Microbiology*, 7(JUN). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01007>
26. Yao, M., **Henny, C.**, & Maresca, J. A. (2016). Freshwater bacteria release methane as a by-product of phosphorus acquisition. *Applied and Environmental Microbiology*, 82(23). <https://doi.org/10.1128/AEM.02399-16>
27. Crowe, S. A., Maresca, J. A., Jones, C., Sturm, A., **Henny, C.**, Fowle, D. A., Cox, R. P., Delong, E. F., & Canfield, D. E. (2014). Deep-water anoxygenic photosynthesis in a ferruginous chemocline. *Geobiology*, 12(4), 322–339. <https://doi.org/10.1111/gbi.12089>
28. Kopf, S. H., **Henny, C.**, & Newman, D. K. (2013). Ligand-enhanced abiotic iron oxidation and the effects of chemical versus biological iron cycling in anoxic environments. *Environmental Science and Technology*, 47(6), 2602-2611. <https://doi.org/10.1021/es3049459>.
29. Jones, C., Crowe, S. A., Sturm, A., Leslie, K. L., MacLean, L. C. W., Katsev, S., **Henny, C.**, Fowle, D. A., & Canfield, D. E. (2011). Biogeochemistry of manganese in ferruginous Lake Matano, Indonesia. *Biogeosciences* 8, 2977-2991. <https://doi.org/10.5194/bg-8-2977-2011>

30. Loftin, K.A., **Henny, C.**, Adams, C. R., Surampali, R., & Mormile, M. R. (2005). Inhibition of microbial metabolism in Anaerobic Lagoons by selected sulfonamides, tetracyclines, lincomycene and tylosin tartrate. *Env. Toxicol & Chem.* 24(4), 782–788. <https://doi.org/10.1897/04-093R.1>

Jurnal Nasional

31. Sulastrri, **Henny, C.**, & Handoko, U. (2016). Environmental condition and trophic status of Lake Rawa Pening in Central Java Kondisi lingkungan dan status trofik Danau Rawa Pening di Jawa Tengah. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 1(3), 23–38. doi: 10.14203/oldi.2016.v1i3.20
32. **Henny, C.**, & Meutia, A. A. (2014). Water quality and quantity issues of urban lakes in Megacity Jakarta. *Limnotek: Perairan Darat Tropis di Indonesia*, 21(2), 145–156.
33. Prasetyo, K. W., & **Henny, C.** (2013). Pengembangan tanaman kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) sebagai bahan baku papan komposit hasil reklamasi lingkungan di lahan bekas penambangan timah (Kkolong) Pulau Bangka Propinsi Bangka Belitung. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 14(1), 35–42.
34. **Henny, C.**, & Nomosatryo, S. (2012). Dinamika sulfida di Danau Maninjau: Implikasi terhadap pelepasan fosfat di lapisan hipolimnion. *Limnotek*, 19(2), 102–112.
35. Susanti, E., **Henny, C.**, & Oktaviani, D. (2012). Kemampuan sistem lahan basah buatan menyisihkan kromium hexavalen [Cr(VI)]. *Limnotek* 19(1), 72–81.
36. **Henny, C.** (2011). Bioakumulasi logam pada ikan di kolong bekas tambang timah di Pulau Bangka. *LIMNOTEK*, 18(2), 83–95.
37. **Henny, C.** (2011). “Kolong” bekas tambang timah di Pulau Bangka: Permasalahan kualitas air dan alternatif solusi untuk pemanfaatan. *Oseanologi dan Limnologi Di Indonesia*, 37(1), 119–138.

38. **Henny, C.** (2009). Dynamics of biogeochemistry of sulfur in Lake Maninjau. *Limnotek: Perairan Darat Tropis di Indonesia*, 16(2), 74–87.
39. **Henny, C., & Susanti, E.** (2009). Karakteristik limnologis beberapa kolong bekas tambang timah di Paulau Bangka. *Limnotek: Perairan Darat Tropis di Indonesia*, 16(2), 119–131.
40. **Henny, C.** (2008). Chromium (VI) reduction by a mixed culture of sulfate reducing bacteria. *J. Manusia dan Lingkungan*, 15(1), 1–9.
41. **Henny, C., & Mormile, M. R.** (2007). Microbial activity along a spectrum of anaerobic swine lagoon. *J. Manusia & Lingkungan*, 14(2), 45–58.
42. **Henny, C.** (1994). The effect of propylene glycol and ethylene glycol to microbial communities from activated sludge of a pure oxygen industrial wastewater treatment system. *Limnotek* 2(2), 93–99.

Prosiding Internasional

43. **Henny, C., Rohaningsih, D., Suryono, T., Sudarso, J., Yoga, G. P., & Waluyo, A.** (2023). The occurrence of microplastics in the surface water of several urban lakes in the Megacity of Jakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1201*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012023>
44. Melati I., Rahayu, G., Surono, Effendi, H., **Henny, C., & Susanti, E.** (2023). Chromium (VI) bioremediation potential of dark septate endophytic (DSE) fungi. *IOP-Conf. Ser. Earth and Environmental Science 1201*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012077>.
45. Rohaningsih, D., **Henny, C., Susanti, E., Sudiyono, B. T., Febrianti, D., Waluyo, A., Sugiarti, & Lestari, F. S.** (2023). The efficacy of *Vetiveria zizanioides* in a horizontal subsurface constructed wetland for treating textile waste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1201*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012073>.

46. Setiadewi, N., **Henny, C.**, Rohaningsih,, D., Waluyo, A., & Soewondo, P. (2023). Microplastic occurrence and characteristics in a municipal wastewater treatment in Jakarta. *IOP-Conf. Ser. Earth and Environmental Science 1201*. [https:// doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012053](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012053)
47. **Henny, C.**, Rohaningsih, D., Suryono, T., Santoso, A. B., & Waluyo, A. (2022). Microplastic pollution in the surface water of Lake Singkarak, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1118*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1118/1/012050>
48. **Henny, C.**, Rohaningsih, D., Susanti, E., Fajar, S., & Waluyo, A. (2022). Evaluation of *Heliconia psittacorum* in a horizontal flow constructed wetland (HFCW) system for the treatment of textile wastewater. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1062*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1062/1/012026>
49. **Henny, C.**, Rohaningsih, D., Susanti, E., Fajar, S., & Waluyo, A. (2022). Application of constructed floating wetlands (CFWs) to treat textile effluent. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1062*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1108/1/012036>
50. **Henny, C.**, Rohaningsih, D., Triyanto, Suryono, T., Yoga, G. P., & Waluyo, A. (2022). Microplastic pollution in lower Cimandiri River, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1036*. [https:// doi.org/10.1088/1755-1315/1036/1/012114](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1036/1/012114)
51. Melati, I., Rahayu, G., & **Henny, C.** (2022). The recent status of synthetic dyes mycoremediation: A review. *IOP-Conf. Ser. Earth and Environmental Science. 1062*, 012029.
52. Rohaningsih, D., **Henny, C.**, Suryono, T., & Santoso, A. B. (2022). Macroplastic abundance at Lake Singkarak riparian, West Sumatera. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1062(1)*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1062/1/012025>

