



FORUM GURU BESAR
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG



Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung



MONITORING KESEHATAN LINGKUNGAN

**Sebagai Pilar
Pembangunan Berkelanjutan**

Profesor Dwina Roosmini

**Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung**

**Aula Barat ITB
20 Juli 2024**

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

MONITORING KESEHATAN LINGKUNGAN

Sebagai Pilar Pembangunan Berkelanjutan

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

MONITORING KESEHATAN LINGKUNGAN

Sebagai Pilar Pembangunan Berkelanjutan

Prof. Dwina Roosmini

20 Juli 2024
Aula Barat ITB



Hak cipta © pada penulis dan dilindungi Undang-Undang

Hak penerbitan pada ITB Press

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh bagian dari buku ini tanpa izin tertulis dan resmi dari penerbit.

Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung:

Monitoring Kesehatan Lingkungan:

Sebagai Pilar Pembangunan Berkelanjutan

Penulis : Prof. Dwina Roosmini

Reviewer : Prof. Agus Jatnika Effendi

Editor Bahasa : Rina Lestari

Cetakan I : 2024

ISBN : 978-623-297-505-7

e-ISBN : 978-623-297-506-4 (PDF)

ITB PRESS

© Gedung STP ITB, Lantai 1,
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132

+62 22 20469057

www.itbpress.id

office@itbpress.id

Anggota Ikapi No. 043/JBA/92
APPTI No. 005.062.1.10.2018

*Untuk yang terkasih Setiawan Wangsaatmaja, Anditia
dan Prasadhi Artono, serta Addina*

Terima kasih selalu menjadi inspirasi dan mengisi hari-hari dengan warna
warni dan menjadi pengingat untuk selalu bersyukur dan bahagia mendapat
anugerah terindah dari Allah Swt.

PRAKATA

Segala puji dan syukur dipanjatkan ke hadirat Allah Swt., atas segala nikmatnya sehingga buku ini dapat diselesaikan. Ucapan terima kasih penulis sampaikan untuk pimpinan dan anggota Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung atas kesempatan yang telah diberikan untuk menyampaikan orasi ilmiah pada Sidang Terbuka Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung.

Buku ini disusun untuk dapat memberikan gambaran sederhana perkembangan bidang *monitoring* kesehatan lingkungan dalam pembangunan berkelanjutan. Bagaimana kita dapat selalu melakukan *monitoring* dan evaluasi terhadap pembangunan dan pengembangan kebijakan untuk meningkatkan kesejahteraan manusia.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih terhadap Prof. dr. Juli Soemirat, MPH, Ph.D. sebagai panutan dan sumber inspirasi dalam Bidang Kesehatan Lingkungan dan Keselamatan Kerja. Ucapan terima kasih untuk Prof. Ir. Agus Jatnika, Ph.D. yang telah meluangkan waktunya untuk *review* buku ini.

Semoga tulisan dalam buku orasi ilmiah ini dapat dimanfaatkan oleh masyarakat baik umum ataupun secara spesifik di Bidang Teknik Lingkungan.

Bandung, 20 Juli 2024

Prof. Dwina Roosmini

SINOPSIS

Buku ini membahas berbagai hasil penelitian di bidang *monitoring* kesehatan lingkungan yang telah dilakukan penulis bersama-sama dengan kolega dan mahasiswa. *Monitoring* lingkungan di Indonesia masih perlu ditingkatkan untuk dapat menggambarkan secara transparan kondisi kesehatan lingkungan di Indonesia. Data-data kualitas lingkungan merupakan indikator penting untuk menilai keberhasilan pembangunan yang telah dilakukan untuk menyelenggarakan kesejahteraan masyarakat. Keberlanjutan pembangunan atau *Sustainable Development* didukung oleh tiga pilar: sosial, lingkungan, dan ekonomi. Data-data hasil *monitoring* kesehatan lingkungan merupakan ukuran dari keberhasilan dari kinerja keberlanjutan. *Monitoring* kesehatan lingkungan merupakan metode untuk memonitoring keberadaan agen penyakit baik fisik, kimia, biologi serta lainnya.

Perkembangan teknologi terus dilakukan oleh manusia untuk meningkatkan kesejahteraannya, dalam buku ini dibahas kaitan perkembangan budaya manusia serta dampaknya terhadap kesehatan manusia. Tantangan kesehatan masyarakat semakin beragam seiring dengan perkembangan teknologi yang menghasilkan berbagai senyawa kimia baru yang merupakan senyawa asing (*xenobiotik*) terhadap makhluk hidup sehingga sulit untuk didegradasi. Sifat persistensi tersebut memicu berbagai penyakit tidak menular, dalam pembahasannya kejadian penyakit dikaitkan dengan sejarah perkembangan teknologi secara global.

Perkembangan teknologi juga telah membantu metode dalam sistem *monitoring*, berbagai penyakit dapat lebih spesifik didiagnosis, begitu pula metode *monitoring* kesehatan lingkungan. Beberapa metode monitoring kesehatan lingkungan disampaikan dalam buku ini dengan memberikan contoh-contoh *monitoring* yang telah dilakukan di lingkungan perairan dan udara sebagai hasil penelitian penulis dan tim. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kondisi lingkungan berkaitan erat dengan upaya yang telah dilakukan dalam pembangunan infrastruktur lingkungan. Sejarah dan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kesehatan lingkungan yang mendukung kesehatan

masyarakat dapat dicapai jika kinerja infrastruktur lingkungan dapat dijalankan secara berkelanjutan.

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	VII
SINOPSIS	IX
DAFTAR ISI.....	XI
DAFTAR GAMBAR	XIII
DAFTAR TABEL.....	XV
1 PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN DAN KESEHATAN MASYARAKAT	1
1.1 Perkembangan Teknologi dan Industri.....	3
1.2 Tantangan Kesehatan Lingkungan dalam Perkembangan Teknologi	4
1.3 Pembangunan Berkelanjutan	8
2 KESEHATAN LINGKUNGAN.....	13
2.1 Penyakit Akibat Beban Lingkungan.....	13
2.2 Pencegahan Penyakit dan Wabah Penyakit	17
2.3 Kebijakan Pencapaian Kesehatan Lingkungan	21
3 MONITORING KESEHATAN LINGKUNGAN	23
3.1 Penggunaan Data Monitoring Kesehatan Lingkungan	23
3.2 Metode Monitoring Kesehatan Lingkungan	26
3.3 Monitoring Kesehatan Lingkungan sebagai Evaluasi Keberlanjutan Program Pembangunan	31
4 PENUTUP	43
5 UCAPAN TERIMA KASIH	45
DAFTAR PUSTAKA.....	47
CURRICULUM VITAE.....	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Pertambahan Jumlah Penduduk Dunia (Sumber: Our World in Data, 2021)	4
Gambar 2	Dimensi klasik pembangunan berkelanjutan (Nowacki, 2018).....	9
Gambar 3	Interaksi dan hubungan antar-elemen dan unsur dalam pembangunan berkelanjutan	10
Gambar 4	Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (U.N., 2021)	11
Gambar 5	Dokumentasi wabah kolera di Inggris tahun 1831-1866	15
Gambar 6	Perjalanan polutan sebagai agen penyakit sampai ke manusia	16
Gambar 7	Pengaturan Integrasi Izin Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dengan AMDAL dan UKL-RPL (Sudijanto, 2021)	18
Gambar 8	(a) Tidak terjadi Penyakit dan (b) Empat kemungkinan keadaan sakit (Soemirat, 2015)	19
Gambar 9	Persentase nilai rata-rata rumah tangga menggunakan layanan sanitasi aman di seluruh provinsi di Indonesia (diolah dari Data BPS, 2023).....	22
Gambar 10	Model DPSEEA – <i>Driving Force-Pressure-State-Exposure-Effects-Actions</i> (Frumkin, 2005).....	25
Gambar 11	Kandungan logam Kadmium (Cd), Timbal (Pb), dan Merkuri (Hg) dalam <i>Ipomoea aquatica</i> pada Sungai Cidurian (Roosmini, 2008).....	31
Gambar 12	Kandungan Tembaga-Cu (a) dan Seng-Zn (b) pada <i>Liposarcus pardalis</i> di Sungai Citarum Hulu (Roosmini, 2006).....	35
Gambar 13	Nilai Indeks Kualitas Air (IKA) kota dan kabupaten di Provinsi Jawa Barat (Diolah dari Data KLHK, 2024).....	36
Gambar 14	Indeks Respons Air Provinsi Jawa Barat (KLHK, 2024)	37
Gambar 15	Nilai <i>Inhalation Exposure Concentration</i> (IEC) pada lokasi penelitian Hari Kerja dan Akhir Pekan.	41
Gambar 16	Konektivitas antara stressor dengan receptor.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Wabah akibat pencemaran udara (Soemirat, 2015)	5
Tabel 2	Angka kematian akibat kolera dengan sumber minum yang perusahaan air minum berlainan (Soemirat, 2015).....	14
Tabel 3	Hubungan tingkat pencegahan, target populasi, dan perjalanan penyakit (WHO, 1990)	17
Tabel 4	Nilai LC50 effluent IPAL Kawasan Industri Tekstil Terpadu Dayeuhkolot (Sumber: Ayu, 2014)	32
Tabel 5	Nilai LC50 bagi industri dengan peringkat Proper(Sumber: Rohmah, 2017).....	33
Tabel 6	Konsentrasi kadmium, kromium, dan tembaga pada Ikan <i>Liposarcus pardalis</i> di Sungai Citarum Hulu (Septiono, 2015)	34
Tabel 7	Luas Sub DAS Citarum dari kabupaten dan kota	37
Tabel 8	Indeks Pencemaran dengan 4 parameter utama	38
Tabel 9	Indeks Pencemaran dengan 13 parameter	39
Tabel 10	Konsentrasi paparan partikulat terespirasi - $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Zannarina, 2009)	40

1 PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN DAN KESEHATAN MASYARAKAT

Pembangunan berkelanjutan adalah sebuah tujuan yang berusaha untuk memenuhi kebutuhan manusia saat ini tanpa mengorbankan sistem sumberdaya dan lingkungan untuk generasi yang akan datang. Dalam dokumen WHO, 2012 tentang strategi dan rencana pencegahan dan pengendalian penyakit tidak menular, ditekankan bahwa kesehatan merupakan hal penting dalam pembangunan berkelanjutan, tanpa kesehatan maka tidak ada pembangunan berkelanjutan. Orang yang sehat akan lebih mampu untuk belajar, bekerja dan memberikan kontribusi positif untuk ekonomi dan sosial mereka. Pembangunan berkelanjutan akan menghasilkan kesehatan yang lebih baik, misalnya pembangunan yang cerdas pada sektor transportasi, permukiman, energi, dan pertanian akan menghasilkan keuntungan tambahan dan meminimalkan risiko terutama terhadap penyakit-penyakit tidak menular. Sebagai contoh pada sektor penyediaan permukiman yang mengakomodasi ketersediaan fasilitas untuk kegiatan fisik (berjalan kaki dengan nyaman) bagi masyarakat akan menurunkan risiko obesitas.

Sektor kesehatan dapat menjadi tujuan utama dalam pembangunan berkelanjutan, dengan menunjukkan kejadian atau kegiatan dalam kebijakan-kebijakan seperti apa yang akan memberikan dampak positif terhadap kesehatan masyarakat. Kegiatan tersebut dapat diukur sebagai inisiatif pembangunan berkelanjutan. Pengukuran dampak positif tersebut akan mendorong penerapan Penilaian Dampak Kesehatan atau *Health Impact Assessment (HIA)* dan menjadi acuan dalam penentuan tujuan pembangunan, mendefinisikan indikator keberhasilan pembangunan serta melakukan *monitoring* bagaimana kontribusi berbagai sektor dalam mendukung kesehatan masyarakat sesuai dengan kebijakan yang berlaku.

Pembangunan berkelanjutan telah dikenal dengan baik sampai saat ini, walaupun masih terdapat beberapa ketidakjelasan dalam pemaknaannya: pembangunan seperti apa yang kita harapkan untuk berlanjut (dipertahankan) dan bagaimana kita ingin mempertahankan keberlanjutannya. Konsep pembangunan berkelanjutan “*sustainable development*” muncul pada tahun 1987 dalam laporan dari *World Commission on*

Environmental and Development berjudul “*Our Common Future*” dipelopori oleh Dr. Gro Harlem Brundtland, Direktur Jenderal WHO. Saat ini laporan tersebut dikenal secara umum sebagai *Brutland Report (World Committee on Environment and Develepoment, 1987)*. Selanjutnya pembangunan berkelanjutan didefinisikan sebagai: pembangunan yang memenuhi kebutuhan pada masa kini tanpa mengorbankan kemampuan generasi selanjutnyaa untuk memenuhi kebutuhannya sendiri. Definisi ini lebih berkarakter keberlanjutan dibandingkan pembangunan, penegasan kepastian bahwa pembangunan tidak mengorbankan masa depan. Dalam laporan “*Our Common Future*” dinyatakan bahwa konsep pembangunan berkelanjutan menunjukkan batasan-batasan, batasan yang tidak absolut, tetapi batasan yang untuk sumber daya alam serta kemampuan dari biosfir untuk mengabsorb efek dari kegiatan manusia (WHO, 2012).

Diskusi tentang dampak kegiatan manusia terhadap lingkungan telah dimulai sejak Rachel Carson di Tahun 1962 menerbitkan buku “*Silent Spring*”. Sebuah buku yang membukaan Amerika Serikat tentang dampak penggunaan dichloro-diphenyl-trichloroethane (DDT) terhadap alam dengan menghilangnya spesies burung. DDT disintesa pertama kali pada Tahun 1874 oleh ahli kimia dari Austria bernama Othmar Zeidler. Selanjutnya Paul Hermann Muller ahli kimia dari Swiss mengembangkan DDT sebagai insektisida berkualitas untuk mengendalikan penyakit bawaan nyamuk seperti malaria dan demam kuning, dengan penemuannya ini Paul Hermann Muller menerima hadiah Nobel Tahun 1948 dalam bidang Fisiologi atau Pengobatan. Mengambil paten DDT dari Swiss pada tahun 1940, Inggris mematenkannya di tahun 1942, diikuti oleh Amerika Serikat dan Australian pada tahun 1943. DDT digunakan di masyarakat dengan menyemprotkan di permukiman untuk mematikan nyamuk Anopheles yang menyebarkan penyakit malaria. Pada perang dunia ke-2, DDT telah menyelamatkan jutaan nyawa, kemudian selama tahun 1950 sampai 1970 membantu menghilangkan penyakit malaria secara menyeluruh pada beberapa negara termasuk Amerika Serikat. Sebelum kemudian kita mengenal bahwa DDT bersifat toksik karena karatkeristiknya yang bersifat *persistent* dan sulit untuk terdegradasi di lingkungan, DDT menyebabkan cangkang telur burung menjadi tipis dan mudah hancur sehingga telur mengalami kematian.

1.1 Perkembangan Teknologi dan Industri

Peradaban manusia terus berkembang dari waktu ke waktu seiring dengan kelebihan manusia yang memiliki mata stereoskopik dan *tool-making hand* sehingga otak dan memengaruhi pertumbuhan otak sehingga manusia mampu berpikir lebih baik lagi dari generasi ke generasi (Soemirat, 2018).

Pengembangan mesin uap oleh James Watt pada tahun 1769 telah memberikan dampak yang sangat besar terhadap dunia industri di Abad 18, membukakan penggunaan mesin uap diberbagai kegiatan manusia termasuk di industri seperti tekstil (Britannica, 2024). Selanjutnya industri terus berkembang secara global menghasilkan bahan baku dan bahan kimia baru yang belum diketahui dampaknya terhadap lingkungan dan manusia. Pada pertengahan Abad 19 ahli kimia secara radikal mengubah arah penelitian bidang kimia, selain melakukan analisis molekul yang ada, ahli kimia mulai mensintesisnya, termasuk molekul-molekul yang tidak ada di alam. Kombinasi pendekatan sintetik baru dengan pendekatan analitik yang lebih tradisional merevolusi kimia, yang mengarah pada pemahaman mendalam tentang prinsip dasar struktur dan reaktivitas kimia, serta munculnya industri farmasi dan kimia modern. Sejarah kimia sintetik menawarkan kemungkinan peta jalan untuk pengembangan dan dampak biologi sintetik, bidang baru yang tujuannya adalah untuk membangun sistem biologis baru (Yeh, B.J. and Lim, A.L., 2007).

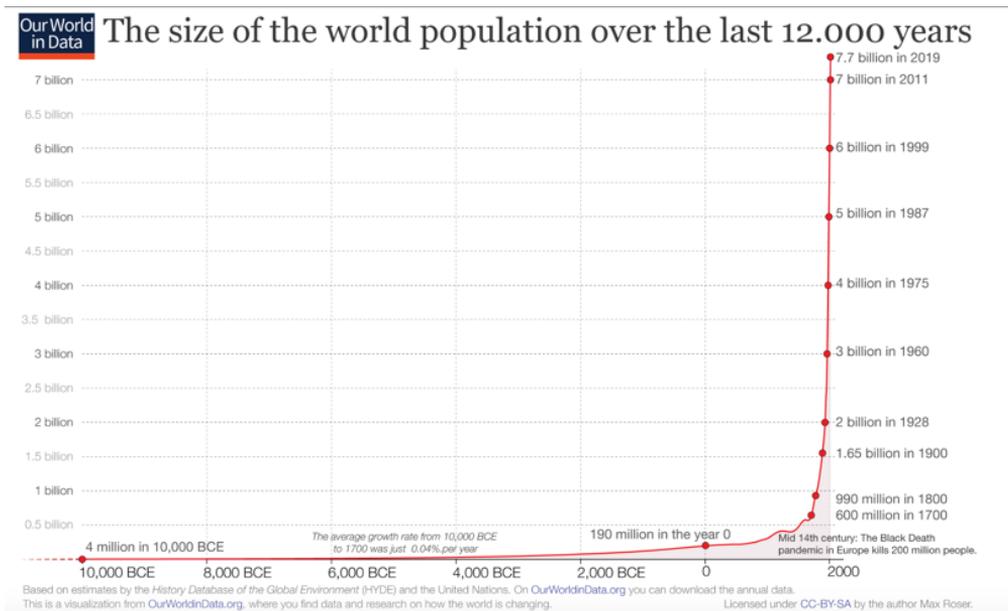
Perkembangan industri yang masif di Abad 18 telah memberikan dampak positif bagi kesejahteraan manusia, manusia mampu menyediakan sandang dan pangan, sekaligus bahan kimia baru untuk pengobatan serta insektisida yang meningkatkan hasil pertanian. Sampai saat ini kita telah sampai pada era Revolusi Industri 4.0., di mana perkembangan teknologi lebih meluas lagi ke arah teknologi informasi dan komputasi. Pada awal perkembangan industri secara global revolusi industri tidak hanya percepatan pertumbuhan ekonomi, tetapi percepatan pertumbuhan karena dan melalui ekonomi dan transformasi sosial (Gleason, 2018).