53. Sulastri, Nomosatryo, S., **Henny, C.**, & Sulawesty, F. (2022). Functional groups of phytoplankton and their relationship with environmental factors in Lake Maninjau, West Sumatra, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1062(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1062/1/012012>
54. **Henny, C.**, Nomosatryo, S., Santoso, A. B., Jasalesmana, T., & Suryono, T. (2021). Biogeochemical characteristics controlling phosphorus release from lake hypolimnion in tropical lakes with different typology: Implication of internal loading on lake eutrophication. *35th Congress of SIL*, 210300
55. Melati, I., Rahayu, G., Surono, Effendi, H., & **Henny, C.** (2021). Decolourization of congo red synthetic dyes by dark septae endophytes. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 948, 012073. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/948/1/012073>.
56. **Henny, C.**, Jasalesmana, T., Kurniawan, R., Melati, I., Suryono, T., Susanti, E., Yoga, G. P., Rosidah, & Sudiono, B. T. (2020). The effectiveness of integrated floating treatment wetlands (FTWs) and lake fountain aeration systems (LFAS) in improving the landscape ecology and water quality of a eutrophic lake in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 535(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/535/1/012018>
57. **Henny, C.**, & Kurniawan, R. (2020). Evaluation of plant structure in urban lake ecosystem and their performance in treatment wetland systems (TWS) to maintain lake water quality in Megacity Jakarta, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 477(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/477/1/012003>
58. Sulastri, S., **Henny, C.**, & Susanti, E. (2020). Phytoplankton composition and abundance in the floating treatment wetlands (FTWs) system of Lake Maninjau, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 535(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/535/1/012014>
59. Susanti, E., Widoretno, M. R., Prihatinningtyas, E., Akhdiana, I., Riffiani, R., **Henny, C.**, & Toruan, R. L. (2020). Phytoplankton diversity in Jakarta Bay Estuary, Indonesia. *IOP-Conf. Ser. Earth and Environmental Science* 1062, 012014.

60. **Henny, C.**, Kurniawan, R., & Akhdiana, I. (2019). Floating treatment wetlands and submerged vegetation for water quality improvement of an urban lake in megacity Jakarta, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 308(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/308/1/012005>
61. **Henny, C.**, Kurniawan, R., & Trisuryono. (2019). Application of floating treatment wetlands in a highly eutrophic lake, Indonesia: A new tool for lake restoration and provision of microhabitat. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 380(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/380/1/012003>
62. Satria, G. A., Lesmana, T. J., **Henny, C.**, & Chrismada, T. (2019). Water quality parameters in a system of waste stabilization (WSP) ponds connected to integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) ponds. *Proceedings of International Symposium on Bioremediation, Biomaterial, Revegetation and Conservation (IS-BIOREV)*.
63. Sulastri, **Henny, C.**, & Santoso, A. B. (2019). Phytoplankton composition and the occurrence of cyanobacterial bloom in Lake Maninjau, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 380(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/380/1/012020>
64. **Henny, C.**, Nomosatryo, S., & Santoso, A.B. (2017). Carbon dioxide and methane accumulation in a highly eutrophic tropical lake, Indonesia. Dalam M. Maghfiroh, A. Dianto, T. Jasalesmana, I. Melati, O. Samir, & R. Kurniawan (Ed.), *Proceedings of The 16th World Lake Conference (557–565)*. Research Center for Limnology, Indonesian Institute of Sciences.
65. Susanti, E., Bafadal, N., Kurnani, T. B., Sunardi, & **Henny, C.** (2017). Temperature effects on lead trophic transfer within the phytoplankton-zooplankton-Nile Tilapia/Common Carp food web: A case study from Cirata Reservoir, Indonesia. *Proceedings of The 16th World Conference (618–624)*.
66. **Henny, C.**, & Nomosatryo, S. (2016). Changes in water quality and trophic status associated with cage aquaculture in Lake Maninjau, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 31(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/31/1/012027>

67. Kurniawan, R., **Henny, C.**, & Meutia, A. A. (2015). Composition of aquatic plant and riparian vegetation in several urban lakes in Megacity Jakarta. *Proceedings of the fifth International Conference of Jabodetabek's Study Forum* (623–631).
68. **Henny, C.**, & Meutia, A. A. (2014). Urban lakes in Megacity Jakarta: Risk and management plan for future sustainability. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 737–746. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.088>
69. **Henny, C.**, & Meutia, A. A. (2014). Urban lake management and strategy: Effect of distinct types of lake surroundings and shoreline landscape development on water quality of urban lakes in Megacity Jakarta. *Proceedings of the 15th World Lake Conference: Lakes: The Mirrors of the Earth, Balancing Ecosystem Integrity and Human Wellbeing* (275–278). Science4Press. <https://ricerca.unistrapg.it/retrieve/handle/20.500.12071/2323/8195/book-of-proceedings.pdf#page=280>.
70. Meutia, A. A., **Henny, C.**, & Uchiyama, Y. (2014). Coliform and E. coli levels at several urban lakes in Jakarta Megacity. *Proceedings of 15th World Lake Conference* (279–282). <https://ricerca.unistrapg.it/retrieve/e0ebe575-f8b8-5e21-e053-d805fe0ac172/book-of-proceedings.pdf#page=284>
71. **Henny, C.**, & Nomosatryo, S. (2012). Nutrient dynamics in sulfidic Lake Maninjau, Indonesia : Implication of fish cage aquaculture. *Proceedings of The 10th International Symposium on South East Asia Water Environment*.
72. **Henny, C.**, & Triyanto. (2011). Effect of climate change on water quality of pit lakes in Bangka Island. *Proceedings of International Meeting of Asia Pasific of Ecohydrology* (151–163).
73. Santoso, A. B., Nomosatryo, S., & **Henny, C.** (2011). CO₂ emission sink in Java eutrophic shallow lakes. *Proceedings of International symposium on South Asian Water Environment 9*,, 2009–2015.

74. **Henny, C.**, Triyanto, & Suryono, T. (2008). Dynamics of biogeochemistry of Lakes Maninjau and Batur. *Proceedings of Indonesian Inland Water International Conference* (43–51).
75. Loftin, K., **Henny, C.**, Surampali, R., Adams, C. D., & Mormile, M. R. (2004). Effect of antimicrobial agents on the performance of high-rate anaerobic treatment of swine waste. *Proceedings of 104th General Meeting of the American Society for Microbiology* (58–63).
76. Sasidhara, P. V., **Henny, C.**, Surampali, R., Adams, C., Mormile, M., & Burken, J. (2004). Effect of antimicrobial agents on the performance of high-rate anaerobic treatment of swine waste. *Proceedings of 104th General Meeting of the American Society for Microbiology*. New Orleans, LA, USA.
77. Loftin, K., **Henny, C.**, Surampali, R., Adams, C. D., & Mormile, M. R. (2003). Effect of veterinary antibiotics on anaerobic metabolism in swine lagoon. *Proceedings of 103rd General Meeting of the American Society for Microbiology* (102–106).
78. **Henny, C.**, Katz, L. E., MacRae, J. D., & Weathers, L. J. (1998). Abiotic and Biotic Cr (VI) reduction in a Laboratory-Scale Permeable Reactive Barrier. *Proceedings of the Sixth International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium* (139–145).

Prosiding Nasional

79. Sugiarti, Setiadewi, N., & **Henny, C.** (2020). Studi awal penyisihan fosfat pada limbah artifisial NPK pupuk NPK menggunakan floating treatment wetlands (FTWs). *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Limnologi Indonesia 2019* (87–98).
80. Susanti, E., Wulandari, S., **Henny, C.**, & Melati, I. (2020). Pengolahan air limbah budidaya berbasis IMTA (Integrated Multi Trophic Aquaculture) menggunakan constructed wetland surface flow system. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Limnologi Indonesia 2019* (135–147).

81. Sulastrri, S., **Henny, C.**, & Nomosatryo, S. (2019). Diversitas fitoplankton dan status trofik Danau Maninjau, Sumatera Barat, Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia* (242–250).
82. **Henny, C.** (2018). Danau bekas tambang timah di Bangka Belitung: Sumber daya air baru dan pengelolaan kualitas airnya. Dalam Lukman, F. Zulti, M. Maghfiroh, & Sugiarti (Ed.), *Prosiding Masyarakat Limnologi Indonesia 2017* (30–37).
83. Kurniawan, R., & **Henny, C.** (2018). Sistem floating treatment wetlands (FTWs) skala lab dalam menurunkan nutrient dan padatan tersuspensi pada limbah kotoran ternak. *Prosiding Kongres dan Pertemuan Ilmiah Tahunan III Masyarakat Limnologi Indonesia 2018* (97–103).
84. Melati, I., **Henny, C.**, & Suryono T. (2018). Persepsi masyarakat dan kontribusi limbah domestik (ld) terhadap pencemaran air Danau Maninjau. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Limnologi Indonesia 2017* (81–88).
85. Melati, I., & **Henny, C.** (2018). Kondisi bakteriologis beberapa danau bekas tambang (kolong) di Belitung, Provinsi Bangka Belitung. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Limnologi Indonesia 2017* (44–48).
86. **Henny, C.**, Kurniawan, R., Rosidah, & Dianto, A. (2016). Karakteristik fisika kimia Sungai Gambut di Kabupaten Siak dan Bengkalis, Provinsi Riau: Implikasi ekspansi perkebunan sawit di wilayah sempadan sungai. Dalam G. S. Haryani, G. Henny, Lukman, M. Fakhrudin, Tj. Chrismadha, L. Subehi, & S. Larashati (Ed.), *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Limnologi Indonesia 2016* (296–307).
87. Kurniawan, R., & **Henny, C.** (2016). Tumbuhan air dan kualitas air di Sungai Mandau, Kabupaten Siak, Provinsi Riau. Dalam G. S. Haryani, G. Henny, Lukman, M. Fakhrudin, Tj. Chrismadha, L. Subehi, & S. Larashati (Ed.), *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Limnologi Indonesia 2016* (152–164).

88. Kurniawan, R., & **Henny, C.** (2016). Biodiversitas tumbuhan air dan kualitas air di beberapa situ di wilayah Jabodetabek. Dalam G. S. Haryani, G. Henny, Lukman, M. Fakhrudin, Tj. Chrismadha, L. Subehi, & S. Larashati (Ed.), *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Limnologi Indonesia 2016* (112–124).
89. Nomosatryo, S., **Henny, C.**, Roihaeti, E., & Batubara, I. (2016). Keseimbangan penjerapan fosfat antar muka air sedimen: Studi kasus Danau Matano. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Limnologi Indonesia 2016* (246–254).
90. **Henny, C.** (2015). Ecotechnology and ecosystem-based management tools as alternative solutions to reduce risks of ecosystem disaster and fish kills in Lake Maninjau. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi VII* (231–240).
91. Nomosatryo, S., **Henny, C.**, Santoso, A. B., Sadi, N. H., Rosidah, Lestari, F. S., & Oktaviani, D. (2015). Keseimbangan gas CO₂ di Danau Tondano, Sulawesi Utara. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi VII* (341–352).
92. Rosidah, **Henny, C.**, Susanti, E., Kurniawan, R., Sudiyono, B. T., Akhdiana, I., & Oktaviani, D. (2015). Kajian awal penurunan bebn nutrien dan bahan organik pada kolam ikan menggunakan Floating Treatment Wetland. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi VII* (610–619).
93. **Henny, C.**, Nomosatryo, S., Susanti, E., Kurniawan, R., Rosidah, & Akhdiana, I. (2014). Kondisi limnologis Danau Gambut Pulau Besar di Kawasan Margasatwa Zamrud, Kabupaten Siak, Provinsi Riau. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan MLI I* (453–467).
94. Nomosatryo, S., **Henny, C.**, Jones, C., Michiels, C., & Crowe, S. A. (2014). Karakteristik dan klasifikasi trofik di D. Matano dan Towuti Sulawesi Selatan. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Limnologi Indonesia I 2014* (493–507).
95. Zulti, F., & **Henny, C.** (2013). Sintesa karbon aktif dari cangkang kelapa sawit untuk mereduksi konsentrasi suspended solid dari limbah. *Prosiding seminar nasional: Diponegoro Physics 1st Conference 2013* (124–129).

96. Nomosatryo, S., **Henny, C.**, Batubara, I., & Rohaeti, E. (2012). Fraksinasi fosforus pada sedimen di bagian litoral Danau Matano, Sulawesi Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi VI* (493–510).
97. Rosidah, & **Henny, C.** (2012). Kajian logam Fe, Al, Cu dan Zn pada perairan kolong paska penambangan timah di Pulau Bangka. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi V* (393–407).
98. **Henny, C.**, & Gunawan. (2011). Efektifitas pemanfaatan sistem passive treatment sebagai unit pengelolaan air baku kolong asam bekas tambang timah untuk budidaya ikan nila. *Prosiding Forum Perairan Umum Indonesia VIII* (261–278).
99. **Henny, C.**, Satria, G. S., & Susanti, E. (2010). Pengolahan air asam tambang menggunakan sistem “passive treatment”. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi V* (331–343).
100. Prasetyo, W. K., **Henny, C.**, & Ismadi. (2010). Karakteristik papan komposit dari kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) hasil budidaya di lahan bekas penambangan timah (kolong) Pulau Bangka Propinsi Bangka Belitung. *Prosiding Seminar Nasional MAPEKI XIII* (18–25).
101. Triyanto, & **Henny, C.** (2010). Estimasi penentuan daya dukung perairan kolong untuk pengembangan budidaya ikan dengan menggunakan aplikasi model beban posfor di Pulau Bangka. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi V* (256–271).
102. **Henny, C.**, & Satria, G. A. (2009). Kandungan logam pada biota akuatik kolong bekas tambang timah di Pulau Bangka. *Prosiding Seminar Nasional Forum Perairan Umum Indonesia VI* (221–230). Pusat Riset Perikanan Tangkap, Balai Riset Perikanan Perairan Umum, Badan Riset Kelautan dan Perikanan. Palembang.
103. **Henny, C.**, Satria, G. A., & Susanti, E. (2008). Efek pemanfaatan insitu terhadap kualitas air “kolong” pasca penambangan timah. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi IV* (96–104).