Gleason, 2018 membahas perubahan-perubahan revolusi industri dari masa ke masa. Revolusi Industri kedua pada periode 1860-1900 berhubungan dengan teknologi manufaktur yang berbasis listrik, yang memicu perubahan pada “ekonomi baru” yang memengaruhi kehidupan sosial manusia. Selanjutnya Revolusi Industri ketiga terjadi pada tahun 1980-1990 yang

dikaitkan dengan perkembangan komputerisasi dan interkoneksi berbasis web. Pada masa ini akses terhadap informasi menjadi lebih cepat dan gratis. Revolusi Industri keempat, merupakan hasil dari integrasi dan efek percampuran teknologi eksponensial dari “*Artificial Intelegent (AI), biotechnologies dan nanomaterial*”. Pada masa kini manusia dapat menciptakan organisma sintesis (kehidupan dari DNA diciptakan melalui komputer dan dicetak secara biologis/*bioprinting*), diproduksi melalui jalur perakitan robot, dengan material nanot maka biaya produksi semakin efisien.

1.2 Tantangan Kesehatan Lingkungan dalam Perkembangan Teknologi

Perkembangan teknologi dan industri telah meningkatkan kesejahteraan manusia dari waktu ke waktu, dari sisi sandang dan pangan serta tingkat kesehatan manusia dengan ditemukan dan dikembangkan obat-obatan untuk penyakit-penyakit menular yang disebabkan oleh mikroorganisme patogen. Hasil pertanian berlimpah dengan disintesisnya insektisida dan pestisida.



Gambar 1 Pertambahan Jumlah Penduduk Dunia (Sumber: Our World in Data, 2021)

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa pertambahan penduduk secara global meningkat secara tajam seiring dengan Revolusi Industri Pertama, pada saat dikembangkannya mesin uap oleh James Watt di tahun 1764 di Inggris.

Peningkatan jumlah penduduk secara global terus meningkat seiring dengan perkembangan industri di dunia yang dibagi dalam kurun waktu Revolusi Industri pertama, kedua, ketiga dan keempat pada saat ini.

Inggris merupakan negara pelopor industrialisasi, di mana perubahan cepat terjadi di sekitar tahun 1750 dan 1900, terdapat perubahan besar di mana masyarakat tinggal, perkembangan ilmu dan teknologi, serta pertumbuhan demokrasi. Perubahan tersebut memberikan dampak terhadap kesehatan. Pertambahan penduduk tinggi di Inggris yang tajam sebagai berikut: tahun 1750 terdapat 6 juta penduduk, tahun 1750 terdapat 21 juta, serta tahun 1850 dan tahun 1900 terdapat 37 juta penduduk. Urbanisasi terjadi pada kota-kota dengan kegiatan industri, pada tahun 1881, 68% penduduk tinggal di perkotaan dengan ancaman penyakit menular yang mematikan di kota-kota industri tersebut. Dengan kepadatan yang tinggi serta lingkungan kerja dan permukiman yang buruk. Pada tahun 1831 penyakit kolera yang berasal dari Asia tiba di Inggris, dan menyebabkan wabah sampai dengan tahun 1865 telah terjadi 4 (empat) kali wabah kolera dan menyebabkan kematian 100.000 penduduk. Wabah pertama tahun 1831-1832 menyebabkan kematian 30.000 penduduk, wabah kedua terjadi pada Tahun 1848-1849 menyebabkan kematian 60.000 penduduk, wabah kolera berikutnya terjadi pada Tahun 1853-1854 dan 1865-1866.

Tabel 1 Wabah akibat pencemaran udara (Soemirat, 2015)

Lokasi	Tahun	Sumber/Jenis Pencemar	Jumlah Penderita/Kematian	Kelainan
Meuse Valley, Belgia	1930	Industri Baja/SO ₂ , F, Oksida logan dan debu	6000/60	Radang paru-paru
Donora, Pa, Amerika Serikat	1949	Industri Baja/SO ₂ , Sulfat	5910/20	Kelainan paru-paru
London	1952	Industri dan Pemanasan Rumah	Tidak diketahui/4000	Kelainan paru-paru
Poza Rica, Meksiko	1950	Kilang Minyak	320/22	Kelainan paru-paru dan jantung
New York, Amerika Serikat		Industri Kendaraan Bermotor	Kenaikan morbiditas/165	Kelainan paru-paru dan jantung
New Orleans, Amerika Serikat	1955	Industri Gandum	200 perhari/2	Asma
Yokohama, Jepang	1946	Industri, pemanas ruang	Tidak diketahui	Asma dan Emfisema

Sejarah epidemiologi diketahui bahwa wabah penyakit menular berkurang seiring dengan dikembangkannya senyawa kimia sintetis untuk

mengendalikan populasi vektor penyakit malaria dan demam kuning. Namun seiring dengan Revolusi Industri kedua, penyakit tidak menular mulai teridentifikasi menjadi wabah di negara dengan industri yang lebih maju dibanding negara lainnya. Data kejadian wabah terkait industri dapat dilihat pada Tabel 1.

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa gangguan paru-paru jadi mewabah akibat paparan polutan dari industri udara seperti SO₂ yang merupakan oksidator kuat yang diemisikan dari pembakaran fosil sebagai sumber energi pada industri dan kegiatan lainnya.

Seiring dengan berkembangnya berbagai industri untuk mendukung kesejahteraan manusia, maka berbagai senyawa sintetis juga telah diciptakan yang merupakan *xenobiotic* bagi makhluk hidup. Senyawa asing yang tidak dikenal oleh makhluk hidup pada ekosistem dan rantai makanannya. Dikarenakan karakteristik kimia atau struktur molekul yang asing, maka senyawa tersebut bersifat persisten, sulit untuk diuraikan karena mikroba pengurai tidak mengenalnya sebagai senyawa organik yang sehari-hari digunakan sebagai sumber makanannya.

DDT merupakan contoh penting untuk dunia pengetahuan untuk mempelajari dampaknya terhadap lingkungan. Ketika dikembangkan oleh Paul Hermann Muller dan mendapatkan Nobel Prize untuk penemuannya, tidak diketahui bahwa DDT merupakan senyawa persisten. Sifat persisten ini menyebabkan terakumulasi pada organisme dan masuk ke dalam rantai makanan dan menyebabkan dampak pada predator tertinggi dalam rantai makanan dan memberikan dampak toksik yang fatal yang dibahas oleh Rachel Carson dalam bukunya *Silent Spring*. Saat ini DDT bersama dengan polutan organik persisten lainnya dilarang penggunaannya sebagai hasil dari Stockholm Convention yang mengendalikan POPs (*Persistent Organic Pollutants*). Berbagai polutan organik yang dikembangkan secara global diidentifikasi dan dibatasi sesuai dengan karakteristik kimia dan sifat persistensinya.

Sejarah tantangan kesehatan lingkungan sesuai dengan perkembangan teknologi dan industri di dunia adalah kasus Minamata Jepang. Penyakit Minamata ditemukan pertama kali di sekitar Teluk Minamata, Kumamoto Prefecture pada tahun 1956, dan tahun 1965 di daerah aliran Sungai Agano di Niigata Prefecture. Pada Tahun 1968 baru diketahui bahwa penyakit

Minamata disebabkan oleh konsumsi ikan dan kerang yang mengandung kontaminan metil-merkuri yang diemisikan oleh pabrik kimia. Penyakit Minamata menyebabkan gangguan sistem syaraf pusat dan memberikan gejala yang sangat beragam, kemampuan metil merkuri menembus plasenta menyebabkan gangguan pada janin dan menyebabkan kelahiran bayi cacat pada ibu hamil. Perlu waktu 12 tahun untuk mengetahui penyebab penyakit Minamata, sehingga korban yang menderita telah berjatuh dan mencapai jumlah 2.955 orang. Penyakit yang tidak dapat disembuhkan dan memerlukan biaya yang sangat tinggi untuk kompensasi para penderita.

Perkembangan industri memerlukan berbagai sumberdaya alam untuk dapat dimanfaatkan baik sebagai sumber energi maupun sebagai bahan baku. Penggunaan logam dan logam berat dalam kehidupan sehari-hari telah dimulai sejak 3000 tahun sebelum masehi (SM), dimulai di Mesir yang menambang tembaga, selanjutnya penggunaan perunggu (tembaga yang dilapisi timah) 3700 Tahun SM. Penambangan dengan menggunakan metode penambangan terbuka untuk tembaga dikembangkan di Chuquicamata – Chile pada Tahun 1879-1912.

Kegiatan penambangan memungkinkan berbagai logam berat dalam batuan di dalam perut bumi menjadi terbuka dan dapat terpapar pada manusia, dan memberikan dampak terhadap kesehatan seperti penyakit Minamata akibat paparan merkuri dan Itai-itai Byo akibat paparan kadmium.

Tantangan kesehatan lingkungan terkait dengan kontaminan yang dihasilkan dari berbagai perkembangan kegiatan manusia dalam mendukung kehidupannya, memerlukan metode pencegahan dan pengendalian yang komprehensif. Perkembangan manusia menunjukkan perubahan kebudayaan manusia dari waktu ke waktu: manusia pemburu, manusia agraris, manusia industrial, manusia ramah lingkungan (Soemirat, 2018).

Manusia ramah lingkungan diawali dengan terbitnya buku *Silent Spring* oleh Rachel Carson pada Tahun 1962, yang membuat President John F. Kennedy untuk menyelidiki pernyataan Rachel Carson, pada Tahun 1970 *Environmental Protection Agency* dibentuk di Amerika Serikat dan pada tahun 1972 melarang penggunaan DDT. Selanjutnya pada bulan Juni 1972 dilakukan Konferensi PBB tentang Lingkungan Hidup Sedunia di Stockholm Swedia. Hal ini mendorong Indonesia untuk menyusun Rancangan Undang Undang (RUU) Lingkungan Hidup pada Tahun 1976. Perhatian terhadap lingkungan di

berbagai perguruan tinggi berkembang dengan membentuk lembaga yang bergerak di Bidang Penelitian Masalah Lingkungan, termasuk ITB yang membentuk Pusat Studi Lingkungan.

Indonesia membentuk Kantor Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup pertama kali pada tahun 1983-1993, dan menetapkan PP No.29 Tahun 1986 tentang Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL). Kantor Kementerian Lingkungan Hidup dibentuk sejak tahun 1993 dan diubah pada tahun 2014 menjadi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.

Bidang ilmu yang menghitung dan menilai risiko dampak pembangunan dan aktivitas manusia yang biasa disebut kegiatan antropogenik telah berkembang dengan luas dan dilakukan dengan pendekatan multidisiplin. Tantangan penilaian risiko akibat kegiatan antropogenik semakin bervariasi dan luas, seiring dengan perkembangan teknologi dan revolusi industri. Penyakit menular masih menjadi risiko di negara-negara berkembang dengan akses terhadap air dan sanitasi yang masih rendah, sementara penyakit tidak menular seperti kanker, juga terus bertambah akibat paparan polutan yang semakin beragam.

1.3 Pembangunan Berkelanjutan

Pembangunan berkelanjutan merupakan sebuah tujuan yang merupakan bagian dari perubahan manusia yang menjadi lebih ramah terhadap lingkungannya, tidak hanya mementingkan pertumbuhan ekonomi semata. Konsep pembangunan berkelanjutan tidak hanya sebagai hasil penelitian ilmiah saja, tetapi merupakan konsep yang berdasarkan pada etika. Terdapat tiga elemen etika, yaitu (Heinrichs, 2016):

- (a) Tanggung jawab manusia terhadap lingkungan alaminya.
- (b) Tanggung jawab manusia terhadap dunia sosialnya.
- (c) Tanggung jawab manusia terhadap dirinya sendiri.

Dalam pengembangan tujuan pembangunan berkelanjutan dalam ilmu keberlanjutan dengan pendekatan antropocentris mengemukakan tujuan umum dari pembangunan berkelanjutan adalah (Heinrichs, 2016):

- Menjaga kehidupan manusia.
- Menjaga produktivitas masyarakat.
- Menjaga ruang lingkup pembangunan.

Gambar 2 menunjukkan dimensi klasik pembangunan berkelanjutan yang terdiri atas: elemen sosial, ekonomi, dan lingkungan. Masing-masing irisan dari elemen tersebut menunjukkan elemen dan variabel lain sebagai ukuran atau indikator pembangunan berkelanjutan.

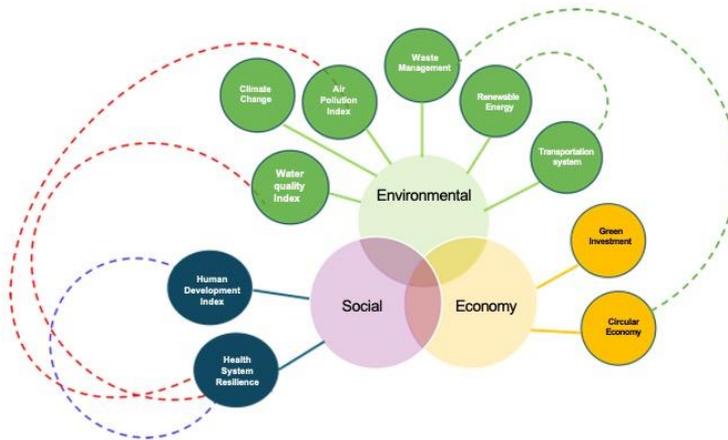


Gambar 2 Dimensi klasik pembangunan berkelanjutan (Nowacki, 2018)

Hubungan dan interaksi masing-masing elemen tersebut sangat erat, keberlanjutan lingkungan pada sektor pengelolaan limbah padat (sampah) dapat mendukung pengembangan ekonomi melalui penerapan sirkular ekonomi yang akan memberikan dampak terhadap kondisi sosial masyarakat sekaligus menjaga lingkungan. Konsep pembangunan berkelanjutan tersebut memerlukan instrumen peraturan bagaimana aspek ekonomi dan kelembagaan dapat mendukung aspek-aspek pembangunan berkelanjutan. Bagaimana berbagai elemen dan sektor yang terlibat dapat secara bersama menjalankan dan meraih tujuan pembangunan berkelanjutan. Bagaimana konsep keberlanjutan diterapkan dalam sektor pendidikan, kesehatan, transportasi, dunia seni, dan lainnya. Bagaimana menjaga keberlanjutan kualitas lingkungan akibat kegiatan transportasi yang dapat mengemisikan polutan ke udara dan menurunkan kualitas udara.

Interaksi dan hubungan antar-unsur pendukung pembangunan dapat dilihat pada Gambar 3. Selain penerapan konsep sirkular ekonomi dalam pengelolaan sampah, interaksi dan hubungan antar-unsur dapat dilihat pada peningkatan Indeks Kualitas Air dan Udara yang akan memberikan kontribusi pada aspek sosial yang akan meningkatkan kesehatan masyarakat dan

berkontribusi terhadap resiliensi sistem kesehatan secara umum. Dari sisi ekonomi, maka alokasi anggaran pengobatan dapat dialihkan ke sektor lain yang masih perlu dikembangkan misalnya pendidikan atau pengentasan kemiskinan. Kebijakan penggunaan energi terbarukan pada sistem transportasi, akan memperbaiki kualitas udara, mengurangi risiko kesehatan akibat polusi udara dan meningkatkan resiliensi kesehatan masyarakat dalam elemen sosial. Biaya pengobatan dan biaya pengendalian polusi udara dapat ditekan.



Gambar 3 Interaksi dan hubungan antar-elemen dan unsur dalam pembangunan berkelanjutan

Pada tahun 2015 PBB mengeluarkan *The Sustainable Developments Goals (SDGs)*, dikenal sebagai *Global Goals* sebagai upaya mengarahkan secara universal untuk menghilangkan kemiskinan, melindungi bumi dan memastikan bahwa pada tahun 2030 seluruh manusia dapat menikmati kedamaian dan kemakmuran. Ketujuh belas tujuan tersebut dituangkan pada Gambar 4, dapat dilihat bahwa walaupun telah dibagi dalam kotak-kotak tujuan yang spesifik, namun tetap harus diingat bahwa antartujuan tersebut saling berkaitan upaya yang dilakukan untuk salah satu tujuan akan juga mendukung pencapaian tujuan yang lainnya. Tujuan nomor 3 *Good Health and Well Being* akan berhubungan dan dipengaruhi oleh ketercapaian pada tujuan nomor 1 *No Poverty*, tujuan nomor 2 *Zero Hunger*, serta tujuan nomor 6 *Clean Water and Sanitation*. Merancang tujuan pembangunan daerah menjadi sangat penting untuk dapat menerapkan keterkaitan antartujuan pada SDGs.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



Gambar 4 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (U.N., 2021)

2 KESEHATAN LINGKUNGAN

Kesehatan lingkungan membahas hubungan antara manusia dengan lingkungannya, serta berbagai aspek dengan kesehatan manusia, termasuk kualitas hidup yang ditentukan oleh faktor-faktor fisik, kimiawi, biologis, sosial, dan psikososial di lingkungan. Kesehatan lingkungan ini juga mengacu pada teori dan praktik penilaian, perbaikan, pengendalian, dan pencegahan faktor-faktor di lingkungan yang berpotensi memberikan dampak negatif terhadap kesehatan untuk generasi saat ini dan di masa yang akan datang (WHO, 2004).