104. **Henny, C.** (1996). Biodegradasi 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid oleh tiga jenis lumpur aktif. *Prosiding Seminar Nasional Mikrobiologi II* (47–53).

Daftar Paten

105. Lupita, V., Fakhurroja, H., Mahardiono, N. A., Cahyaningsih, S., Tanu, E., Savitri, Sugiarto, A. T., Saepudin, D., Koswara, & **Henny, C.** (2021). Metode degradasi logam berat dan senyawa berbahaya pada likuid menggunakan oksidasi lanjut dan resonansi elektromagnetik (Nomor Paten: IDP000074801). Direktorat Jenderal Kekayaan dan Intelektual.
106. Lupita, V., Fakhurroja, H., Mahardiono, N. A., Tanu, E., Sugiarto, A. T., Darmayanti, N. T. E., Zaid, G., **Henny, C.**, Cahyaningsih, S., Saepudin, D., & Sutarman, U. (2018). Sistem pengolahan air baku menjadi air minum menggunakan kombinasi pengolahan fisika dan kimia (Nomor Pendaftaran Paten P00201809274).

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

1. **Henny, C.** (2021). Evaluasi sistem *horizontal flow constructed wetlands* (hfcws) dan *constructed floating wetlands* (CFWs) menggunakan *Heliconia psittacorum* dan *Vetiveria zizanoides* untuk pengolahan air limbah tekstil [Dokumen Teknis]. Kegiatan PRN. Pusat Penelitian Limnologi LIPI.
2. **Henny, C.** (2021). Biogeokimia Pb dan Cd di perairan muara Teluk Jakarta [Dokumen Teknis]. Kegiatan Riset COREMAP-CTI 2021-2022. Pusat Penelitian Limnologi LIPI.
3. **Henny, C.** (2021). Polusi mikroplastik di air permukaan Danau Singkarak dan di sungai inlet dan outlet: “First Occurrence” dan kelimpahan [Dokumen Teknis]. Kegiatan PRN. Pusat Penelitian Limnologi LIPI.
4. **Henny, C., & Fakhrudin M.** (2019). Peningkatan kualitas air Maninjau dari eutrofik ke mesotrofik [Dokumen Teknis]. Pusat Penelitian Limnologi LIPI.
5. Kallmeyer, J., Friese, A., Bauer, K. W., Crowe, S., Nomosatryo, S., Heuer, V. B., Glombitza, C., Ordonez, L., Ariztegui, D., Vuillemin, A., Rachel Simister, R., **Henny, C.**, Bijaksana, S., Vogel, H., Melles, M., & Russell, J. M. (2019, Desember). Methanogenesis dominates organic matter mineralization in ferruginous sediments. *American Geophysical Union, Fall Meeting 2019, abstract #B22B-08*. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019AGUFM.B22B..08K/abstract>
6. Friese, A., Vuillemin, A., Kallemejer, J., Glombitza, C., Simister, R., **Henny, C.**, Bauer, K. W., Hauer, V. B., Ariztegui, D., Crowe, S., Bijaksana, S., Vogel, Melles, M., H., Russell, J. M., & Wagner, D. (2018). Methanogenesis predominates organic matter mineralization in a ferruginous, non-sulfidic sedimentary environment. *Proceeding 20th EGU General Assembly Conference*

Abstracts (EGU2018) (7446). Vienna, Austria, 4-13 April 2018. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018EGUGA..20.4855V/abstract>

7. **Henny, C.** (2018). Pengelolaan Danau Maninjau berbasis pendekatan ekosistem [Policy Brief]. Pusat Penelitian Limnologi LIPI.
8. **Henny, C.** (2018, 12 Maret). Status ekosistem Danau Sentani: Strategi pengelolaan kualitas air [Presentasi makalah]. Seminar Nasional Hari Air Sedunia: Selamatkan Cycloop dan Lestarian Danau Sentani. Hotel Grand Allison Sentani, Kota Sentani, PDAM dan PEMKAB Jayapura.
9. Nomosatryo, S., Kellemejer, J., Wagner, D., **Henny, C.**, Boli, P., Kopalit, H., Tischer, J., & Lehmann, M. F. (2018). Biogeochemical characteristics of Lakes in Western Papua, Indonesia. *Proceeding 20th EGU General Assembly Conference Abstracts* (EGU2018) (8457). Vienna, Austria, 4-13 April 2018. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018EGUGA..20.8457N/abstract>
10. Vuillemin, A., Kallemejer, J., Friese, A., Richard, W., Kemnitz, H., Schuessler, J. A., Benning, L. G., Luecke, A., Mayr, C., **Henny, C.**, Bauer, K. W., Crowe, S. A., Russell, J. M., Bijaksana, S., Vogel, H., & the ICDP Towuti Drilling Project Science Team. (2018). Diagenetic siderites and vivianites in ferroginous sediment from Lake Towuti. Indonesia. *Proceeding 20th EGU General Assembly Conference Abstracts* (EGU2018) (4855). Vienna, Austria, 4-13 April 2018. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018EGUGA..20.4855V/abstract>
11. Kellemejer, J., Nomosatryo, S., **Henny, C.**, & Kopalit, H. (2016, 12 Desember). Biogeochemistry of lakes in Western Papua, Indonesia - First results of a pilot study. *American Geophysical Union, Fall Meeting 2016, abstract#PP41D-04*. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2016AGUFMPP41D..04K/abstract>
12. **Henny, C.** (2015, Agustus). Situ, danau urban megapolitan Jakarta: Risiko, ketahanan dan strategi pengelolaan multifungsi danau. *Warta Limnologi*. Puslit Limnologi LIPI.

13. Davidson, A., Nomostaryo, S., **Henny, C.**, Holmden, C., Francois, R., & Crowe, S. (2014, 24 Oktober). Analyzing engineered removal of chromium from drainage waters sourced from lateritic soils in Indonesia. *GSA Annual Meeting* in Vancouver, British Columbia. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=id&user=pyn
14. Hefford, A. S., Nomostaryo, S., **Henny, C.**, & Crowe, S. A. (2014, 24 Oktober). Oxidative weathering causing chromate production and redistribution in Indonesian laterites. *GSA Annual Meeting* in Vancouver, British Columbia. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=id&user=pyn
15. **Henny, C.** (2011). Pemanfaatan danau galian tambang [Materi Pelatihan]. Pusat Penelitian Limnologi LIPI. 32 hlm.
16. **Henny, C.** (2011). *Karakteristik danau galian tambang*. Puslit Limnologi LIPI.
17. **Henny, C.** (2007, 4 September). Kandungan logam tinggi. *Kompas*.
18. **Henny, C.** (2007, 7 September). Membersihkan air di lubang galian. *Koran Tempo*. <https://koran.tempo.co/read/ilmu-dan-teknologi/110432/membersihkan-air-di-lubang-galian>
19. **Henny, C.**, Weathers, L. J., & Katz, L. (2003, Mei). Reduction of Chromium (VI) by a mixed culture of sulfate-reducing bacteria (SRB). *Column ASM General Conference Abstract*. Washington, D.C.
20. **Henny, C.** (2001). *Treatment of hexavalent chromium contaminated waters using zero valent iron under sulfate reducing conditions* [Disertasi Doktor tidak diterbitkan, Dept. Environmental Science and Engineering -The University of Maine].
21. **Henny, C.** (1993). *The characterization of microbial community from activated sludge of a pure oxygen industrial wastewater system* [Tesis Master tidak diterbitkan, Dept. Environ. Science and Engineering-The University of North Carolina].

GLOSARIUM

- abiotik : Komponen yang tidak hidup dalam suatu ekosistem yang membentuk lingkungannya, seperti air, tanah, dan atmosfer.
- alga : Kelompok organisme air, fotosintetik, dan pembawa nukleus yang dominan. Kebanyakan hanya dalam bentuk satu sel dan tidak memiliki akar, batang, daun, dan struktur reproduksi multisel khusus tumbuhan.
- anoksik : Suatu kondisi lingkungan perairan tidak mengandung oksigen terlarut, disebut kondisi kekurangan/kehabisan oksigen.
- anorganik : Senyawa kimia yang tidak terdiri dari atau berasal dari materi hidup.
- antropogenik : Perubahan lingkungan yang disebabkan atau dipengaruhi oleh manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung.
- Archean Ocean : Laut purba pada periode/waktu geologikal sekitar 2,5–4 miliar juta tahun yang lalu dan periode ketika kehidupan pertama kali terbentuk di Bumi.
- autigenik : Proses terbentuknya mineral di dalam sedimen dan batuan sedimen. Mineral di dalam sedimen disebut sebagai mineral autigenik.

- biogeokimia danau : Proses dan reaksi secara fisika, kimia, biologi, dan geologi yang mengatur pergerakan elemen/senyawa di lingkungan danau. Siklus biogeokimia dikenal dengan aliran pertukaran (fluks) massa dari setiap unsur atau senyawa yang bergerak melintasi komponen biotik dan abiotik.
- biogenik : yang dihasilkan oleh makhluk hidup; Elemen biogenik adalah elemen yang dibutuhkan untuk proses kehidupan. Unsur biogenik meliputi, namun tidak terbatas pada, karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, belerang, dan fosfor.
- biokimia : Proses kimia dalam sel atau tubuh makhluk hidup.
- biota : tumbuhan dan hewan yang terdapat di alam (danau, laut atau hutan).
- biotik : Komponen makhluk hidup dalam suatu ekosistem, seperti tumbuhan, hewan, dan bakteri.
- buffer zone* : Suatu kawasan/ruang yang merupakan bagian dari ruang terbuka hijau berfungsi sebagai daerah penyangga.
- Constructed Wetland* : Sistem pengolahan yang menggunakan proses alami dengan melibatkan vegetasi lahan basah, tanah, dan kumpulan mikroba terkait untuk meningkatkan kualitas air dan mengurangi efek berbahaya dari limbah, serta menyanggah upaya konservasi air.

- Community Based Management* : Pengelolaan berbasis masyarakat. Pendekatan organisasi dari bawah ke atas yang dapat difasilitasi oleh struktur pemerintah atau LSM yang lebih tinggi, tetapi bertujuan untuk partisipasi pemangku kepentingan lokal dalam perencanaan, penelitian, pengembangan, pengelolaan dan pembuatan kebijakan untuk masyarakat secara keseluruhan.
- Cincin Api Pasifik : *Pacific ring of fire*, merupakan daerah pertemuan lempeng-lempeng tektonik yang menjadikan wilayah yang terlewati jalur cincin api sering mengalami gempa bumi hingga letusan gunung berapi.
- Cryptodepression : Depresi di permukaan bumi yang berada di bawah permukaan laut rata-rata, dan yang diisi oleh danau.
- danau bekas tambang (DBT) : danau yang terbentuk dari pascaoperasi tambang permukaan
- danau glasial : danau yang terbentuk dari aktivitas gletser
- danau karst : Danau yang terbentuk dari runtuh gua, terutama pada batuan yang larut dalam air, seperti batu kapur, gipsum, dan dolomit.
- danau Landslide Dam : Danau yang terbentuk oleh endapan tanah longsor atau tanah longsor bergerak menghalangi aliran air permanen atau sesaat yang mengarah ke pembentukan danau alami yang terisi air.
- danau Oxbow : Danau Tapal Kuda, danau yang terbentuk akibat proses pemotongan saluran sungai meander secara alami dan ditinggalkan oleh alirannya sehingga disebut juga danau mati.

- danau paparan banjir : Danau alami yang merupakan bagian dari sungai yang muka airnya terpengaruh langsung oleh muka air sungai.
- danau tektonik : Danau yang terbentuk dari deformasi kerak bumi dan gerakan lateral dan vertikal yang dihasilkan oleh aktivitas tektonik
- danau urban : Danau yang berada di lingkungan perkotaan
- danau tektono-vulkanik : Danau yang terbentuk dari erupsi gunung merapi dan juga deformasi dari kerak bumi oleh aktivitas tektonik.
- danau vulkanik : Danau yang terbentuk dari erupsi gunung merapi atau disebut juga danau kaldera. Danau kawah (*crater*) adalah danau vulkanik yang masih aktif.
- diagenesis : Proses fisika dan kimiawi yang memengaruhi material sedimen setelah pengendapan dan sebelum proses perubahan dalam pembentukan mineral atau tekstur yang terjadi pada batuan diantara endapan dan pelapukan.
- DTA : daerah tangkapan air; Area di mana limpasan permukaan terbawa oleh sistem drainase tunggal. Luas lahan yang dibatasi oleh daerah aliran sungai yang mengalir ke sungai, danau, atau waduk.
- ekosistem danau : Ekosistem danau tergolong habitat air tawar yang mempunyai perairan tenang dan dicirikan oleh adanya arus yang sangat lambat berkisar 0,1-1 cm/detik atau tak ada arus sama sekali. Ekosistem danau meliputi tumbuhan, hewan, dan mikro-organisme (biotik), serta interaksi dengan lingkungannya (abiotik).

- ekosistem sehat : Ekosistem yang memiliki keseimbangan lingkungan yang baik. Dalam ekosistem yang sehat, masing-masing komponen ekosistem berjalan sesuai dengan fungsinya dengan baik dan dalam keadaan yang seimbang.
- ekoteknologi : Ilmu terapan untuk memenuhi kebutuhan manusia dengan gangguan ekologis minimal, dengan memanfaatkan dan memanipulasi kekuatan alam untuk memanfaatkan efek menguntungkannya. Ekoteknologi mengintegrasikan dua bidang studi: ekologi teknik dan teknik ekologi, yang membutuhkan pemahaman tentang struktur dan proses ekosistem dan masyarakat.
- emerging pollutant* : Bahan kimia dan senyawa yang baru-baru ini diidentifikasi berbahaya bagi lingkungan dan berdampak bagi kesehatan manusia, serta meningkatkan kekhawatiran terhadap dampak yang akan ditimbulkan.
- eutrofikasi : Proses di mana seluruh atau sebagian dari badan air (danau), secara bertahap mengalami peningkatan nutrisi (nitrogen dan fosfor). Eutrofikasi juga didefinisikan sebagai peningkatan produktivitas fitoplankton atau peledakan populasi fitoplankton yang disebabkan oleh peningkatan unsur nutrisi. Air danau akan berwarna hijau pekat.
- Ferroginous Lake* : Danau yang air dan sedimennya kaya akan zat besi.
- fitoplankton : Komposisi kimia bumi beserta mineral dan batuan penyusunnya.