2.1 Penyakit Akibat Beban Lingkungan

Bidang epidemiologi lingkungan telah menghubungkan menemukan korelasi yang signifikan antara kejadian penyakit di masyarakat dan lingkungan kerja akibat paparan agen penyakit baik agen hidup ataupun agen tidak hidup yang berasal dari lingkungan sekitarnya.

Bapak epidemiologi dunia, John Snow, dapat menemukan bahwa penyakit kolera yang mewabah di Inggris disebabkan oleh air yang terkontaminasi tinja manusia. Di mana sebagian ahli epidemiologi lainnya pada saat itu menganggap bahwa kolera disebabkan oleh udara, karena bau yang datang dari tumpukan tinja di sungai pada musim kemarau. Kolera telah mewabah di Kota London pada tahun 1854, seiring dengan urbanisasi dan ditemukannya *Flush Toilet* atau *Water Closet* maka penduduk Kota London menjadi sangat padat dan menghasilkan air limbah domestik yang menjadi beban air Sungai Thames di London sebelum dikembangkannya sistem penyaluran air limbah domestik (*sewerage*).

Pada tahun 1854, John Snow mempunyai hipotesis bahwa kolera ditransmisikan dalam air, makanan, atau tangan melalui mulut (oral). Hipotesis tersebut berlawanan dengan pendapat ahli epidemiologi, William Farr, yang menyimpulkan bahwa kolera disebabkan oleh miasma (disebarkan melalui uap di atmosfer), kabut penyakit, yang timbul dari nafas dua juta orang, dari selokan terbuka dan tangki septik, serta kuburan dan rumah jagal. Sehingga konsentrasi pengendalian penyakit kolera adalah terhadap udara yang kotor. Hal ini menyebabkan penyakit kolera terus terjadi di Kota London dan sekitarnya selama tahun 1832-1866, William Farr menemukan korelasi

yang erat antara kejadian kolera yang menurun seiring dengan elevasi daerah, semakin tinggi elevasi suatu daerah dari permukaan air, maka angka kejadian kolera menurun dan memperkuat keyakinannya bahwa kolera adalah penyakit yang disebabkan udara yang bau karena berdekatan dengan Sungai Thames (Morabia, 2001, Bingham,2004).

Teori John Snow disampaikan setelah ia melakukan penelitian yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2, data penduduk penderita kolera dengan sumber air minum dari perusahaan Southwark dan Perusahaan Lamberth.

Tabel 2 Angka kematian akibat kolera dengan sumber minum yang perusahaan air minum berlainan (Soemirat, 2015)

Perusahaan Air Minum	Populasi	Kematian akibat Kolera	Angka kematian/1000
Southwark	187.654	844	5
Lamberth	19.133	18	0,9

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa pengguna air dari Southwark mengalami angka kematian 5/1000 orang dibandingkan dari Lamberth sebesar 0,9/1000 orang. Berdasarkan data tersebut John Snow membuktikan hipotesisnya dengan mencabut pompa air komunal di Broad Street, dan berhasil menurunkan angka kejadian penyakit kolera. Teori John Snow bahwa kolera disebabkan oleh sumber air yang terkontaminasi diakui dua belas tahun kemudian di tahun 1866 oleh William Farr. Kolera di Inggris telah menelan korban kematian 21.800 orang pada tahun 1831, 53.292 orang pada tahun 1848-1849, 20.099 orang pada tahun 1853-1854, dan 14.378 orang pada tahun 1866. Penyebab kolera diketahui setelah Robert Koch menemukan Cholera Bacillus di tahun 1884. Selanjutnya angka kejadian kolera menurun setelah John Balzagate (1819-1891) berhasil membangun sistem penyaluran air limbah domestik (*sewerage*) sehingga air limbah domestik rumah tangga dialirkan ke laut untuk membersihkan Sungai Thames dari air limbah domestik.

John Snow dan wabah kolera di Inggris telah membuktikan pentingnya penelitian epidemiologi lingkungan untuk dapat mengetahui secara tepat penyebab terjadinya suatu penyakit dengan tepat. Pendapat bahwa penyakit kolera disebabkan oleh air yang terkontaminasi tinja disetujui dan menggantikan pendapat bahwa kolera disebabkan oleh udara yang berbau, menyebabkan korban kolera terus berjatuhan karena penyebab penyakit tidak dihilangkan akibat teori yang salah. Hal ini merupakan sejarah dan pelajaran penting dalam dunia epidemiologi khususnya epidemiologi yang

terus berkembang untuk menjadi berbagai agen penyebab penyakit agar dapat dicegah dan dikendalikan sebelum menjadi wabah. Dokumentasi kejadian kolera di Inggris terus diabadikan sampai saat ini seperti dapat dilihat pada Gambar 5.

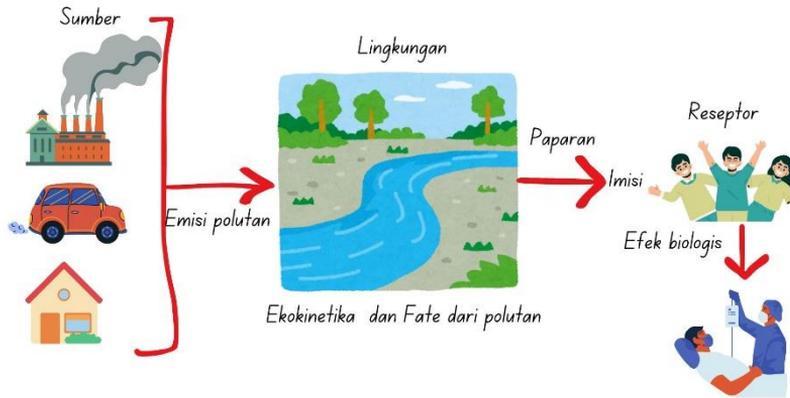


Gambar 5 Dokumentasi wabah kolera di Inggris tahun 1831-1866

Saat ini identifikasi penyebab penyakit menular dapat dilakukan dengan lebih cepat seiring dengan perkembangan teknologi yang dapat mengidentifikasi spesies dan varietas mikroorganisme patogen lebih cepat, identifikasi penyebab Wabah Covid tahun 2020–2021 disebabkan oleh Corona Virus dengan varietas yang berbeda, sehingga dapat dikembangkan kebijakan pengendalian penyebarannya dengan meminimalkan interaksi antarmanusia sesuai dengan karakteristik dari virus tersebut yang menyebar melalui udara.

Berbagai kejadian wabah penyakit baik penyakit menular maupun penyakit tidak menular telah menjadi eksperimen alam yang membuat manusia menjadi lebih pandai dalam mengembangkan peralatan diagnosis serta identifikasi agen penyakit, baik agen hidup maupun agen tidak hidup. Selanjutnya metode tersebut akan mendukung perlunya kita melakukan *monitoring* terhadap kondisi kesehatan lingkungan secara luas, bagaimana kita memonitor kualitas udara, air, makanan, sistem transportasi agar tidak menjadi media manusia berkontak dan terpapar dengan agen penyakit.

Menjaga Kesehatan Lingkungan memerlukan pendekatan multidisiplin, diperlukan dukungan berbagai bidang keilmuan untuk dapat melakukan *monitoring* keberadaan agen penyakit (polutan) di lingkungan, seperti dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Perjalanan polutan sebagai agen penyakit sampai ke manusia

Dalam perjalanannya agen penyakit sampai mengimisi manusia, diperlukan pengetahuan yang lengkap dalam mengidentifikasi bahaya yang terdapat dan/atau dihasilkan dari berbagai kegiatan manusia. Perumahan domestik dapat menjadi sumber agent hidup mikroba patogen yang diemisikan pada air limbah dan memasuki perairan dan akhirnya digunakan sebagai sumber air oleh komunitas lain yang menggunakan perairan tersebut. Penyakit-penyakit menular bawaan air antara lain: tifus, disentri, polio, dan lainnya. Transportasi menggunakan bahan bakar berbasis fosil akan menghasilkan polutan pada udara seperti SO_2 , NO_2 , SO_x dan SO_x , partikulat ($PM_{2,5}$), Hidrokarbon, dan lainnya. Industri dapat menghasilkan air limbah yang mengandung senyawa kimia sintesis, logam berat, serta organik lainnya, menghasilkan Limbah Padat mengandung Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dan mengemisikan berbagai polutan udara.

Keberadaan polutan di dalam perairan, terestrial maupun udara dapat di-*monitoring* dengan menentukan titik-titik sampling untuk mengetahui dengan lebih presisi perjalanan dan nasib (*fate*) dari polutan tersebut, bagaimana ekokinematika dari setiap agen apakah termasuk senyawa yang persisten atau mudah didegradasikan sesuai dengan karakteristik struktur molekul serta ukuran molekul. Kloroligin berat molekul tinggi bersifat lebih tidak toksik dibandingkan dengan klorolignin berat molekul rendah (Roosmini, 2000).

Bagaimana mengukur emisi logam berat yang dikeluarkan oleh cerobong industri memerlukan keahlian bidang kimia, ahli udara, pemodelan polutan di udara serta ahli pengembangan sensor jika pengukuran dapat dilakukan

lebih sederhana dan lebih cepat. Selanjutnya hasil *monitoring* kondisi kesehatan lingkungan perlu dikomunikasikan kepada masyarakat serta pemangku kebijakan sebagai dasar pertimbangan perencanaan lingkungan dalam merespons dampak pencemaran terhadap lingkungan dan manusia. Diperlukan masukan dari ahli kesehatan, kedokteran, farmasi untuk mengantisipasi pengobatan yang diperlukan, sementara untuk pencegahan diperlukan perancangan sistem pengendalian pencemaran di sumber, lingkungan serta bagaimana mencegah agar tidak masuk ke dalam tubuh manusia dan memberikan dampak negatif.

2.2 Pencegahan Penyakit dan Wabah Penyakit

Wabah penyakit akan terjadi jika ada penyakit, penyakit bawaan lingkungan akan terjadi ketika kualitas lingkungan mengalami degradasi sehingga manusia terpapar oleh polutan yang menjadi agen penyakit (Soemirat, 2015). Pencegahan penyakit dapat dilakukan dengan menjaga kualitas lingkungan tetap sehat seperti dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hubungan tingkat pencegahan, target populasi, dan perjalanan penyakit (WHO, 1990)

Perjalanan Penyakit	Tingkat Pencegahan	Populasi Target
Kondisi pemicu kausa	Primordial	Seluruh populasi
Faktor kausa spesifik	Primer	Seluruh populasi
Sakit ringan/awal	Sekunder	Penderita
Sakit parah	Tersier	Penderita

Pencegahan primordial adalah pencegahan dengan menghilangkan penyebab penyakit dengan menjaga agar lingkungan tetap sehat tidak mengandung agen penyakit (Soemirat, 2015). Upaya ini dapat dilakukan dengan melakukan pengendalian pencemaran lingkungan dari berbagai sisi. Pengelolaan air limbah domestik akan menghilangkan agen penyakit menular bawaan air, pengelolaan air limbah industri serta pengelolaan sampah akan menurunkan kandungan pencemar *Persistent Organic Pollutants* (POPs) yang dapat bersifat karsinogenik.

Saat ini pengendalian pencemaran lingkungan didukung oleh Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (P3LH). Dalam peraturan ini, setiap usaha dan/atau kegiatan dapat dioperasikan setelah mendapat sertifikat layak operasi (SLO) seperti diuraikan pada Gambar 7. SLO dapat diterbitkan setelah

dilakukan kajian dampak dalam dokumen AMDAL atau UKL dan UPL dan didukung oleh kajian-kajian teknis terhadap pembuangan dan pengelolaan air limbah, limbah B3, limbah emisi polutan udara serta hal lain yang terkait dengan pengelolaan limbah dari berbagai rencana usaha dan/atau kegiatan. Untuk mendapatkan dokumen kajian dampak yang ideal diperlukan transparansi dari rencana usaha/kegiatan yang akan dibangun, informasi bahan baku serta proses yang akan dilakukan diperlukan untuk memperkirakan risiko yang akan terjadi terhadap lingkungan dan masyarakat. Penilaian risiko memerlukan data dan informasi yang lengkap sehingga dapat diidentifikasi potensi bahaya yang akan terjadi untuk lingkungan secara teliti baik bahaya terhadap kesehatan masyarakat, bahaya terhadap lingkungan flora dan fauna, ekonomi dan sosial budaya. Selanjutnya hasil telaah bahaya tersebut digunakan untuk dilakukan manajemen risiko melalui pengelolaan dan pemantauan terhadap risiko bahaya tersebut. Keberhasilan pengelolaan risiko dapat dipantau melalui berbagai metode *monitoring* kesehatan lingkungan. Informasi perubahan kondisi biodiversitas suatu badan air atau terestrial dapat digunakan sebagai indikator dan alat ukur kondisi kesehatan suatu kompartemen lingkungan.



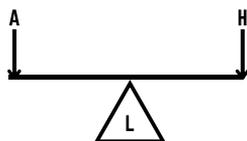
* UKL: Upaya Pengelolaan Lingkungan
 UPL: Upaya Pemantauan Lingkungan

Gambar 7 Pengaturan Integrasi Izin Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dengan AMDAL dan UKL-RPL (Sudijanto, 2021)

Pencegahan penyakit dan wabah penyakit yang kedua adalah pada tingkat primer yang dilakukan setelah pencegahan primordial, melalui pencegahan

jangan sampai terjadi penyakit dengan mengendalikan berbagai faktor penentunya (Soemirat, 2015). Terjadinya penyakit pada manusia dipengaruhi oleh berbagai faktor penentu baik pada agen dan pada manusia atau *host*. Penyediaan kebutuhan dasar hidup masyarakat seperti makanan bergizi, sandang, penyediaan air bersih, dan sanitasi merupakan faktor penentu apakah seseorang yang terpapar oleh agen penyakit akan menjadi sakit atau tidak. Pencegahan sekunder dan tersier, dilakukan jika penyakit telah terjadi sehingga menjadi tugas dari bidang kedokteran, menitikberatkan pada pengobatan dan menurunkan keparahan penyakit. Kejadian suatu penyakit dalam Epidemiologi Lingkungan mengikuti atau dijelaskan melalui Model Gordon (Soemirat, 2015) seperti dijelaskan pada Gambar 8 (a) dan (b).

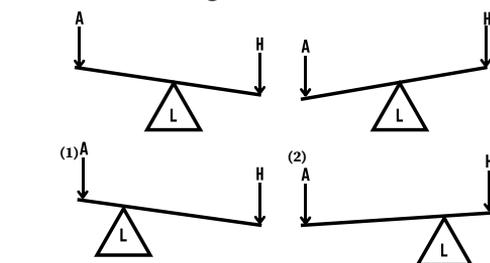
Kondisi Seimbang - Tidak terjadi Penyakit



L: Lingkungan
A: Agent Penyakit
H: Host

(a)

4 kemungkinan keadaan sakit



(b)

Gambar 8 (a) Tidak terjadi Penyakit dan (b) Empat kemungkinan keadaan sakit (Soemirat, 2015)

Gambar 8 (a) menggambarkan bahwa keadaan pengungkit seimbang, lingkungan sebagai pengungkit serta *Agent* (A) dan *Host* sebagai beban pada pengungkit. Kondisi kesetimbangan antara *Agent* dan *Host* dapat terjadi jika pada lingkungan tidak terdapat agen penyakit yang berlebihan sehingga menjadi beban bagi *Host*. Selanjutnya pada Gambar 8 (b) adalah empat (4) kemungkinan, keadaan sakit: kondisi pertama terjadi pelemahan pada *Host*

(H) misalnya perubahan proporsi usia di suatu komunitas, kondisi kedua adalah *Agent* menjadi lebih kuat akibat terjadinya mutasi virus, kondisi ketiga terjadi pergeseran akibat perubahan kualitas lingkungan sehingga *Host* menjadi lebih peka akibat paparan polutan udara SO₂ dan membuat gangguan paru-paru dan menurunkan daya tahan tubuh, dan kondisi keempat terjadi perubahan kualitas lingkungan yang memudahkan *Agent* memasuki *Host* akibat bertambahnya *Agent* di lingkungan (Soemirat, 2015).

Konsep pencegahan penyakit dan wabah penyakit dilakukan dengan mengacu kepada Model Gordon tersebut, penelitian epidemiologi lingkungan perlu dilakukan untuk dapat mendeskripsikan kejadian penyakit dengan jelas meliputi:

- a. Identifikasi *Agent* penyebab penyakit: mikroba patogen, senyawa organik sitetis, atau logam berat, dan lainnya.
- b. Metode transmisi atau perpindahan agen dari satu *host* ke *host* lain, dari sumber/reservoir dan memasuki *host*.
- c. *Portal of Entry* dari agen penyakit, apakah sistem pernafasan, kulit, oral, atau lainnya.
- d. Faktor-faktor penentu pada *Agent* dan *Host* yang ikut memengaruhi terjadinya penyakit, seperti daya tahan tubuh *host*, prosedur identifikasi agen, kondisi sosial dan ekonomi, dan lainnya.

Konsep pengendalian agent penyakit dilakukan dengan upaya-upaya sebagai berikut:

- a. Diutamakan pengendalian pada sumber emisi, misalnya dengan melakukan pengolahan air limbah industri atau domestik dengan membangun Instalasi Pengolahan Air Limbah agar air limbah tersebut memenuhi baku mutu air limbah yang berlaku.
- b. Pengendalian di lingkungan dengan melakukan *monitoring* kualitas air baku Instalasi Pengolahan Air Minum agar memenuhi untuk dapat diolah dan menghasilkan air bersih atau air layak minum.
- c. Pengendalian pada *host*, dengan memastikan agar kualitas air minum, makanan, kualitas udara, serta kompartemen lainnya untuk memastikan pencegahan masuknya agent penyakit ke dalam tubuh manusia.

Pengendalian pada sumber emisi merupakan upaya yang paling efisien sesuai dengan konsep pencegahan penyakit primordial.

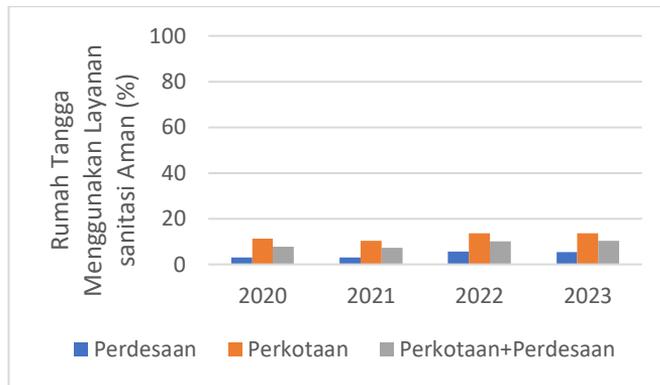
2.3 Kebijakan Pencapaian Kesehatan Lingkungan

Pencapaian kesehatan lingkungan ditentukan oleh berbagai faktor, faktor utama adalah keinginan kuat dari pemerintah pusat yang didukung oleh pemerintah daerah baik di tingkat provinsi maupun kabupaten dan kota. Kebijakan pusat yang diadopsi dari dorongan global dapat menjadi acuan bagaimana arah pembangunan berkelanjutan dipastikan akan memberikan dampak terhadap peningkatan kualitas lingkungan dan standard kesehatan lingkungan.

Upaya pemenuhan Kesehatan Lingkungan di Indonesia dapat dicapai melalui pelaksanaan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang diatur lebih lanjut dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 27 Tahun 2021 tentang Indeks Kualitas Lingkungan Hidup, yang merupakan indikator yang dihitung sebagai satu kesatuan untuk Indeks Kualitas Air (IKA), Indeks Kualitas Udara, Indeks Tutupan Lahan (IKTL), Indeks Kualitas Air Laut (IKAL), Indeks Kualitas Ekosistem Gambut (IKEG), dan Indeks Kualitas Lahan (IKL).

PP No. 22 Tahun 2021 dan PerMenLHK No. 27 Tahun 2021 dapat dijadikan acuan dasar respons apa yang perlu dilakukan oleh masing-masing pemerintah daerah untuk meningkatkan Indeks Kualitas Lingkungan Hidupnya. Peningkatan Indeks Kualitas Air dapat dilakukan dengan melakukan cakupan pengelolaan persampahan, air limbah domestik dan industri agar tidak mencemari lingkungan perairan. Data persentase nilai rata-rata rumah tangga menggunakan layanan sanitasi aman (%) di seluruh provinsi di Indonesia pada tahun 2020 sampai dengan tahun 2023 dapat dilihat pada Gambar 9.

Tampak bahwa rata-rata rumah tangga yang menggunakan layanan sanitasi aman dari tahun 2020 s.d. tahun 2023 masih di bawah 20%, data BPS, 2023 menunjukkan bahwa nilai tertinggi pada tahun 2023 untuk perkotaan adalah Provinsi Aceh sebesar 25,38% sementara perkotaan terendah di Provinsi Maluku Utara 1,35%. Hal ini dapat dikaitkan dengan nilai IKA pada masing-masing provinsi tersebut dan dapat menjadi strategi yang perlu diutamakan untuk meningkatkan nilai IKA.



Gambar 9 Persentase nilai rata-rata rumah tangga menggunakan layanan sanitasi aman di seluruh provinsi di Indonesia (diolah dari Data BPS, 2023)

Peraturan lain yang mendukung perbaikan kualitas lingkungan adalah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan kehutanan No. 5 Tahun 2021 tentang Tata Cara Penerbitan Persetujuan Teknis dan Surat Kelayakan Operasional Bidang Pengendalian Pencemaran Lingkungan, dalam peraturan ini diatur untuk kegiatan Pembuangan dan atau pemanfaatan air limbah serta kegiatan pembuangan emisi.

Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) diatur pengelolaannya melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan kehutanan No. 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah B3, sebagai turunan dari PP No. 21 Tahun 2021.

3 MONITORING KESEHATAN LINGKUNGAN

Melalui epidemiologi lingkungan kita dapat mengetahui dan menentukan penyebab atau agen penyakit serta faktor-faktor determinan baik pada reseptor maupun pada agen. Informasi agen penyebab penyakit apakah agen tersebut merupakan penyebab penyakit bawaan air, bawaan udara, bahkan vektor akan mengarahkan infrastruktur lingkungan apa yang perlu dibangun atau disiapkan, apakah diperlukan Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri agar air baku air sungai tidak mengandung agent tersebut, ataukah sistem pengendalian penceran udara pada cerobong asap, atau perubahan sistem transportasi.

Monitoring kesehatan lingkungan merupakan bagian dari monitoring lingkungan yang dapat didefinisikan sebagai teknik yang dirancang untuk melakukan observasi terhadap lingkungan, mengarakterisasi kualitasnya, menentukan parameter-parameter lingkungan, untuk dapat mengkuantifikasi secara akurat dampak dari aktivitas yang dilakukan di lingkungan. Hasil *monitoring* dikumpulkan dan dianalisis menggunakan statistik, selanjutnya di publikasikan dalam penilaian risiko serta dilaporkan dalam penilaian dampak. Monitoring Kesehatan Lingkungan dikembangkan untuk memantau kesehatan masyarakat melalui pemantauan paparan pencemar di lingkungan yang dapat menjadi agen penyakit bagi manusia, memantau dampaknya terhadap manusia secara spesifik serta makhluk hidup lainnya. Dalam *monitoring* kesehatan lingkungan dapat diketahui risiko paparan dan dampaknya terhadap kesehatan masyarakat akibat aktivitas antropogenik dalam berbagai usaha dan kegiatan untuk meningkatkan kesejahteraan hidupnya.

Risiko paparan agen penyakit dapat bersumber dari pencemaran pada udara, air, tanah, sumber daya hayati dan hewani. Manusia dapat terpapar oleh logam berat melalui konsumsi air, produk makanan hewani ataupun nabati yang mengandung polutan organik sintetis ataupun logam berat yang masuk ke dalam rantai makanan akibat sifat bioavailabilitasny.

3.1 Penggunaan Data Monitoring Kesehatan Lingkungan

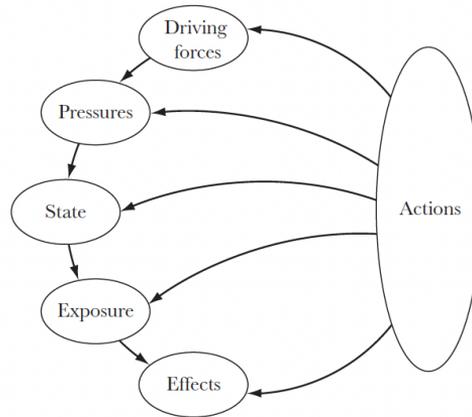
Dalam perkembangannya *monitoring* kesehatan lingkungan terdiri atas tiga komponen utama, yaitu (Goldman, L. and Coussens CM, ed, 2004): *monitoring*

bahaya, *monitoring* paparan, serta *monitoring* dampak kesehatan. Untuk setiap komponen terdapat indikator yang terkait indikator bahaya, seperti tumpahan senyawa kimia, emisi dari kendaraan bermotor; indikator paparan-kandungan Pb pada darah anak; indikator dampak kesehatan-keracunan pestisida pada anak.

Seperti telah dibahas pada uraian sebelumnya, bahwa data *monitoring* kesehatan lingkungan serta data kualitas lingkungan dapat menjadi dasar pengembangan kebijakan dan rancangan pembangunan suatu daerah atau negara. Secara menyeluruh WHO mengembangkan metode bagaimana indikator-indikator kesehatan lingkungan yang dikembangkan dari hasil *monitoring* kesehatan lingkungan dapat dikembangkan dan diuji. Indikator kesehatan lingkungan merupakan teknik untuk mengkuatifikasi hubungan ilmiah antara lingkungan dan kesehatan, indikator ini harus mamenuhi hal berikut (Goldman, L. and Coussens CM, ed, 2004):

- sederhana
- terukur – dapat dibandingkan, dapat diukur dan dapat diperingkat
- dapat dipertahankan
- mudah dimengerti
- kredibel – tidak dari sumber yang bias
- dapat dipahami
- dapat dilakukan
- responsif terhadap kebutuhan lokal
- merefleksikan nilai-nilai sosial pada lingkungan dan kesehatan

Hubungan yang transparan antara kondisi lingkungan dengan kesehatan (indikator kesehatan) dikembangkan oleh WHO pada tahun 1992 dalam kerangka pemikiran DPSEEA, yaitu *Driving force-pressure-State-Exposure-Effect-Actions*. Beberapa studi kasus menunjukkan bahwa kerangka tersebut dapat membantu dalam mengembangkan indikator yang dapat diterapkan di tingkat daerah, nasional, atau internasional sesuai dengan konteks. Karakteristik permasalahan kesehatan lingkungan akan menunjukkan tingkat keputusan kebijakan (Goldman, L. and Coussens CM, ed, 2004).



Gambar 10 Model DPSEEA – *Driving Force-Pressure-State-Exposure-Effects-Actions* (Frumkin, 2005)

Kerangka Model DPSEEA dapat dilihat pada Gambar 10 yang menunjukkan hubungan antara kondisi lingkungan dengan kesehatan sebagai dampak. Secara keseluruhan kerangka ini memerlukan data *monitoring* kesehatan lingkungan yang dapat dihubungkan dengan aksi apa saja untuk perbaikan kesehatan masyarakat melalui perbaikan kesehatan lingkungan.

- **D-Driving force:** Tipe atau jenis pembangunan atau kegiatan sosioekonomi, merupakan pemicu atau sumber kegiatan yang akan menyebabkan tekanan terhadap lingkungan.
- **P-Pressure:** Produk yang membahayakan lingkungan akibat kegiatan sosial-ekonomi, merupakan jenis bahaya yang dihasilkan, sebagai contoh *driving force* pembangunan industri tekstil akan memberikan tekanan beban air limbah yang mengandung senyawa kimia sintetik, logam berat sebagai senyawa yang diperlukan sebagai pencerah warna tekstil.
- **S-State:** Kondisi tingkatan lingkungan atau perubahan yang terjadi akibat tekanan terhadap lingkungan (kekuatan bahaya atau tingkatan pencemaran), dinyatakan dengan kandungan polutan di lingkungan, pada badan air penerima air limbah industri tekstil akan mengandung konsentrasi senyawa kimia sintesis dan logam berat berapa besar.
- **E-Exposure:** Paparan/paparan interseksi antara manusia dengan bahaya, bagaimana senyawa kimia sintesis dan logam berat pada badan air dapat memasuki tubuh manusia, apakah melalui air minum, sayuran dan ikan yang mengakumulasi senyawa kimia sintesis dan logam berat di atas.
- **E-Effect:** Dampak kesehatan, dampak kesehatan pada manusia akibat terpapar senyawa kimia sistetis dan logam berat, penyakit apa yang terjadi di masyarakat.

- **A-Actions:** Aksi apa yang dapat dilakukan terhadap komponen *driving force, pressure, state, exposure dan effect*. Pada *pressure* dapat dibuat aksi dengan mengembangkan peraturan melarang penggunaan warna tekstil yang mengandung logam berat; pada *state* dapat dilakukan peningkatan kinerja IPAL melalui peningkatan baku mutu *effluent* air limbah domestik; dst..

Kajian dampak lingkungan dalam studi AMDAL sesuai Undang-Undang No.6 Tahun 2023 sebagai pengganti UU CK No. 11 Tahun 2020. Dalam UU tersebut, maka kajian AMDAL dilakukan dengan berdasarkan risiko bahaya terhadap: kesehatan, keselamatan, lingkungan dan/atau pemanfaatan dan pengelolaan sumber daya. Hasil monitoring kesehatan lingkungan selanjutnya digunakan dalam perhitungan risiko kesehatan pada lingkungan dan manusia. Data-data *monitoring* kesehatan lingkungan akan memberikan informasi kondisi kualitas lingkungan yang lebih transparan dalam kaitannya dengan efek terhadap kesehatan masyarakat.

3.2 Metode Monitoring Kesehatan Lingkungan

Dalam studi epidemiologi lingkungan, telah dikembangkan metode pengukuran paparan polutan terhadap manusia serta pengukuran efeknya. Berbagai metode pengukuran telah dikembangkan sesuai dengan perkembangan teknologi, meliputi pengukuran paparan polutan di udara, air, tanah serta kompartemen lingkungan lainnya. Peningkatan berbagai jenis senyawa organik sintesis yang dikembangkan oleh manusia telah memberikan potensi risiko kesehatan bagi manusia dan makhluk hidup lainnya. *Monitoring* lingkungan yang berawal dengan monitoring kondisi fisik, kimia dan biologis dikembangkan lebih lanjut dengan menggunakan bioindikator dan biomarker, penggunaan makhluk sebagai indikator yang lebih luas.

Pengembangan biomarker dan bioindikator atau biomonitoring terjadi dengan latar belakang: penambahan xenobiotik yang memapari makhluk hidup secara berkelanjutan dan memberikan dampak kesehatan, di sisi lain diperlukan sistem *monitoring* senyawa kimia yang sangat luas untuk air, udara, dan tanah. Biomonitoring merupakan metode yang menggunakan makhluk hidup untuk mendapatkan informasi mengenai komponen abiotik dan biotik pada suatu lingkungan.

Metode biomonitoring dapat menilai paparan senyawa kimia alami maupun sintetis dengan menggunakan sampel cairan atau jaringan individu. Mahluk hidup akan merefleksikan kondisi di mana mereka tinggal, perubahan-perubahan pada biota menunjukkan perubahan pada lingkungan tempat mereka tinggal sehingga dapat menjadi indikator kesehatan suatu lingkungan. Dalam studi epidemiologi lingkungan, biomonitoring digunakan sebagai ukuran dan konfirmasi bahwa terjadi paparan pada manusia atau mahluk hidup lainnya. Biomonitoring terdiri atas bioindikator dan biomarker.

Metode biomarker telah dikembangkan untuk mengukur akumulasi paparan polutan di udara dan perairan. Menurut Hugget, 1992 dalam Werner (2003) biomarker adalah indikator biokimia, fisiologis, atau histologis dari pajanan atau sampai efek suatu stressor atau senyawa kimia xenobiotic pada tingkat suborganisme atau organisme. Keuntungan dari metode biologis dalam *monitoring* kualitas lingkungan adalah sebagai berikut.

1. Mengamati pencemaran lingkungan baik yang berada di bawah maupun di atas standar.
2. Mengukur efek sesungguhnya akibat pencemaran pada lingkungan
3. Menganalisis kecenderungan pencemaran secara historis
4. Mengukur seluruh efek dari berbagai sumber pencemar

Biomarker sering digunakan untuk melakukan suatu penilaian terhadap pengaruh aktivitas yang menghasilkan limbah yang dapat mencemari lingkungan dan menyebabkan terpajannya biota di lingkungan baik di air maupun terestrial. Biomarker adalah salah satu metode untuk mengukur besarnya pajanan senyawa pencemar terhadap biota. Pajanan dapat diklasifikasikan ke dalam dua kelompok, yaitu paparan akut dan kronis. Pajanan akut terjadi jika manusia terpapar oleh senyawa tunggal atau beberapa senyawa yang kemudian memberikan efek dalam waktu cepat. Pajanan kronis terjadi jika manusia terpapar oleh senyawa kimia konsentrasi rendah dalam waktu lama (jam, hari, atau tahun). Efek terhadap kesehatan dari pajanan kronis merupakan fungsi dari jalur paparan, metabolisme serta akumulasi senyawa kimia (Autrup, 1996).

Untuk mengetahui secara pasti bahwa seseorang terpapar dapat dilakukan dengan mengumpulkan informasi melalui kuesioner, data historis, *monitoring* lingkungan dan biomarker. Autrup, 1996 mengklasifikasikan

biomarker sebagai berikut: 1) penandaan adanya paparan, 2) penandaan efek dan 3) penandaan kerentanan. Biomarker sebagai penandaan paparan oleh senyawa toksik dapat digunakan dengan menganalisis senyawa toksik dalam cairan biologis seperti di dalam darah, urin, atau lainnya. Apabila senyawa toksik mengalami metabolisme di dalam tubuh dan menghasilkan metabolit, maka dapat dilakukan analisis adanya metabolit hasil metabolisme tersebut dalam cairan biologis. Sementara efek potensial dapat diukur dengan menganalisis perubahan dalam fungsi seluler.

Biomarker logam berat telah dikembangkan untuk mengamati paparan mangan, merkuri dan timbal pada manusia. Merkuri dapat diamati dengan menganalisis kadar merkuri di dalam darah atau urin, pengukuran merkuri dalam urin merupakan indikator yang sesuai untuk inorganik merkuri. Sementara pengukuran merkuri di dalam darah dapat mewakili adanya paparan organik merkuri (Autrup, 1996).

Penggunaan biomarker pada biota air *Elliptio complanata* dan *Dreissena polymorpha* telah dilakukan untuk mengamati paparan dan efek pembuangan limbah domestik ke dalam sungai oleh Gagne (2002), dalam penelitian ini dilakukan analisis metallothioneins (MT) dan aktivitas cytochrome P4501A1.

Menurut Nageb, 2000, biomarker adalah pengukuran parameter biologis sebagai indikasi adanya paparan senyawa toksik. Sumber-sumber pencemaran pada sungai terutama pencemar yang diakibatkan masuknya logam berat dapat berasal dari:

1. Sumber alami
2. Sumber yang berasal dari industri
3. Buangan dari domestik
4. Sumber dari pertanian
5. Pertambangan
6. Polusi yang berasal dari udara

Materi toksik dalam ikan dapat mengalami biokonsentrasi, bioakumulasi, dan pada akhirnya mengalami biomagnifikasi melalui rantai makanan (Lloyd, 1992). Pengertian mengenai hal tersebut dijelaskan oleh Brungs & Mount, 1978 sebagai berikut:

- Biokonsentrasi adalah proses di mana senyawa diabsorpsi dari air melalui insang atau permukaan luar tubuhnya (bukan melalui makanan) dan terkonsentrasi dalam tubuh.