- geokimia : Komposisi kimia bumi beserta mineral dan batuan penyusunnya
- geomorfologi : Karakteristik bentuk alam/wilayah yang termasuk dalam kategori geografis. Karakteristik wilayah secara geografis dicirikan dengan keadaan fisik dari wilayah tersebut, seperti topografi/relief, bentuk lahan, dan tutupan lahan.
- graben shape* : Bentuk graben dengan dinding yang curam. Graben membentuk fitur dataran rendah seperti cekungan dan lembah celah yang panjangnya relatif terhadap lebarnya.
- hidrologi : Ilmu yang mempelajari tentang pergerakan, distribusi, dan pengelolaan air di Bumi, termasuk siklus air, sumber daya air, dan keberlanjutan cekungan drainase.
- hidro-geomorfologi : Ilmu yang berhubungan dengan kejadian air dan bentuk lahan. Hidrogeomorfologi danau adalah fungsi dari kinematika curah hujan, topografi permukaan, morfologi danau dan limpasan, dll.
- in situ* : pada posisi atau tempat alami atau aslinya
- jasa ekosistem : Jasa yang disediakan oleh ekosistem untuk manusia dan menjadi dasar untuk penilaian suatu ekosistem. Kegiatan untuk memanfaatkan potensi jasa ekosistem dengan tidak merusak lingkungan dan kehidupan manusia.

- ketahanan ekosistem danau : Ekosistem danau yang tahan dan mampu merespons gangguan dari eksternal terhadap dampak aktivitas antropogenik dan perubahan iklim tanpa mengganggu proses alami yang terjadi dan fungsi ekologis di dalamnya.
- KJA : keramba jaring apung; Budi daya ikan dengan menggunakan wadah berupa kantung yang terbuat dari jaring, terikat pada kerangka bambu atau besi, dilengkapi pelampung, dan ditempatkan di badan air.
- litoral : Zona pantai/pasang surut, dengan radiasi matahari yang mencapai dasar di atas 1%.
- limnologi : Ilmu yang mempelajari tentang ekosistem perairan darat, mengkaji struktur dan fungsi hubungan antara organisme perairan darat dan dinamika fisik, kimia, dan biologi lingkungannya.
- limnic eruption* : Jenis bencana alam yang terjadi ketika karbon dioksida (CO₂) secara mendadak meletus dari dasar danau dan membentuk awan gas yang dapat membuat hewan dan manusia mati lemas karena tidak dapat bernapas.
- Meromictic Lake : Danau yang terstratifikasi permanen secara termal, lapisan air atas/permukaan yang lebih hangat tidak pernah tercampur dengan lapisan air di bawahnya yang lebih dingin.

- metabolisme : Metabolisme mengacu pada semua reaksi biokimia yang terjadi dalam sel atau organisme. Studi tentang metabolisme bakteri fokus pada alur reaksi kimia dari oksidasi substrat dan reaksi perombakan senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana untuk menghasilkan energi.
- morfogenesis : dalam konteks danau adalah proses pembentukan awal danau.
- nature based solution* : Pendekatan inovatif untuk pemulihan alam yang berkelanjutan yang terkena dampak aktivitas manusia, memulihkan fungsi ekologis utama yang meningkatkan kualitas hidup manusia. Dalam konteks pemulihan danau adalah pendekatan berbasis karakteristik spesifik alami dan proses alam dari ekosistem danau.
- organik : Senyawa kimia berkaitan dengan atau berasal dari materi hidup.
- Precambrian Eon : Periode geologikal paling awal dari sejarah bumi.
- penjerapan : atau adsorpsi adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu zat cair atau gas terikat kepada suatu padatan/mineral (zat penjerap, adsorben) dan akhirnya membentuk suatu lapisan tipis atau film (zat terjerap, adsorbat) pada permukaannya.
- redoks : Reaksi kimia yang terjadi antara senyawa pengoksidasi dan senyawa pereduksi. Senyawa pengoksidasi kehilangan elektron dalam reaksi, dan senyawa pereduksi memperoleh elektron.

- respirasi aerobik : Proses kimia dalam perombakan karbohidrat (gula) menggunakan oksigen untuk menghasilkan energi.
- respirasi anaerobik : Proses kimia dalam perombakan karbohidrat (gula) tanpa oksigen untuk menghasilkan energi
- riparian : area daratan yang mengelilingi aliran air, sungai, dan danau, dan dipengaruhi air pasang surut. Vegetasi riparian merupakan vegetasi yang tumbuh di tepian perairan dan memiliki ciri morfologi, fisiologi, dan reproduksi yang beradaptasi dengan lingkungan basah
- SDA : sumber daya air; danau, sungai, waduk, embung, air tanah.

Struktur Lapisan Kolom Air

- epilimnion : Lapisan air paling atas dan terhangat (juga disebut lapisan campuran) dari sebuah danau yang mengalami stratifikasi secara termal karena pemanasan musiman di permukaan danau.
- metalimnion : Lapisan air transisi dari gradien densitas dan suhu yang menghubungkan lapisan epilimnion dan hipolimnion.
- hipolimnion : Lapisan air dengan densitas yang berat, terdalam, dan terdingin dari danau yang terstratifikasi secara termal dan . Hipolimnion tidak mendukung fotosintesis, tidak tembus radiasi matahari, dan tanpa kandungan oksigen (kondisi anoksik).

Strafikasi Lapisan Air

- oksiklin : Lapisan air dengan gradien kandungan oksigen terlarut yang tajam di danau. Batas lapisan transisi antara lapisan air atas dengan kandungan oksigen rendah dan lapisan air yang anoksik (zero oksigen) di bawahnya.
- piknoklin : Lapisan air danau dengan gradien densitas yang tajam, ditandai dengan perbedaan densitas pada lapisan di atas dan di bawahnya. Lapisan transisi antara air yang lebih ringan di permukaan dan air dalam yang lebih berat di bawahnya.
- termoklin : Lapisan air dengan gradien suhu yang tajam di danau, ditandai dengan perbedaan suhu di lapisan di atas dan di bawahnya. Lapisan transisi antara air yang lebih hangat di permukaan dan air dalam yang lebih dingin di bawahnya.
- status trofik : Indikator tingkat kesuburan suatu perairan yang digunakan untuk memonitor kualitas perairan.
- oligotrofik : Kondisi danau yang sangat miskin nutrien, tingkat kesuburan dan kelimpahan fitoplankton rendah, dan umumnya air mengandung oksigen terlarut yang tinggi.
- mesotrofik : Kondisi danau dengan kandungan nutrien dan tingkat kesuburan sedang.
- eutrofik/
hypereutrofik : Kondisi danau dengan kandungan nutrien dan tingkat kesuburan sangat tinggi, dan air mempunyai kandungan oksigen terlarut yang sangat rendah bahkan bisa habis.