- Bioakumulasi adalah proses di mana senyawa terkumpul pada organisme akuatik, baik melalui air maupun makanan.
- Biomagnifikasi adalah proses di mana konsentrasi senyawa bertambah pada organisme yang berbeda, berturut-turut menempati tingkat trofik (melalui rantai makanan).

Leng (2006) menggunakan biomarker untuk menunjukkan adanya paparan insektisida pyrethrum pada manusia, dengan mengukur metabolit pyrethrum dalam urin dengan menggunakan gas *chromatography mass spectrometric*. Metabolit yang diukur adalah dalam bentuk senyawa *trans-chrysanthemumdicarboxylic acid* (CDCA). Insektisida *pyrethrum* seperti halnya insektisida sintesis pyrethroid lainnya (*allethrin, resmethrin, phenothrin, tetramethrin, cyfluthrin, cypermethrin, deltamethrin* atau *permethrin*) merupakan insektisida yang paling sering digunakan di seluruh dunia. Paparan *pyrethrum* dan *pyrethroid* pada manusia dimonitor dengan mengukur metabolit yang terdapat dalam darah.

EPA Ohio State USA telah menggunakan biomarker sebagai salah satu parameter untuk melakukan studi kualitas air permukaan (Taft, 1998). Sampel darah, hati dan empedu ikan carp dan white sucker di Sungai Ottawa dianalisis aktivitas EROD (ethoxyresorufin-o-deethylase), metabolit empedu, ALT (plasma levels of alanine transaminase), BUN (blood urea nitrogen), ALB (albumin) dan TP (total protein), CHE (pseudo-cholinesterase), CHOL (cholesterol), dan TRIG (triglycerides). EROD mengukur aktivitas kelompok enzim metabolik yang terinduksi oleh senyawa xenobiotic planar seperti polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) dan hidrokarbon terhalogenasi. Aktivitas EROD merupakan indikator adanya paparan PAH dan hidrokarbon terhalogenasi. Selanjutnya pada ikan metabolit PAH akan terakumulasi pada empedu, metabolit pada empedu mengindikasikan adanya paparan baru dari PAH. Sementara metabolit benzo(a)pyrene menunjukkan adanya paparan produk samping dari pembakaran. Metabolit naphthalene (NAPH) mengindikasikan adanya paparan kontaminan minyak. Adanya BUN menunjukkan bahwa ikan telah terpapar oleh air yang mengandung amonia atau notrogen organik tinggi, umumnya terjadi pada daerah dekat dengan pemakaian pupuk tinggi atau industri pupuk.

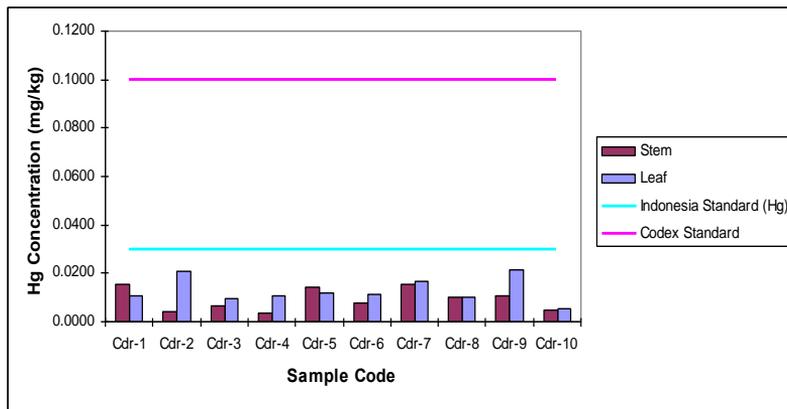
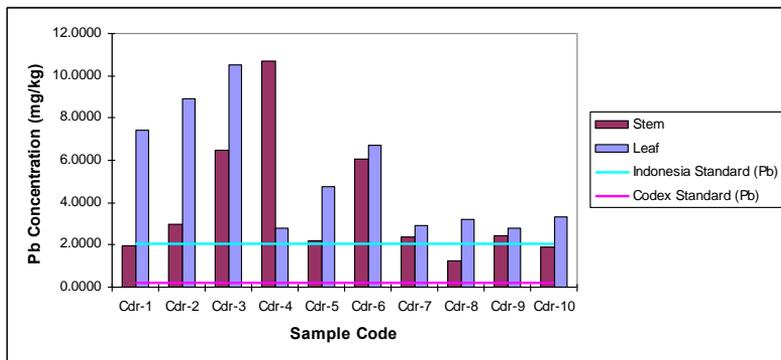
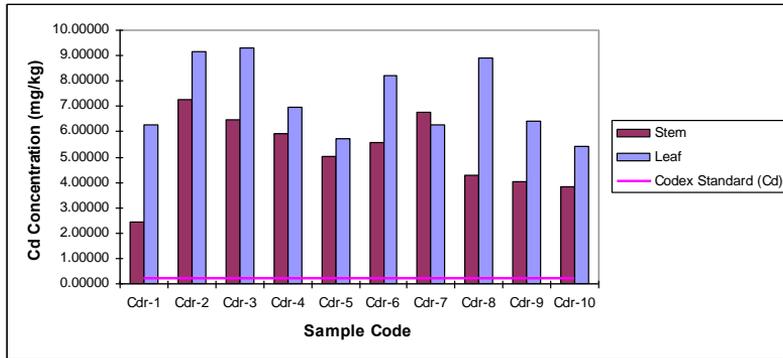
Penelitian yang telah dilakukan pada Kelompok Keahlian Teknologi Pengelolaan Lingkungan adalah penggunaan biomarker dalam menganalisis pengaruh tata guna lahan terhadap kualitas air Sungai Citarum. Dalam

penelitian ini digunakan ikan sapu-sapu (*Hyposarcus pardalis*) sebagai biomarker, kandungan logam Cu, Pb dan Ni pada ikan meningkat sepanjang Sungai Citarum dari hulu ke hilir. Kandungan Hg meningkat dengan tajam pada daerah Dayeuhkolot dibandingkan dengan titik sampling lain di sepanjang sungai. Beberapa industri yang terdeteksi di sepanjang sungai adalah industri tekstil, pelapisan logam, serta penyamakan kulit. Aktivitas pertanian juga dapat menjadi sumber logam berat dalam air sungai akibat penggunaan pestisida yang tidak terkontrol (Roosmini, 2006).

Selanjutnya metode biomarker ini dapat dikembangkan lebih lanjut penggunaannya dalam *monitoring* kualitas lingkungan serta paparan senyawa pencemar pada organisme (reseptor). Biomarker dapat digunakan sebagai bagian dari *early warning system* tentang adanya pencemaran yang dapat membahayakan kesehatan masyarakat. Data-data biomarker juga dapat digunakan untuk menunjukkan perbedaan besarnya paparan pencemar pada suatu daerah dibandingkan dengan daerah lain sesuai dengan kondisi lingkungan pada masing-masing daerah. Penggunaan lebih luas dalam perhitungan risiko kesehatan juga dapat dilakukan dengan biomarker. Perlu diidentifikasi organisme atau suborganisme lokal potensial untuk dianalisis sebagai biomarker.

Penggunaan metode biomarker dalam evaluasi kesehatan lingkungan perairan dapat digunakan dengan menggunakan flora ataupun fauna di lingkungan perairan. Penggunaan sayuran kangkung sebagai biomarker dapat dilihat pada Gambar 11, kandungan logam berat Cd, Pb, dan Hg menunjukkan bahwa perairan tersebut telah terkontaminasi oleh logam-logam berat tersebut.

Kandungan logam berat pada *Ipomea aquatica* berhubungan dengan jenis industri yang berada di sepanjang aliran Sungai Cidurian, yaitu: industri pelapisan logam, percetakan, tekstil, kulit, plastik, dan kimia. Kandungan logam yang terakumulasi pada tanaman mengindikasikan bahwa kinerja IPAL industri belum maksimal.



Gambar 11 Kandungan logam Kadmium (Cd), Timbal (Pb), dan Merkuri (Hg) dalam *Ipomoea aquatica* pada Sungai Cidurian (Roosmini, 2008)

3.3 Monitoring Kesehatan Lingkungan sebagai Evaluasi Keberlanjutan Program Pembangunan

Perairan sungai merupakan cerminan dari beban antropogenik pada Daerah Aliran Sungai (DAS), kandungan berbagai parameter pencemar air baik fisik, kimia, maupun biologis menunjukkan kinerja infrastruktur lingkungan pada

DAS yang bermuara pada sungai-sungai di dalamnya. Sungai Citarum dan beberapa sungai utama di Pulau Jawa telah menunjukkan kerusakan lingkungan perairannya pada dimulainya pada bagian hulu dari sungai (Shabrina, 2016, Septiono, 2016, Roosmini, 2018).

Dalam subbab ini akan dibahas secara spesifik beberapa data kesehatan lingkungan dalam kaitannya dengan upaya yang telah kebijakan-kebijakan yang terkait dengan kondisi kesehatan lingkungan perairan.

3.3.1 Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah

Instalasi pengolahan air limbah industri merupakan komponen penting dalam implementasi studi AMDAL sebelum industri tersebut mendapatkan ijin operasional, selanjutnya setiap industri diminta untuk melakukan *monitoring* terhadap air limbah yang dibuang ke dalam sungai. Penelitian yang telah dilakukan adalah dengan melakukan uji toksisitas terhadap *effluent* dari IPAL, nilai uji toksisitas akut dinyatakan dalam nilai Letal Concentration 50 (LC50) yang menunjukkan konsentrasi yang menyebabkan 50% hewan uji mengalami kematian. Nilai Toksisitas LC50 pada *effluent* IPAL terpadu Kawasan Industri Tekstil di Dayeuhkolot dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Nilai LC50 effluent IPAL Kawasan Industri Tekstil Terpadu Dayeuhkolot (Sumber: Ayu, 2014)

Hari	LC50
Senin	13,37%
Selasa	52,24%
Rabu	28,55%
Kamis	56,00%
Jumat	47,06%
Sabtu	21,99%

Hasil uji toksisitas di atas menunjukkan bahwa nilai toksisitas effluent berfluktuasi dari hari ke-hari yang mengindikasikan bahwa kinerja IPAL tidak stabil, dengan sifat toksik tertinggi terjadi pada Hari Senin dan Sabtu. Nilai toksisitas ini sesuai dengan data kualitas *effluent* yang menunjukkan beberapa parameter masih melebihi baku mutu air limbah yang diizinkan.

Pengujian toksisitas dapat dikembangkan sebagai masukan sebagai pertimbangan terhadap peraturan dalam evaluasi kinerja industri terhadap perlindungan lingkungan. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.3 Tahun 2014 tentang Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan Dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup, melalui peraturan ini maka KLHK memberikan peringkat sesuai dengan penilaian yang berlaku. Uji

toksistas yang disandingkan dengan hasil penilaian Proper dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Nilai LC50 bagi industri dengan peringkat Proper(Sumber: Rohmah, 2017)

Industri	LC50	TUa	Peringkat PROPER
Tekstil 1	6,4	15,7	Biru
Tekstil 2	13,6	7,4	Biru
Pelapisan Logam	20,6	4,9	Merah
Farmasi	13,0	7,7	Biru
Tekstil 3	2,7	36,8	Biru
Tekstil 4	88,4	1,1	Biru
Pengolahan Susu	45,1	2,2	Merah
Sepatu	50,0	2,0	Biru
Tekstil	7,6	13,2	Biru

Tabel 5 menampilkan bahwa nilai TUa (unit toksistas) tertinggi adalah pada Industri Tekstil 3 dengan peringkat Proper Biru yang dikategorikan sebagai baik. Sementara Industri Pengolahan Susu dengan nilai TUa rendah mendapatkan peringkat Proper Merah, dan begitu pula dengan Industri Pelapisan Logam dengan nilai TUa yang lebih rendah dari Industri Tekstil 3 mendapat peringkat Proper Merah. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja administratif yang baik tidak menjamin kinerja IPAL yang baik, sehingga berpotensi mencemari lingkungan sesuai dengan sifat toksistas yang tinggi.

3.3.2 Evaluasi Kualitas Air Sungai

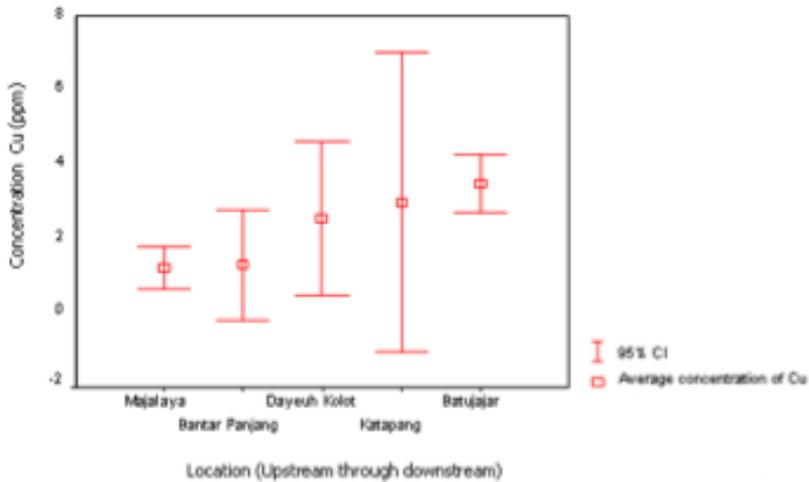
Penilaian kualitas air sungai kesehatan lingkungan air sungai dapat dilakukan dengan menggunakan biomarker atau bioindikator, merupakan indikator potensi paparan terhadap manusia melalui rantai makanan. Biomarker dapat digunakan dengan mengamati bioakumulasi polutan pada flora dan fauna yang ditemui dalam badan air, tanaman air, ikan, atau makro dan mikro bentos. Kandungan logam pada ikan di perairan sungai Citarum Hulu dapat dilihat pada Tabel 6, ditunjukkan bahwa tidak semua titik sampling dapat ditemukan ikan akibat populasi ikan yang menghilang dari perairan tersebut. Dari tujuh titik sampling hanya ditemui ikan pada 3 titik sampling dengan kandungan logam berat tertinggi kromium sebesar 103,94 mg/kg berat kering pada titik sampling Sapan, daerah Sapan merupakan daerah dengan kepadatan Industri Tekstil.

Tabel 6 Konsentrasi kadmium, kromium, dan tembaga pada Ikan *Liposarcus pardalis* di Sungai Citarum Hulu (Septiono, 2015)

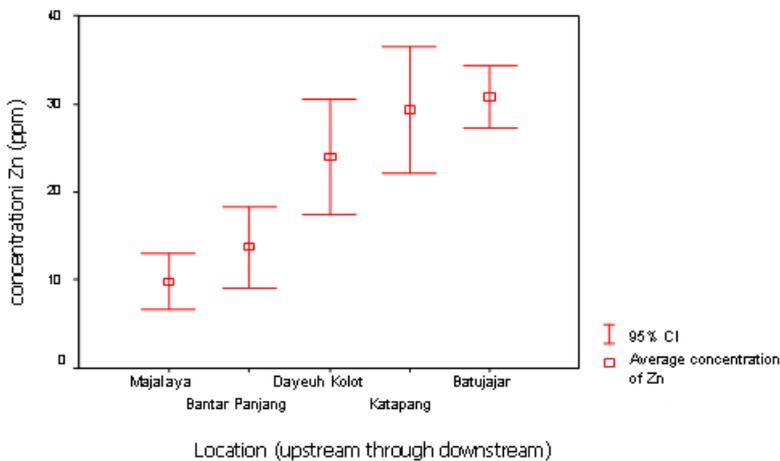
No	Sampling Points	Cadmium (mg/kg berat kering)	Chromium (mg/kg berat kering)	Copper (mg/kg berat kering)
1	Cisanti	-	-	-
2	Wangisagara	-	-	-
3	Sapan	0,008	103,93	4,23
4	Cijeruk	0,00025	0,14	0,546
5	Cisirung	-	-	-
6	Burujul	0,0006	0,329	0,453
7	Nanjung	-	-	-

Terindikasi bahwa keberadaan ikan pada Sungai Citarum Hulu di Tahun 2015 mengalami penurunan jika dibandingkan dengan tahun 2009. Penelitian yang dilakukan pada Tahun 2009, menunjukkan populasi ikan *Liposarcus pardalis* masih ditemukan di beberapa titik sampling sepanjang Sungai Citarum Hulu. Kandungan logam berat pada *Liposarcus pardalis* di penelitian tahun 2009 dapat dilihat pada Gambar 12.

Kandungan logam tembaga dan seng meningkat dari hulu ke hilir di Sungai Citarum Hulu. Beban kegiatan industri semakin meningkat di bagian hilir Sungai Citarum Hulu dan terakumulasi pada ikan. Hal ini mengindikasikan bahwa kerusakan kualitas air di hilir lebih tinggi dibandingkan bagian hulu seiring dengan beban antropogenik dari DAS dan memasuki perairan sungai dan terakumulasi pada badan ikan. Akumulasi polutan pada ikan telah digunakan sebagai metode monitoring lingkungan perairan dengan mengitung akumulasi logam berat ataupun polutan lainnya. Penggunaan biomonitoring ini dapat melengkapi data fisik dan kimiawi yang biasanya disampling pada waktu-waktu tertentu mengingat biaya dan tenaga yang diperlukan. Biomonitoring menggunakan flora atau fauna yang ada di suatu perairan dapat menggambarkan akumulasi paparan polutan dari waktu ke waktu sehingga dapat merepresentasikan kondisi kesehatan perairan secara keseluruhan.



(a)



(b)

Gambar 12 Kandungan Tembaga-Cu (a) dan Seng-Zn (b) pada *Liposarcus pardalis* di Sungai Citarum Hulu (Roosmini, 2006)

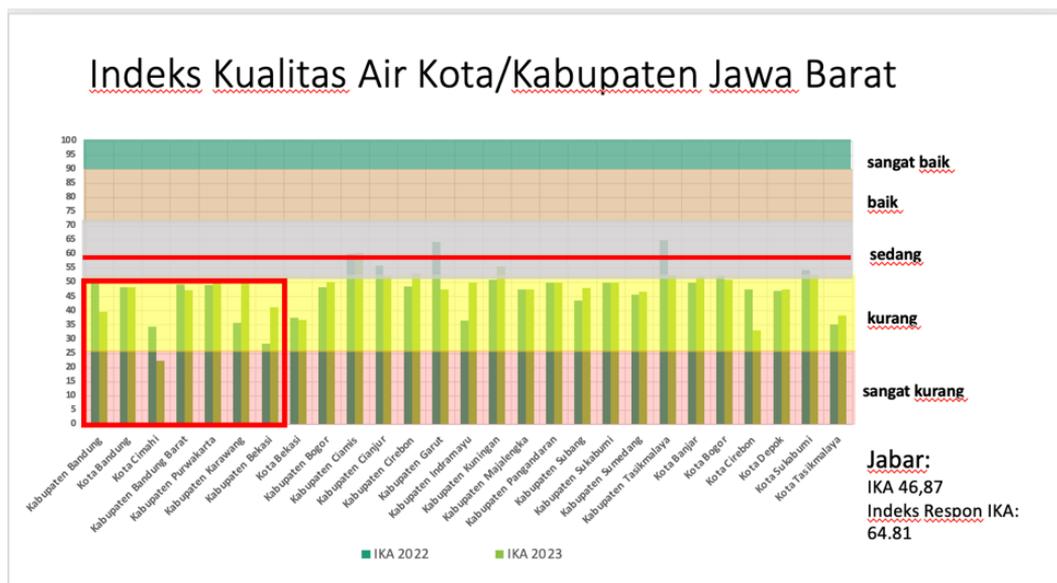
3.3.2 Evaluasi Perbaikan Sungai Citarum Hulu

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan mengembangkan Indeks Kualitas Air sebagai bagian dari penentuan Indeks Kualitas Lingkungan sesuai dengan PerMenLHK No.27 Tahun 2021.

Dengan konsep pembangunan berkelanjutan, diharapkan perbaikan Sungai Citarum dari tahun ke tahun dapat dikaitkan dengan upaya-upaya

perbaikan pada sumber. Seluruh usaha dan/atau kegiatan di DAS Citarum akan memberikan beban terhadap sungai, diperlukan pengembangan dan pembangunan infrastruktur lingkungan yang terukur sehingga dampaknya dapat ditunjukkan oleh perbaikan kualitas air di Sungai Citarum. Sumber pencemar Sungai Citarum sangat beragam: limbah domestik, limbah industri, limbah padat, tidak semua paramet pencemar fisik, kimia dan biologis dapat teridentifikasi dan terukur.

Nilai Indeks Kualitas Air di kabupaten dan kota Jawa Barat Tahun 2023 dan tahun 2022 yang ditampilkan pada Gambar 13. menunjukkan bahwa lebih dari 80% kota dan kabupaten berada pada kondisi kurang dengan Nilai IKA keseluruhan Tahun 2023 sebesar 46,87. Nilai Indeks Respons Kualitas Lingkungan Hidup (IRKLHD) sebesar 64,81 dari skala (0-100), hal ini menunjukkan bahwa respons pemerintah daerah terhadap capaian IKA belum terpenuhi.



Gambar 13 Nilai Indeks Kualitas (IKA) kota dan kabupaten di Provinsi Jawa Barat (Diolah dari Data KLHK, Gracella dan Roosmini, 2024)

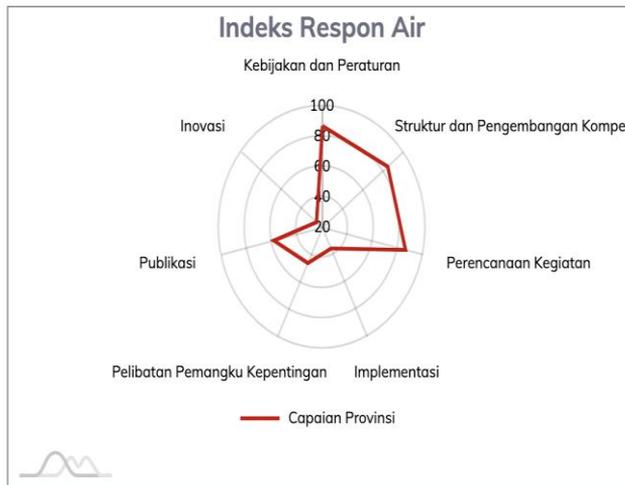
Pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa Kabupaten Bandung Barat, Kota Cimahi dan Kota Bandung berkontribusi dalam luasan SubDAS lebih besar dibandingkan dengan kota dan kabupaten lainnya, dapat diindikasikan bahwa beban pencemaran tertinggi berasal dari ketiga kota dan kabupaten tersebut. Dari Gambar 13 dapat dilihat bahwa ketiga kota dan kabupaten tersebut

berkontribusi nilai IKA lebih rendah dibandingkan lainnya, terutama Kota Cimahi dengan IKA terendah dibandingkan lainnya.

Tabel 7 Luas Sub DAS Citarum dari kabupaten dan kota

No.	Kabupaten/Kota	Luas Adm (Ha)	Luas dalam DAS (Ha)	Persentase Luas DAS (%)
1	Bandung	174.304,1	134.384,1	77,1
2	Bandung Barat	128.468	128.305,5	99,8
3	Subang	216.871,7	95,1	0,04
4	Bekasi	125.172,7	46.655,7	37,2
5	Bogor	299.225,4	44.623,4	14,9
6	Cianjur	363.409,0	127.626,9	35,1
7	Cimahi	4.248,1	4.248,1	100
8	Garut	310.605,5	1.198,4	0,4
9	Karawang	191.540,4	94.026,3	49,1
10	Kota Bandung	16.681	16.681	100
11	Purwakarta	99.407,6	70.788,9	71,2
12	Sukabumi	416.338,7	379,6	0,1
13	Sumedang	156.916,4	13.213,5	8,4

Nilai Indeks Respons Air di nilai dengan enam parameter, seperti digambarkan pada Gambar 14.



Gambar 14 Indeks Respons Air Provinsi Jawa Barat (KLHK, 2024)

Dari Gambar 14 dapat dijelaskan bahwa secara kebijakan dan peraturan sudah dimiliki di tingkat provinsi, tetapi nilai terendah ada di aspek implementasi, pelibatan pemangku kepentingan serta publikasi dan inovasi. Hal ini merupakan cerminan yang sangat potensial untuk ditindak lanjuti di program pembangunan berikutnya. Hal ini berhubungan dengan hasil pada Gambar 9. Persentase nilai rata-rata rumah tangga menggunakan layanan

sanitasi aman di seluruh provinsi di Indonesia (Diolah dari Data BPS, 2023), di mana capaiannya masih di bawah 20%.

Upaya perbaikan Sungai Citarum telah dilakukan sejak tahun 2001, dengan berbagai program sebagai berikut:

- Citarum Bergetar: Tahun 2001-2007
- Citarum Terpadu: Tahun 2007-2013
- Citarum Bestari: Tahun 2013-2017
- Citarum Harum: Tahun 2018-2025

Capaian perbaikan kualitas air Sungai Citarum Hulu, menggunakan Indeks Pencemaran dengan empat (4) parameter utama (BOD,COD, Fenol dan Fecal Coliform),ditampilkan pada Tabel 8 dapat dilihat bahwa dari tahun ke tahun tidak ada perbaikan signifikan. Indeks Pencemaran berada pada kondisi tercemar sedang dan tercemar berat terutama pada bagian hilir. Capaian memenuhi baku mutu sempat dicapat pada tahun 2015 pada titik *monitoring* Wangisagara, tetapi pada tahun berikutnya memasuki kondisi cemar berat.

Tabel 8 Indeks Pencemaran dengan 4 parameter utama (Widiyanti dan Roosmini, 2022)

Program	Tahun	Status Mutu			
		Wangisagara	Jembatan Koyod	Setelah IPAL Cisirung	Nanjung
Citarum Bergetar	2001	8.78	-	-	13.24
	2002	14.93	-	-	16.95
	2003	6.43	-	-	12.91
	2004	11.43	-	-	14.05
	2005	9.00	-	-	11.07
	2006	6.52	-	-	9.93
	2007	7.19	-	-	12.42
Citarum Terpadu (ICWRMIP)	2008	8.60	-	-	13.72
	2009	7.04	-	-	12.26
	2010	6.07	-	-	13.28
	2011	11.64	16.64	18.39	15.56
	2012	12.59	17.48	18.19	20.65
Citarum Bestari	2014	18.55	15.46	18.35	17.56
	2015	0.96	2.77	2.74	2.92
	2016	10.36	10.59	10.39	10.97
	2017	8.61	11.49	11.36	11.05
Citarum Harum	2018	10.07	13.30	14.43	15.65
	2019	8.53	14.93	15.23	17.94
	2020	5.96	8.80	11.05	10.23

Indeks pencemaran dengan menggunakan 13 parameter kualitas air ditampilkan pada Tabel 8 dan menunjukkan kondisi yang lebih buruk dari tahun ketahun, di mana seluruh titik monitoring berada pada kondisi tercemar sedang dan berat kecuali pada Tahun 2015 di mana seluruh titik *monitoring* menunjukkan kondisi tercemar ringan.

Tabel 9 Indeks Pencemaran dengan 13 parameter utama (Widiyanti dan Roosmini, 2022)

Program	Tahun	Status Mutu			
		Wangisa-gara	Jembatan Koyod	Setelah IPAL Cisirung	Nanjung
Citarum Bergetar	2001	8.52			12.14
	2002	14.43			15.63
	2003	6.07			14.64
	2004	12.97			12.87
	2005	8.73			10.03
	2006	6.19			16.88
	2007	6.95			11.50
Citarum Terpadu (ICWRMIP)	2008	7.87			12.35
	2009	6.33			10.85
	2010	13.95			13.52
	2011	10.70	15.12	17.03	14.38
Citarum Bestari	2012	11.94	15.68	16.78	19.11
	2014	17.38	14.03	16.88	16.24
	2015	2.33	2.57	2.88	2.91
	2016	9.71	9.85	9.76	10.28
	2017	8.02	10.58	10.52	10.20
	2018	9.66	12.48	13.29	14.33
Citarum Harum	2019	7.96	13.86	13.99	16.57
	2020	5.57	8.27	10.30	9.47

3.3.3 Monitoring Kesehatan Lingkungan Udara dan Risiko Paparan

Sejauh ini kita mengenal bahwa penggunaan energi berbasis fosil yang telah digunakan sejak Abad 18, merupakan sumber utama pencemar udara dan berhubungan dengan penyakit bawaan udara. Seiring dengan perkembangan teknologi identifikasi jenis pencemar udara, maka informasi dan karakteristik pencemar udara yang dapat memasuki sistem pernapasan dan terus memasuki sistem peredaran darah dan memberikan gangguan kesehatan pada organ target.

Penyakit bawaan udara dapat diakibatkan oleh mikroorganisme di udara, partikulat yang mengandung logam berat serta senyawa kimia organik sintetis lainnya. Dalam *monitoring* kesehatan lingkungan, maka pengukuran yang

diperlukan adalah jenis dan jumlah agent penyakit di udara yang dapat memapari masyarakat. *Monitoring* kesehatan lingkungan udara dengan memantau partikulat ukuran *respirable* atau *inhalable* yang dapat mengandung agent penyakit:

- Agent hidup: virus influenza, bakteri TBC
- Agent tidak hidup: logam berat, hidrokarbon, senyawa organik persisten lainnya

Biomonitoring yang dapat dilakukan untuk lingkungan udara adalah dengan menggunakan data kondisi dedaunan atau kandungan polutan pada lumut yang dapat mengakumulasi polutan di udara. Metode ini biasa digunakan sebagai indikator adanya polutan tertentu di udara, sehingga dapat mengarahkan dilakukan identifikasi polutan udara dengan lebih teliti serta mengukur paparan pada manusia untuk dapat menilai risiko yang akan dihadapi oleh masyarakat.

Selain itu pengukuran paparan terinhalasi dapat mengukur jumlah pencemar udara yang masuki tubuh manusia lebih teliti dibandingkan dengan menggunakan data kandungan pencemar di udara ambien.

Penelitian paparan partikulat terespirasi di beberapa lokasi di Kota Bandung, berdasarkan asumsi: Aria Graha-permukiman, Cisaranten Wetan – Kawasan Industri, Tegalega – Padat transportasi, Dago Pakar – Kawasan rendah polutan. Hasil pengukuran paparan partikulat terespirasi dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Konsentrasi paparan partikulat terespirasi - $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Zannarina, 2009)

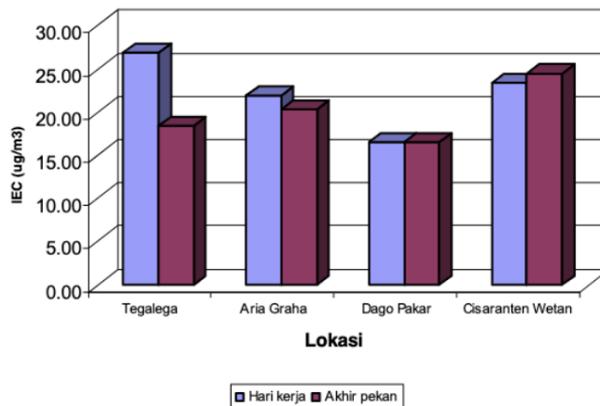
No	Lokasi	Hari Kerja	Akhir Pekan
1	Tegalega	82,38 + 19,50	56,98 + 12,36
2	Aria Graha	67,93 + 34,84	61,75 + 21,73
3	Dago Pakar	51,30 + 12,39	51,27 + 8,41
4	Cisaranten Wetan	72,65 + 27,54	75,89 + 31,26

Tabel 10 menunjukkan bahwa Tegalega dengan transportasi padat menunjukkan nilai paparan partikulat terespirasi lebih tinggi pada hari kerja dibandingkan dengan lokasi lainnya. Nilai rata-rata paparan partikulat terespirasi tertinggi diakhir pekan adalah pada daerah Cisaranten Wetan yang merupakan kawasan padat industri, perbedaan tertinggi paparan hari kerja dan akhir pekan terdapat di daerah Tegalega. Kawasan permukiman Aria

Graha dan Dago Pakar tidak menunjukkan perbedaan paparan yang signifikan antara hari kerja dan akhir pekan.

Dalam mencari sumber pencemar dari paparan partikulat terespirasi, maka dilakukan analisis kandungan logam berat pada partikulat terespirasi. Untuk Daerah Tegalega dengan teridentifikasinya logam Al, Mn, Cl, dan Na maka diperkirakan sumber logam tersebut berasal dari unsur tanah dan kendaraan bermotor (Pb dan Hg). Untuk Kawasan Aria Graha diperkirakan sumber pencemar yang menghasilkan unsur tanah (Al, Mn, dan Na), debu jalan (Mm dan Cl), serta kendaraan bermotor (Hg, Pb). Untuk Kawasan Dago selain unsur tanah dan kendaraan bermotor teridentifikasi juga hasil pembakaran biomassa dan debu jalan dengan adanya Mn, Cl, dan Black Carbon. Pada Daerah Cisaranten Wetan yang didominasi oleh industri, maka unsur pencemar yang ditemui berhubungan dengan kegiatan Industri (Mn, Cl, Al, I, dan Black Carbon), kegiatan insinerasi (Cl, Na dan Black Carbon) serta pembakaran bahan bakar minyak (Pb,V). Unsur V juga merupakan penanda kegiatan industri dari pembakaran bahan bakar minyak.

Nilai IEC merepresentasikan estimasi rata-rata potensi paparan polutan yang diinhalasi selama kurun waktu 8 jam aktivitas dengan asumsi 67,8 tahun paparan yang disesuaikan dengan usia harapan hidup penduduk Indonesia. Sehingga dengan kondisi polutan partikulat terespirasi yang ada di masing-masing lokasi maka penduduk yang beraktivitas di luar ruangan dengan asumsi waktu 8 jam setiap hari sepanjang hidupnya, nilai IEC pada lokasi yang berlainan di Kota Bandung dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15 Nilai *Inhalation Exposure Concentration* (IEC) pada lokasi penelitian Hari Kerja dan Akhir Pekan.

Pada Gambar 15, ditunjukkan bahwa nilai IEC tertinggi terjadi di Kawasan Tegalega dan Cisaranten Wetan sementara nilai IEC rendah ditemui di lokasi Dago Pakar. Kondisi kualitas udara di Kawasan Dago Pakar relatif tidak berbeda antara hari kerja dan akhir pekan seiring dengan aktivitas yang relatif homogen dari hari ke hari, Perbedaan signifikan paparan hari kerja dan akhir terjadi di Tegalega di mana pada hari kerja relatif paparan IEC jauh lebih tinggi.

4 PENUTUP

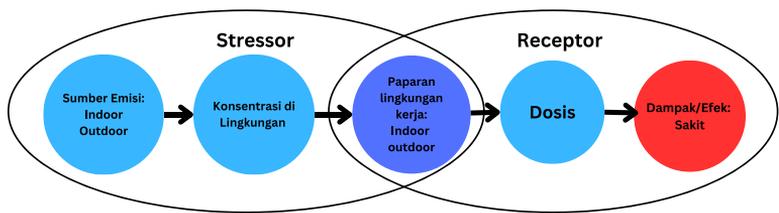
Monitoring kesehatan lingkungan merupakan sistem *monitoring* yang menghubungkan antara aspek lingkungan dan kesehatan manusia. Penurunan kualitas lingkungan akibat kegiatan antropogenik akan memberikan dampak terhadap kesehatan masyarakat. Kita mengenal penyakit menular dan tidak menular sesuai dengan agen penyebab penyakitnya apakah makhluk hidup atau senyawa kimia, fisik, atau abstrak. Data kesehatan masyarakat suatu daerah yang mencatat angka kejadian penyakit tertinggi dapat digunakan sebagai dasar penelitian epidemiologi untuk mengetahui jenis agen serta faktor-faktor penentunya sehingga bisa terjadi penyakit pada manusia bahwa bisa mewabah jika kita tidak mempunyai sistem resiliensi yang baik.