water retention time : Waktu tinggal air atau umur air. Waktu rata-rata yang dibutuhkan air untuk tinggal/ tertampung di dalam danau. Waktu retensi dapat dihitung dari membagi volume air danau dengan aliran debit danau.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama	: Dr. Cynthia Henny, M.Sc.
Tempat, tanggal lahir	: Lirik-Riau, 18 Februari 1963
Anak ke	: 7 dari 9 Bersaudara
Jenis Kelamin	: Perempuan
Nama ayah kandung	: Azis Hamid (alm.)
Nama ibu kandung	: Zainab Syaid (almh.)
Nama Instansi	: Pusat Riset Limnologi dan Sumber Daya Air, BRIN
Judul Orasi	: Pengelolaan Kualitas Air Danau Melalui Pendekatan Biogeokimia
Bidang kepakaran	: Limnologi
No. SK Pangkat Terakhir	: 14/K Tahun 2022, tanggal 24 Agustus 2022
No. SK Peneliti Ahli Utama	: Nomor 27/M Tahun 2022, tanggal 24 Juni 2022

B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1.	SD	YPKP	Lirik	1974
2.	SMP	Yos Sudarso	Padang	1977
3.	SMA	Don Bosco	Padang	1981
4.	S-1	FMIPA Biologi- Universitas Andalas	Padang	1986
5.	S-2	Dept. Environ. Science and Engineering-The University of North Carolina	Chapel Hill, NC- USA	1993
6.	S-3	Dept. Environmental Science and Engineering-The University of Maine	Orono, ME-USA	2001

C. Pendidikan Nonformal

No.	Nama Pelatihan/ Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1.	Environmental Assessment on Air and Water Pollution	Rijk Universitat, Ghent-Belgium	1988
2.	Industrial Pollution Control	National Institute for Resources and Environment, Tsukuba, Jepang	1995

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Pelatihan/ Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
3.	Anaerobic Treatment of High-Strength Industrial dan Agricultural Wastes	Marquette University, Wisconsin-USA	2003
4.	Diplomacy on International Scientific Meeting and Conferences	Jakarta-Indonesia	2011
5.	Reviewer Penelitian K/L	Kemenristek/BRIN	2021

D. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Peneliti Pertama Gol. III/a	1 Agustus 1988
2.	Asisten Peneliti Muda Gol. III/b	1 Oktober 1993
3.	Ajun Peneliti Madya Gol. III/c	1 Juni 1997
4.	Peneliti Ahli Madya Gol IV/a	1 Mei 2007
5.	Peneliti Ahli Madya Gol IV/b	1 Oktober 2011
6.	Peneliti Ahli Madya Gol IV/c	1 April 2016
7.	Peneliti Ahli Utama IV/d	1 Desember 2018
8.	Peneliti Ahli Utama IV/e	1 April 2022

E. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1.	Sebagai Anggota Kegiatan Penelitian	Kepala Pusat Penelitian Limnologi LIPI	2014–2019

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
2.	Kegiatan penelitian- program kompetitif Kepala LIPI	Peneliti Kepala	Kepala LIPI 2006–2008 2009–2011
3.	Kegiatan penelitian- program Unggulan LIPI	Peneliti Kepala	Kepala LIPI 2015–2017
4.	Kegiatan penelitian- Kolaborasi Asing (UBC Canada) Biogeochemistry of Malili lakes	Peneliti Kepala	Kepala Pusat Penelitian Limnologi LIPI 2008–2015
5.	Kegiatan penelitian- Kolaborasi Asing (GFZ-UBC- University of Geneva) -Towuti Drilling Project	Peneliti Kepala	Kepala Pusat Penelitian limnologi LIPI 2015–2017
6.	Kegiatan penelitian- Kolaborasi Asing (GFZ Jerman)- Biogeochemistry and Geomicrobiology of tropical lakes	Peneliti Kepala	Kepala Pusat Penelitian limnologi LIPI 2017– sekarang
7.	Post-doctoral Anaerobic Lagoon Treatment		Rolla, Missouri USA 2001–2004
8.	Research Fellowship - Urban lake management		Research Institute for Humanity and Nature, Kyoto, Jepang 2013

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
9.	Delegasi IORA Republik Indonesia- Meeting on Water Environment	Departemen Luar- Negeri dan IORA South Africa	2015
10.	Tim penyusun Water Quality Guideline for International Ecosystem- UNU- UNEP-UNESCO	UNU-UNEP	2014 –2015

F. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1.	American Society for Microbiology annual meeting	Pemakalah	ASM-Amerika Serikat	1993, 2002, 2003
2.	Seminar Nasional Mikrobiologi Lingkungan II	Pemakalah	Puslit Biologi LIPI, Bogor- Indonesia	1996
3.	Seminar Nasional Limnologi IV, V, VI, VII	Penyunting dan Pemakalah	Puslit Limnologi LIPI, Indonesia	2008, 2010, 2012, 2014
4.	SEAWE international conference	Pemakalah	University Tokyo, Hanoi Vietnam	2012

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
5.	Pertemuan Ilmiah Masyarakat Limnologi	Penyunting dan Pemakalah	Indonesia	2015, 2017, 2019
6.	SUSTAIN conference	Pemakalah	University of Kyoto, Kyoto, Jepang	2013
7.	Workshop on urban lake management	Pemakalah	RIHN, Kyoto, Jepang	2014
8.	World Lake Conference 15th	Pemakalah	ILEC, Perugia, Italy	2014
9.	World Lake Conference 16th	Panitia, Pemakalah, dan Pemakalah Utama	ILEC, KemenLH dan Puslit Limnologi LIPI, Bali	2016
10.	Towuti Drilling Project workshop	Peserta	Cornell University-ITB, Makassar Indonesia	2016
11.	ISBIOREV international conference	Pemakalah	Puslit Biologi LIPI, Bogor	2017
12.	ICEBAT international conference	Pemakalah	University Sains Malaysia, Penang	2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
13.	SUWIS International Conference	Pemakalah	IPB, Bogor Indonesia	2018
14.	Tropical Limnology international conference	Pemakalah Utama dan Pemakalah	Puslit Limnologi LIPI-SEALNET, Bogor Indonesia	2019
15.	International Society of Limnology Conference	Pemakalah	International Society of Limnology. KSL Gwangju, Korea	2021
16.	International Conference on Fisheries and Marine Sciences (INCOFIMS)	Pemakalah	Fakultas Perikanan Universitas Airlangga, Surabaya	2021
17.	International Conference of Indonesian Limnology Society	Pemakalah	Society of Indonesian Limnology	2021
18.	The 11th International Seminar of Fisheries and Marine Science	Pemakalah	Universitas Riau	2022

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
19.	The 4th International Conference on Green Energy and Environment	Pemakalah	Universitas Bangka Belitung	2022
20.	The 6th International Synposium on Green Technology for Value Chains	Pemakalah	BRIN	2022

G. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1.	Journal Environmental Toxicology and Chemistry	Wiley	Mitra Bestari	2006
2.	Limnotek	Puslit Limnologi-LIPI	Redaksi	2009–2014
3.	Jurnal PSDA	Puslitbang Air	Mitra Bestari	2018
4.	Berita Biologi	Puslit Biologi-LIPI	Mitra Bestari	2009–2021
5.	OLDI	Puslit Oseanografi-LIPI	Mitra Bestari	2008–2021