Sebagai bagian dari *monitoring* kualitas lingkungan, maka *monitoring* kesehatan lingkungan lebih menitikberatkan pada pengembangan perbaikan kesehatan di masyarakat dan lingkungan kerja secara langsung. Bagaimana pencemar udara atau agen penyakit di udara ditransmisikan dari satu orang ke orang lain. Selanjutnya kita melakukan monitoring kondisi lingkungan dengan tujuan untuk dapat mendeskripsikan dengan lebih lengkap interaksi dan hubungan antara jenis agent penyakit, keberadaannya di lingkungan sehingga dapat mudah masuk ke dalam manusia melalui sistem transmisi yang sesuai, serta faktor-faktor determinan yang berada di dalam tubuh manusia yang menyebabkan seseorang menjadi lebih pandai dalam melakukan pencegahan penyakit. Pada akhirnya upaya ini dilakukan dengan tujuan pencegahan penyakit melalui pengembangan kebijakan yang mendorong pembangunan berkelanjutan.

Tantangan monitoring kesehatan lingkungan saat ini dan ke depan adalah “*emerging pollutant*” seperti mikroplastik dan antibiotik di mana sumber, ekokinetika, paparan, dan dampaknya pada reseptor belum diketahui dengan pasti. Di masa yang akan datang tidak menutup kemungkinan ditemukan *emerging pollutant* lainnya yang merupakan dampak dari perkembangan kegiatan manusia di era Revolusi Industri 4.0., bagaimana kita dapat mengelola limbah baterai mobil listrik yang saat ini masih berukuran besar, bagaimana dampak pertambangan Nickel dan Lithium terhadap lingkungan. Kebijakan dan peraturan pengelolaan pertambangan nikel dan lithium seperti apa yang harus dikembangkan agar tidak memberikan dampak negatif bagi

masyarakat. Teknologi apa yang diperlukan untuk bisa mengembalikan fungsi sumber daya alam akibat penambangan tersebut, teknologi apa yang diperlukan untuk mengolah dan mendaur ulang komponen-komponen pada baterai mobil listrik.

Pembangunan berkelanjutan memerlukan transparansi penggunaan, perpindahan dan pemrosesan akhir senyawa-senyawa kimia organik dan logam berat agar dapat terus menjaga dan melindungi receptor tidak terpapar oleh berbagai stressor yang ada di lingkungan seperti dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16 Konektivitas antara stressor dengan receptor

5 UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga untuk semua pihak yang telah berkontribusi terhadap pencapaian penulis dalam melaksanakan seluruh tugas-tugas Tri Dharma Perguruan Tinggi sebagai pendidik, peneliti, dan pengabdian kepada masyarakat, sehingga dapat meraih Jabatan Guru Besar:

1. Rektor Institut Teknologi Bandung
2. Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik Institut Teknologi Bandung
3. Ketua, Sekretaris, dan Anggota Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung
4. Dekanat Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung
5. Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung
6. Prof. Em. dr. Juli Soemirat, MPH, Ph.D., sebagai panutan, pembimbing dan pengarah sejak penulis bergabung di Departemen Teknik Lingkungan ITB, untuk seluruh nasihat, peluang, dan tantangan yang telah diberikan kepada penulis sampai saat ini.
7. Prof. Oei Ban Liang (Alm.), Prof. Soepangat Soemarto (Alm.), Prof. Wisjnuaprpto sebagai pembimbing S-3.
8. Prof. Dr. Ir. Suprihanto Notodarmojo yang telah memberikan rekomendasi menjadi Guru Besar dan kesempatan dan bimbingannya yang diberikan untuk menjadi Co-promotor S-3.
9. Prof. Ir. Mindriany Syafila, M.S., Ph.D. atas dukungan dan bimbingnya serta waktu yang selalu diluangkan untuk menjadi tempat berdiskusi dalam berkarier sebagai dosen.
10. Ir. Indah Rachmatiah Siti Salami, M.Sc., Ph.D. sebagai partner dalam mengembangkan Bidang Kesehatan dan Keselamatan Lingkungan sejak awal meniti karier sebagai Dosen Teknik Lingkungan.
11. Prof. Ir. Agus Jatnika, Ph.D. atas dukungan, bantuan serta menjadi mitra yang sangat suportif dalam berkarier di Prodi Teknik Lingkungan dan meraih Gelar Guru Besar.
12. Para pemberi rekomendasi: Prof. (Em ITB) Juli Soemirat, Prof. Dr. Ir. Suprihanto Notodarmojo (ITB), Prof. Ir. Mindriany Syafila, M.S., Ph.D. (ITB), Prof. Barti Setiani M. (ITB), Prof. Suhono H. Supangkat, CGEIT (ITB), Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSE, Ph.D. (ITB), Prof. Ir. Joni Hermana, MScES, Ph.D. (ITS), Prof. Dr. Ir. Astri Rinanti, M.T.(Universitas Trisakti),

Prof. Dr. Loes Witteveen (VHL University, NL), Prof. Dr. Sander Meijerink (Radboud University, NL).

13. Prof. Dr. Ir. Puti Farida atas kesempatan bekerja sama di Dekanat FTSL – ITB periode Tahun 2006–2010 bersama dengan Alm. Dr. Ir. Saptahari Sugiri.
14. Dr. Anindrya Nastiti, S.T., M.T., Ph.D. yang telah menjadi mitra penelitian yang sangat produktif dan inspiratif dalam pengembangan Bidang *Environmental Governance and Behaviour*.
15. Seluruh kolega di Kelompok Keahlian Teknologi Pengelolaan Lingkungan FTSL ITB yang selalu menjadi mitra kerjasama yang sangat menyenangkan dalam mengembangkan Bidang Teknologi Pengelolaan Lingkungan
16. Keluarga besar Laboratorium Higiene Industri, FTSL – ITB.
17. Seluruh mahasiswa bimbingan S-1, S-2 dan S3- Program Studi Teknik Lingkungan dan Rekayasa Infrastruktur Lingkungan, FTSL - ITB, terima kasih telah menjadi partner pengembangan diri dan keilmuan.
18. Kedua orang tua tercinta: Almh. Ibu Siti Awan dan Bapak Alm. Ir. Hadi Hoesni Manthanegara, semoga Allah Swt. memberikan yang tempat terbaik di sisi-Nya.
19. Kedua mertua tercinta: Almh. Ibu Ai Rukiah Permana dan Alm. Bapak Husen Wangsaatmaja, semoga Allah Swt. memberikan yang tempat terbaik disisi Nya.
20. Seluruh keluarga Hadi Hoesni Mantjanegara dan Husen Wangsaatmaja.
21. Terutama dan terkasih: suami tercinta Dr. Ir. Setiawan Wangsaatmaja, Dipl.SE., M.Eng., anak-anak tercinta: Anditia, S.Psi. dan Prasadhi Artono, S.T., MBA, serta Addina, S.T., MSc., MBA yang selalu bersabar, penuh kasih sayang dan ceria dalam mendukung mendampingi penulis.

Hanya Allah Swt. yang dapat membalas seluruh kebaikan dan bantuan Bapak dan Ibu semua.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayu, A.T., D. Roosmini. Uji toksisitas akut pada ipal terpadu kawasan industri tekstil terhadap *Daphnia Magna* di Dayeuhkolot. *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol. 2 No.2, 2014:109-119.
- Atrup, H dalam M. Ruchirawat dan RC. Shank, *Environmental Toxicology*, Chulabhorn Research Institute, International Center for Environmental and Industrial Toxicology. 1996.
- Badan Pusat Statistik. Persentase Rumah Tangga Menggunakan Layanan Sanitasi yang Dikelola Secara Aman Menurut Provinsi dan Tipe Daerah (Persen), 2022-2023 (diunduh dari <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MjE3OSMy/persentase-rumah-tangga-menggunakan-layanan-sanitasi-yang-dikelola-secara-aman-menurut-provinsi-dan-tipe-daerah-persen-.html>, pada 5 Juni 2024).
- Bingham, P., N.Q. Verlander, M.J. Cheal, John Snow, William Farr and the 1849 outbreak of cholera that affected London: a reworking of the data highlights the importance of the water supply, *Journal of The Royal Institute of Public Health*, 118, 387-394, 2004.
- Frumkin, H. Editor. *Environmental Health, From Global to Local*. San Fransico, John Wiley and Sons, Inc, 2005.
- Gagne, et al, 2002, Biomarker Study of a Municipal Effluent Dispersion Plume in Two Species of Freshwater Mussels, *Environmental Toxicology* 17: 149-159.
- Goldman, L. and Coussens CM, editors. *Environmental Indicators: Bridging the Chasm on Public Health and Environment: Workshop Summary*. Institute of Medicine (US) Roundtable on Environmental Health Sciences, Research, and Medicine. Washington (DC), National Academic Press, 20024 (diunduh: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK215456/>, pada 5 Juni 2024)
- Gleason, N.W. (Ed.). *Higher Education in the Era of the Fourth Industrial Revolution*. Singapore, Springer Nature, 2018.
- Heinrichs, H. (Editor). *Sustainable Science An Introduction*. Springer, 2016.

- Kingsford. P.W., James Watt, Scottish Inventor, Encyclopaedia Britannica. 2024 (diunduh: <https://www.britannica.com/biography/James-Watt>, Mei 2024)
- Morabia, A. Snow and Farr: A scientific duet. *Soz Präventivmed* 46, 223–224. <https://doi.org/10.1007/BF01593176>, 2001
- Nowacki J. The integration of health into environmental assessments – with a special focus on strategic environmental assessment [Dissertation at the University Bielefeld, Germany]. Copenhagen: WHO Regional Office, 2018.
- Rashed, M. Nageeb. (2004). Biomarker as Indicator for Water Pollution with Heavy Metals in Rivers, Seas and Oceans, APHWS Second conference, 5-8 July, Singapore.
- Rohmah, N., D. Roosmini, M.A. Septiono. Study of whole effluent acute toxicity test (*Daphnia magna*) as an evaluation of Ministry of Environment and Forestry Decree No. 3 In 2014 concerning industrial performance ranking environmental management. *Matec Web of Conferences* 147, 2018.
- Roosmini, D., J. Soemirat, E. Dempowati. Perubahan tingkat toksisitas senyawa klorolignin air buangan Industri Pulp dan Kertas dalam Pengolahan secara Biologi, *Jurnal Toksikologi Indonesia*, Vol. 2 No.2:22-28.
- Roosmini, D., M. Royyani, S. Rahmawati, M.H. Tjokronegoro, I.R.S. Salami. *Ipomoea aquatica* as Biomarker on Study of Heavy Metal Pollution in Cidurian, West Java, Indonesia. SAWE, 2008.
- Roosmini, D., Suphia, R., Fajar H.S., Indah, RSS, 2006, Heavy Metals Level in *Hyposarcus pardalis* as Biomarker in Upstream Citarum River, West Java, Indonesia, Fourth International Symposium on Southeast Asian Water Environment, 5-9 December, Bangkok, Thailand.
- Roosmini, D., M.A. Septiono, N. E. Putri, H.M. Shabrina, I.R.S. Salami, H.D. Ariesyady. River Water pollution conditions in the upper part of Brantas River and Bengawan Solo River.
- Roosmini, D., I.R.S. Salami, Suharyanto, A. Soedomo, F. Hadisantosa. Biomarker as an Indikator of River Water Quality Degradation, *Proceeding ITB Engineering Science* Vol. 38B, No.2:117-124, 2006.

- Shabrina, H.M., D. Roosmini, Heavy metal distribution in Water and Sediment at Bengawan Solo River on Wonogiri-Sragen Segment. The 12th International Symposium on South Asian Water Environment, Hanoi, 2016.
- Septiono, M.A., D. Roosmini, I.R.S. Salami, Lufiandi. Industrial Activities and Its Effects to River Water Quality (Case Study Citarum, Bengawan Solo and Brantas), an Evaluation for Java Island as An Economic Corridor in Master Plan of Acceleration and Expansion of Indonesian Economic Development (MP3EI) 2011-2025. The 12th International Symposium on South Asian Water Environment, Hanoi, 2016.
- Septiono, M.A., D. Roosmini. Heavy metal distribution in water, sediment, and fish at Upper Citarum River and its potential exposure pathway to human. The 5th Environmental Technology and Management Conference "Green Technology towards Sustainable Environment", Bandung, 2015.
- Soemirat, J. Kesehatan Lingkungan Revisi. Yogyakarta: Gajahmada University Press, 2018.
- Soemirat, J. Epidemiologi Lingkungan. Yogyakarta: Gajahmada University Press, 2015.
- Stewart, P.A. dalam SM Rappaport dan Thomas J Smith, 1991, Exposure Assesment for Epidemiology and Hazard Control, Lewis Publisher.
- Yeh, B., Lim, W. Synthetic biology: lessons from the history of synthetic organic chemistry. Nat Chem Biol 3, 521–525 (2007). <https://doi.org/10.1038/nchembio0907-521>.
- WHO. Environmental and Occupational Epidemiology. Geneva: WHO, 1990.
- WHO. Protection of the Human Environment. 2004.
- World Health Organization (WHO). *Strategy and Plan of Action for the Prevention and Control of Non Communicable. Provisional Agenda ITEM 4.4. fot the 150th Session of the Excecutive Committee.* June 2012.

CURRICULUM VITAE



Nama : Dwina Roosmini
Tempat/tgl lahir : Bandung, 12-12-1962
Kel. Keahlian : Teknologi Pengelolaan Lingkungan
Alamat Kantor : Labtek IX-C lt. 5,Jl.
Ganesa No. 10 Bandung
Nama Suami : Setiawan Wangsaatmaja
Nama Anak : Anditia
Prasidhi Artono Addina

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

No.	Jenjang Pendidikan	Sekolah/Perguruan Tinggi	Tahun Lulus	Gelar
1	SD	SDN Tikukur I Bandung	1974	
2	SMP	SMPN V Bandung	1977	
3	SMA	SMAN III Bandung	1981	
4	S1	ITB	1987	Ir.
5	S2	ITB	1991	MS
6	S3	ITB	2001	Doktor

II. RIWAYAT KERJA DI ITB

No.	Nama Jabatan	Tahun
1	Anggota Dewan Sumber Daya – FTSL - ITB	2006-2010
2	Ketua Program Studi Magister dan Doktoral Teknik Lingkungan – FTSL – ITB	2012 – 2015
3	Kepala Laboratorium Higienen Industri dan Toksikologi Lingkungan – FTSL - ITB	2016-2017
4	Ketua Kelompok Keahlian Teknologi Pengelolaan Lingkungan	2019 - 2020
5	Kepala Pusat Studi Lingkungan Hidup - ITB	2021-2023
6	Ketua Kelompok Keahlian Teknologi Pengelolaan Lingkungan – FTSL - ITB	2023 – saat ini

III. RIWAYAT KEPANGKATAN

No	Pangkat	Golongan	TMT
1	Penata Muda	III/a	01 Februari 1988
2	Penata Muda Tk	III/b	01 April 1995

No	Pangkat	Golongan	TMT
3	Penata	III/c	01 Oktober 1998
4	Penata Tingkat I	III/d	01 Oktober 2002
5	Pembina	IV/a	01 Oktober 2009
6	Pembina Tingkat I	IV/b	02 Februari 2012

IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

No.	NAMA JABATAN	TMT
1	Asisten Ahli Madya	01 Januari 1991
2	Asisten Ahli	01 Desember 1994
3	Lektor Muda	01 Mei 1998
4	Lektor	01 Oktober 2002
5	Lektor Kepala	13 November 2009
6	Guru Besar	1 Agustus 2023

V. KEGIATAN PENELITIAN

No.	Judul	Mitra	Tahun	Sumber Dana
1	Hubungan Pencemaran Antibiotik, Perilaku Rumah Tangga, dan Kualitas Air Minum di DAS Citarum Hulu (<i>Understanding the Nexus of Antibiotic Pollution, Household Behaviors, and Drinking Water Quality in Upper Citarum Watershed</i>)		2024	ADO LIT FTSL - ITB
2	Respon Aquatic Animal di Sungai Citarum terhadap Debit Rendah Sebagai Dasar Penentuan Besaran Debit Lingkungan		2024	ADO LIT FTSL - ITB
3	Strategi pelestarian sumber daya air untuk pengembangan Kawasan Cekungan Bandung sesuai Perpres no. 45 tahun 2018 Rencana Tata Ruang Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung		2022	Riset Unggulan ITB
4	Membangun sistem kesehatan daerah yang resilien dalam menghadapi wabah penyakit		2020 - 2021	Kemenristek Dikti _ Penelitian Tema Covid-19

No.	Judul	Mitra	Tahun	Sumber Dana
	menular melalui pengembangan indeks, studi kasus wabah Covid- 19			
5	Exploring 21 st century skills in complex multi stakeholder situation: the Living Lab Upper Citarum, Java, Indonesia	Van Hall Larenstain APPLIED Science University - NL	2018-2019	SIA – The Netherland
6	Evaluasi kualitas air sungai sebagai air baku terhadap potensi pembentukan senyawa karsinogenik Trihalometan sebagai produk samping instalasi pengolahan air minum (Studi Kasus: Kota Bandung)		2017	Penelitian Disertasi Doktor – Kementerian Ristek Dikti
7	Penyusunan Strategi Penyelarasan Pelestarian Sumber Daya Air Dengan Pengembangan Kegiatan Ekonomi Dalam MP3EI, Melalui Kajian Penilaian Daya Dukung Sumber Daya Air Dalam Pengembangan Koridor Ekonomi Jawa Sebagai Pendorong Industri		2015-2016	Penelitian Prioritas Nasional Master Plan Percepatan Dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia 2011 – 2025