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
6.	Limnotek	Puslit Limnologi-LIPI	Mitra Bestari	2006– 2021
7.	Journal of Total Science Environment	Elsevier	<i>Reviewer</i>	2019– sekarang
8.	Ecological Engineering	Elsevier	<i>Reviewer</i>	2020– sekarang
9.	Aquaculture Report	Elsevier	<i>Reviewer</i>	2020– sekarang
10.	Ecological Indicator	Elsevier	<i>Reviewer</i>	2020– sekarang
11.	Ecohydrology and Hydrobiology	Elsevier	<i>Reviewer</i>	2021– sekarang
12.	Chemospere	Elsevier	<i>Reviewer</i>	2021– sekarang
13.	Journal Cleaner Production	Elsevier	<i>Reviewer</i>	2021– sekarang
14.	Journal of Water Process Engineering	Elsevier	<i>Reviewer</i>	2022– sekarang
15.	Journal of King Saud University – Science	Elsevier	<i>Reviewer</i>	2022– sekarang

H. Karya Tulis Ilmiah dan Paten

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Tunggal	9
2.	Bersama Penulis Lainnya	97
	Total	106

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	37
2.	Bahasa Inggris	69
	Total	106

No.	Paten	Jumlah
1.	Bersertifikat	1
2.	Terdaftar	1
	Total	2

I. Pembinaan Kader Ilmiah

Pejabat Fungsional Peneliti

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Proposal penelitian	LIPI	Fasilitator, pembimbingan pembuatan proposal	2012, 2014
2.	Diklat CPNS Peneliti	LIPI	Pembimbing	2016–2021
3.	Diklat jenjang fungsional peneliti tk. Pertama dan Lanjutan	LIPI	Fasilitator	2012–2021
4.	Diklat metode penelitian	Balitbang PemKot Sungai Penuh-Kerinci	Fasilitator	2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
5.	Diklat penulisan KTI nasional dan International	LIPI	Fasilitator/ Pembimbing	2014–2021
6.	Diklat PPJFP tk. pertama Analisis dan Interpretasi hasil penelitian	LIPI	Fasilitator	2018–2021
7.	Penilai JF Peneliti Instansi dan Pusat	LIPI, BRIN	Asesor	2019– sekarang
8.	Pelatihan penulisan KTI nasional	BRIN	Fasilitator	2022– sekarang

Mahasiswa

No.	Nama	PT/Universitas	Peran Tugas	Tahun
1.	Novi Laura	FMIPA- Universitas Andalas	Pembimbing S-1	2008
2.	Silvia amaner	FMIPA- Universitas Andalas	Pembimbing S-1	2008

No.	Nama	PT/Universitas	Peran Tugas	Tahun
3.	Annisa	Universitas Sebelas Maret Surakarta Solo	Pembimbing S-1	2013
4.	Sulung Nomostryo	FMIPA-IPB	Pembimbing S-2	2011
5.	Fika Wijayanti	Fakultas Teknik Lingkungan Universitas Sahid Jaya	Pembimbing S-1	2016– 2017
6.	Rian Mantasa	Fakultas teknik Sipil -Universitas Indonesia	Penguji S-2	2018
7.	Evi Susanti	Universitas Padjadjaran	Pembimbing S-3	2013– 2018
8.	Putri	PSIL-Universitas Indonesia	Penguji S-2	2019
9.	Riky Kurniawan	FMIPA-IPB	Pembimbing S-2	2018– 2021
10.	Ersyad Perdana Harahap	PSL-IPB	Penguji S-2	2022
11.	Irma Melati	FMIPA-IPB	Pembimbing S-3	2018– sekarang
12.	Nurul Setiadewi	Teknik Lingkungan-ITB	Pembimbing S-2	2020– 2022
13.	Taofik Jasalesmana	ITB	Pembimbing S-3	2020– sekarang

Buku ini tidak diperjualbelikan.

J. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	Water Environment Federation (WEF)	2001–2003
2.	Anggota	American Society for Microbiology (ASM)	1998–sekarang
3.	Anggota	Masyarakat Limnologi Indonesia (MLI)	2017–sekarang
4.	Anggota	Perhimpunan Peneliti Indonesia (PPI)	2019 –sekarang
5.	Anggota	International Society of Limnology (SIL)	2021–sekarang
6.	Pengurus	Masyarakat Limnologi Indonesia	2022–2027

K. Tanda Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Satyalencana Karya Satya X	Presiden RI	1999
2.	Satyalencana Karya Satya XX	Presiden RI	2008
3.	Satyalencana Karya Satya XXX	Presiden RI	2017
4.	The Ibaraki Kasumigura Prize	Gubernur Ibaraki Prefecture – Jepang	2014
5.	The best presenter International Conference of Sustainable Urban Water	Penyelenggara – IPB	2019

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
6.	The best presenter International Conference of Tropical Limnology	Penyelenggara – Puslit Limnologi LIPI	2019
7.	The Encouragement Award	The Hitachi Global Foundation Asian Innovation Award	2021
8.	The Best presenter International Conference of Indonesian Limnology Society	Penyelenggara- Masyarakat Limnologi Indonesia	2021
9.	The Best Presenter The 11th International Seminar of Fisheries and Marine Science	Penyelenggara- Universitas Riau	2022
10.	The Best Presenter The 4th International Conference on Green Energy and Environment	Penyelenggara- Universitas Bangka Belitung	2022

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PENGELOLAAN KUALITAS AIR DANAU MELALUI PENDEKATAN BIOGEOKIMIA

Danau merupakan *hotspot* bagi siklus biogeokimia elemen kimia yang menentukan karakteristik kualitas air. Sebagai elemen lanskap berbentuk *funnel*, danau menerima dan memproses senyawa kimia yang ditransformasi dan diemisikan dalam bentuk gas, diendapkan sebagai senyawa organik dan anorganik, atau terbawa ke hilir melalui aliran ke luar sehingga keseimbangan kualitas air danau terjaga. Keseimbangan proses biogeokimia dapat terganggu oleh tekanan dari aktivitas antropogenik dan dampak perubahan iklim. Hal ini menyebabkan perubahan pada spesies senyawa kimia dominan dan peningkatan konsentrasi polutan yang tidak diinginkan sehingga kualitas air danau terganggu.

Sementara itu, tipologi membedakan karakteristik hidrogeomorfologi dan biogeokimia danau yang merupakan karakteristik spesifik pengendali kualitas air danau. Danau-danau di Indonesia memiliki tipologi morfogenesis ekosistem danau yang berbeda, spesifik, dan unik, baik secara lokal maupun regional. Hal itu tentu membedakan juga pengelolaan terhadap kualitas airnya. Pengelolaan kualitas air danau melalui pendekatan biogeokimia merupakan *nature-based solution*, solusi terbaik dalam menjaga kualitas air danau untuk mendukung multifungsi ekosistem yang berkelanjutan. Oleh karena itu, pengelolaan kualitas air danau secara berkelanjutan akan mewujudkan ketahanan ekosistem danau yang sehat dan lestari.



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: +62 811-1064-8770
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.875



ISBN 978-623-8372-09-6



9 786238 137209 6

Buku ini tidak diperjualbelikan.