VI. PENULISAN BUKU

No.	Pengarang, Judul	Tempat dan Tahun Publikasi	Penerbit
1	Wiranto Arismunandar, Retno W. S, Poppy Intan Tjahaja, Juli Soemirat, Dwina Roosmini , Indah R.S. Salami, Katharina Oginawati, Herto Dwi Ariesyady "PNEUMOCONIOSIS" Chapter pada buku Kesehatan Dan Keselamatan Lingkungan Kerja (Bab 3, Hal. 53 - 78) Penerbit. Gadjah Mada University Press, Cetakan Pertama Maret 2015, ISBN: 978-979-420-978-3, 369 Halaman	Yogyakarta, 2015	Gadjah Mada University Press
2	Wiranto Arismunandar, Retno W. S, Poppy Intan Tjahaja, Juli Soemirat, Dwina Roosmini , Indah R.S. Salami, Katharina Oginawati, Herto Dwi Ariesyadyi, "RESPIRATOR" Chapter pada buku Kesehatan Dan Keselamatan Lingkungan	Yogyakarta, 2015	Gadjah Mada University Press

No.	Pengarang, Judul	Tempat dan Tahun Publikasi	Penerbit
	Kerja (Bab 13, Hal. 304 - 32453 - 78) Penerbit. Gadjah Mada University Press, Cetakan Pertama Maret 2015, ISBN: 978-979-420-978-3, 369 Halaman		
3	Juli Soemirat, Dwina Roosmini , Indah R.S. Salami, Katharina Oginawati, Herto Dwi Ariesyady, " Penelitian Toksikologi " Chapter pada buku Toksikologi Lingkungan (Bab 8, Hal.193 - 214) Penerbit. Gadjah Mada University Press, Cetakan Kelima September 2017, ISBN: 978-979-420-976-9, 222 Halaman	Yogyakarta, 2015	Gajah Mada University Press
4	Kenshuke Fukhushi, Khondoker Mahbub Hassan, Ryo Honda, Akimasa sumi, (eds), Mahastuti H. Tjokronegoro, Dwina Roosmini , " Study of Mercury at Bantarpanjang Area (Citarum River) Using Biomarker ", chapter pada buku " Sustainability in Food and Water: An Asian Perspective, Alliance for Global Sustainability ", Book Series 18, Springer Sciences2010 https://doi.org/10.1007/978-90-481-9914-3_21	Dordrecht, 2010	Springer

VII. PUBLIKASI

1 Jurnal Internasional ber-referee dan diakui

No.	Pengarang; Judul Makalah	Jurnal
1	Loes Witteveen, Jan Fliervoet, Dwina Roosmini , Paul van Eijkand Nurdahlia Lairing, "Reflecting on four Living Labs in the Netherlands and Indonesia: a perspective on performance, public engagement and participation"	Journal of Science Communication 22(03)(2023)A01
2	Mohamad Rangga Sururi, Mila Dirgawati, Suprihanto Notodarmojo, Dwina Roosmini , Prama Setia Putra, Adam Dzaky Rahman, Chairul Candra Wiguna, "Chromophoric dissolved organic compounds in urban watershed and conventional water treatment process: evidence from fluorescence spectroscopy and PARAFAC"	Environmental Science and Pollution Research (2023) 30:37248–37262 https://doi.org/10.1007/s11356-022-24787-8

No.	Pengarang; Judul Makalah	Jurnal
3	Dwina Roosmini , Eka Wardhani, Suprihanto Notodarmojo, Risk Assessment and "Fractionation of Cadmium Contamination in Sediment of Saguling Lake in West Java Indonesia"	Journal of Engineering and Technological Sciences, Volume 54, Issue 2, 25 March 2022 , ISSN 23375779; Terindeks Scopus, Impact Factor,1.132, SJR 0.25 (2021) Q3, H-Index 16;
4	Mohammad Rangga Sururi ¹ , Mila Dirgawati, Dwina Roosmini , and Suprihanto Notodarmodjo, Characterization of Fluorescent Dissolved Organic Matter in an Affected Pollution Raw Water Source using an Excitation-EmissionMatrix and PARAFAC	Environment and Natural Resources Journal 2021; 19(6): 459-467
5	Mohamad Rangga Sururi, Suprihanto Notodarmojo, Dwina Roosmini , Prama Setia Putra, Yusuf Eka Maulana, Mila Dirgawati, "An Investigation of a Conventional Water Treatment Plant in Reducing Dissolved Organic Matter and Trihalomethane Formation Potential from a Tropical River Water Source"	Journal of Engineering and Technological Sciences Institut Teknologi Bandung, Vol 52, No 2 (2020), Page. 271-288, ISSN: 23375779; Terindeks Scopus, Impact Factor, 0.852, SJR 0.23 (2019) Q2, H Index 12
6	Mohamad Rangga Sururi, Suprihanto Notodarmojo, Dwina Roosmini , Prama Setia Putra, Yusuf Eka Maulana, Mila Dirgawati, "An Investigation of a Conventional Water Treatment Plant in Reducing Dissolved Organic Matter and Trihalomethane Formation Potential from a Tropical River Water Source"	Journal of Engineering and Technological Sciences Institut Teknologi Bandung, Vol 52, No 2 (2020), Page. 271-288, ISSN: 23375779; Terindeks Scopus, Impact Factor, 0.852, SJR 0.23 (2019) Q2, H Index 12
7	Mohamad Rangga Sururi., Suprihanto Notodarmojo., Dwina Roosmini , "Aquatiq organic matter characteristics and THMFP occurrence in a tropical river"	International Journal of GEOMATE Volume 17, Issue 62, 2019, Pages 203-211, ISSN: 2186-2982, DOI: 10.21660/2019.62.85393; Terindeks SJR. 0.3 (2018) Q3, H Index 11
8	Neng Rohmah, Dwina Roosmini , Mochamad Adi Septiono, "Study of whole effluent acute toxicity test (Daphnia magna) as an evaluation of Ministry of Environment and Forestry Decree No. 3 in 2014 concerning industrial performance rank in environmental management"	MATEC Web of Conferences Volume 147, 22 January 2018, Article number 08005 3rd International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment, SIBE 2017; Institut Teknologi Bandung - Indonesia Bandung; Indonesia; 26 September 2017-27 September 2017; Code 133912, ISSN: 2261236X; Terindek SJR. 0.17 (2018), H Index 18

No.	Pengarang; Judul Makalah	Jurnal
9	Eka Wardhani, Suprihanto Notodarmojo, Dwina Roosmini , "Stream Sediment Geochemical Survey of Selected Element in Catchment Area of Saguling Lake"	MATEC Web of Conferences Volume 147, 22 January 2018, Article number 08003 3rd International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment, SIBE 2017; Institut Teknologi Bandung - Indonesia Bandung; Indonesia; 26 September 2017 through 27 September 2017; Code 133912, ISSN: 2261236X; Terindek SJR. 0.17 (2018), H Index 18
10	Mohamad Rangga Sururi, Dwina Roosmini , Suprihanto Notodarmojo, "Chromophoric and liability quantification of organic matters in the polluted rivers of Bandung watershed, Indonesia"	MATEC Web of Conferences Volume 154, 28 February 2018, Article number 02002 2nd International Conference on Engineering and Technology for Sustainable Development, ICET4SD 2017; Yogyakarta; Indonesia; 13 September 2017 through 13 September 2017; Code 134945, ISSN: 2261236X; Terindeks Scopus, SJR. 0.17 (2018), H Index 18
11	Eka Wardhani, Suprihanto Notodarmojo & Dwina Roosmini , "Sediment Quality Assesment by Using Geochemical Index at Saguling Reservoir West Java Province Indonesia"	Energy and Environment Research; Vol. 8, No. 2; 2018 ISSN 1927-0569 E-ISSN 1927-0577 Published by Canadian Center of Science and Education
12	Wardhani, E., S. Notodarmojo, D. Roosmini.D. , "Heavy metal speciation in sediments in Saguling Lake West Java Indonesia"	International Journal of GEOMATE Volume 12, Issue 34, 2017, Pages. 146-151, ISSN: 21862982; Terindek Scopus, Impact Factor = 0.722 (Q3), SJR. 0.3 (2019), H Index 14
13	Barti Setiani Muntalif, Anindrya Nastiti, Dwina Roosmini , Arief Sudradjat, S.V. Meijerink, A.J.M. Smits "Household Water Supply Strategies in Urban Bandung, Indonesia: Findings and Implications for Future Water Acces Reporting"	Journal of Engineering and Technological Science, Vol. 49 No. 6, 2017, pp 811-832; ISSN 2337-5779; Terindeks Scopus, Copernicus, Google Scholar, Impact Factor = 0.849 (Q3), SJR, 0.15, H Index 5
14	Anindrya Nastiti, Arief Sudrajat, Gertjan W. Geerling, A.J.M Smits, Dwina Roosmini , Barti Setiani Muntalif, "The Effect of Physical Accessibility and Service Level of Water Supply on Economic Accessibility: a case study of Bandung City, Indonesia"	Journal Water International, Vol. 42 No. 7, 3 October 2017, pp 831-851; ISSN 0250-8060 (Print) 1941-1707 (online); Terindek Scopus, Impact Factor = 2.591, SJR. 0.797, H Index 46

No.	Pengarang; Judul Makalah	Jurnal
15	Anindrya Nastiti, Barti Setiani Muntalif, Dwina Roosmini , Arief Sudradjat, S.V.Meijerink, A.J.M.Smits, "Coping with poor water supply in peri-urban Bandung, Indonesia : towards a framework for understanding risks and aversion behaviors"	Journal Environment & Urbanization, Volume 29 Number 1, April 2017; ISSN 0956-2478; Terindeks Scopus, Impact Factor. 2.554 (Q1), SJR, 0.97, H Index 47
16	Anindrya Nastiti, S.V.Meijerink., Mark Oelmann, A.J.M.Smits, Barti Setiani Muntalif, Arief Sudradjat, Dwina Roosmini , "Cultivating Innovation and Equity in Co-Production of Commercialized Spring Water in Peri-Urban Bandung, Indonesia"	An interdisciplinary Journal on Water, politics and development : Water Alternatives, Volume 10, Issue 1 Februari 2017, ISSN 1965-0175; Terindek Scopus, Impact Factor = 0.95, (Q1) SJR. 0.82, H Index 21
17	Poppy Intan Tjahaja, Putu Sukmabuana, Dwina Roosmini , "The EDTA Amendment in Phytoextraction of 134Cs From Soil by Indian Mustard (<i>Brassica juncea</i>)"	International Journal of Phytoremediation; Volume 17, Issue 10, 3 October 2015, Pages 951-956, ISSN: 15226514; Terindeks SJR. 0.63 (2019) Q2 , H Index 78
18	M. Marselina, D. Roosmini , I.R.S. Salami, M Ayu A and W. Cahyadi, "Analysis of respirable particulate exposure and its effect to public health around lead smelter and e-waste processing industry in West Java, Indonesia"	Journal of Physics: Conference Series 694 (2016) 012071 doi:10.1088/1742-6596/694/1/012071
19	Indah R.S. Salami., Zulfikar A. As., Mariana Marselina., Dwina Roosmini , "Respiratory health risk assessment of children living close to industrial areas in Indonesia," Reviews on Environmental Health	Reviews on Environmental Health Volume 29: Issue 1-2, Pages 139–142, Published online: 24 Feb 2014, eISSN 2191-0308, ISSN 0048-7554; Terindek SJR. 0.52 (2019) Q2 , H Index 51.
20	Anindrya Nastiti, Indrawan Prabaharyaka, Dwina Roosmini and Tresna Dermawan Kunaefi, "Pre-Assessment: Health-Associated Cost of Urban Informal Industrial Sector"	Journal of Asian Behavioural Studies, volume 2, Number:5, April 2012

2 Jurnal Nasional Terakreditasi

No.	Pengarang, Judul Makalah	Jurnal
1	Yutaro, M. A., D. Roosmini , Manajemen Risiko Keselamatan di Area Wellpad dan Area Power Plant Pembangkit Tenaga Panas Bumi (PLTP X) Menggunakan Metode HIRARC	Jurnal Keselamatan Kesehatan Kerja dan Lingkungan (JK3L) e-ISSN: 2776-4133. Volume 05 (1) 2024 http://jk3l.fkm.unand.ac.id/index.php/jk3l/index

No.	Pengarang, Judul Makalah	Jurnal
2	Eka Wardhani, Dwina Roosmini dan Suprihanto Notodarmojo, "Pencemaran Kadmium di Sedimen Waduk Saguling Provinsi Jawa Barat (<i>Cadmium Pollution in Saguling Dam Sediment West Java Province</i>)"	Jurnal Manusia dan Lingkungan (JML), Vol. 23 NO.3 September 2016, ISBN. 0854-5510, Hal. 285 - 294, Terakreditasi DIKTI Berdasarkan SK No. 66b/DIKTI?Kep/2011, Tanggal 9 Sept 2011;

3 Jurnal lainnya

No	Pengarang, Judul	Keterangan
1	Anindrya Nastiti, Siska W. Kusumah, Addina Wangsaatmaja, Dwina Roosmini , Eka Jatnika Sundana, Arief Sutadian, Persepsi Risiko Dan Bias Kognitif Dalam Pencegahan Penularan Covid-19 Di Jawa Barat, Indonesia	CR Journal, 108, Vol. 06 No.02 Tahun 2020
2	Arnis Tiara Ayu, Dwina Roosmini , "Uji toksisitas akut pada ipal terpadu kawasan industri tekstil terhadap <i>Daphnia magna</i> di Dayeuhkolot"	Jurnal Teknik Lingkungan, Oktober 2014, Volume 20 Nomor 2, Halaman 109-119) DOI: 10.5614/jtl.2014.20.2.2

4 Prosiding Seminar Internasional

No	Pengarang, Judul	Keterangan
1	Pratiwi, A.I. W., I.R.S. Salami, D. Roosmini , "Health risk analysis of air pollutant exposure on children's lung function in industrial area of Bandung Regency"	E3S Web of Conferences 495, 03001 (2024) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449503001
2	Adrian, M.R., D. Roosmini , "Identification and characteristic of microplastics in sediment and macrozoobenthos of upper Citarum River"	E3S Web of Conferences 485, 07005 (2024) ETMC 2023 https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448507005
3	Jan Fliervoet, Loes Witteveen ¹ , Dwina Roosmini , Gertjan Geerling, AnindryaNastiti, and Alvanov Z. Mansoor, "Learning environments for multi-stakeholderparticipation in water management: VisualProblem Appraisal Citarum River"	E3S Web of Conferences 485, 07005 (2024) ETMC 2023 https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448503004
4	Loes Witteveen, Dwina Roosmini , Alvanov Mansoor, Peter van der Maas, Mahmud, Brechtje Horsten, Wouter Blankestijn, Walter Verspui, Windy Iriana, and Jan Fliervoet, "Design and development of serious games forfuture proof	E3S Web of Conferences 485, 07005 (2024) ETMC 2023 https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448503007

No Pengarang, Judul	Keterangan
	peatland management: option for virtual Living Labs”
5 Herwiandani, Devita Putri, Indah Rachmatiah Siti Salami, Dwina Roosmini , “Health risk analysis of heavy metal exposure bonded in PM2.5 at industrial area in Bandung Regency”	E3S Web of Conferences 495, 03004 (2024) ICYES 2023 https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449503004
6 D Roosmini , L Witteveen, I D Mayangsari, A Nastiti and T Botden, “Social imaginaries methods and socio-engineering competences in sustainable river management (a case study in the living lab Upper Citarum)”	th International Symposium on Sustainable Urban Development 2023, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 1263 (2023)012037 doi:10.1088/1755-1315/1263/1/012037
7 D Roosmini. , T.F. Kanisha, A.Nastiti, S.W. Kusumah, "Preliminary studies of Bandung City Health System Resilience (case study: Covid-19 Pandemic"	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 1065, Article number 4th International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment;; Online; Indonesia; 08-09 March 2022; ISSN: 17551307; Terindeks Scopus, SJR. 0.2(2021) , H Index 14
8 Anindrya Nastiti, Arlieza Raudhah Riyanto, Ade Supriatin, Dwina Roosmini,Siska WD Kusumah, Rumaisha Milhan, Gertjan Geerling, “Self-Reported Pharmaceutical Storage, Use, and Improper Disposal to The Environment Among Urban Parents in Indonesia”	IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1111 (2022) 012045 IOP Publishing
9 Eka Wardhani, Dwina Roosmini , Suprihanto Notodarmojo, “Assessment of cadmium concentration, bioavailability, and toxicity in sediments from Saguling reservoir, West Java Province”	International Conference on Research Collaboration of Environmental Science IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 802 (2021) 012031 doi:10.1088/1755-1315/802/1/012031
10 Eka Wardhani, Dwina Roosmini , Suprihanto Notodarmojo, “Calculation of heavy metals pollution load enters to Saguling dam WestJava Province”	International Conference on Research Collaboration of Environmental Science IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 802 (2021) 012031 doi:10.1088/1755-1315/802/1/012032

No Pengarang, Judul	Keterangan
11 Husna Muizzati Shabrina, Dwina Roosmini , "Heavy Metals Distribution in Water and Sediment at Bengawan Solo River on Wonogiri-Sragen Segment"	The 12th International Symposium on Southeast Asian Water Environment (SEAW2016) Hanoi, Vietnam, November 28-30, 2016 https://www.researchgate.net/publication/344770105_Heavy_Metals_Distribution_in_Water_and_Sediment_at_Bengawan_Solo_River_on_Wonogiri-Sragen_Segment
12 Mochamad Adi Septiono, Dwina Roosmini , Indah Rachmatiah Siti Salami, Herto Dwi Ariesyadi, Lufiandi, "Industrial Activities and Its Effects to River Water Quality (Case Study Citarum, Bengawan Solo and Brantas), an Evaluation for Java Island as An Economic Corridor in Master Plan of Acceleration and Expansion of Indonesia Economic Development (MP3EI) 2011-2025"	The 12th International Symposium on Southeast Asian Water Environment (SEAW2016) Hanoi, Vietnam, November 28-30, 2016 https://www.researchgate.net/publication/316601907_Industrial_Activities_and_Its_Effects_to_River_Water_Quality_Case_Study_Citarum_Bengawan_Solo_and_Brantas_an_Evaluation_for_Java_Island_as_An_Economic_Corridor_in_Master_Plan_of_Acceleration_and_Expansion_of_Indonesia_Economic_Development_(MP3EI)_2011-2025
13 D. Roosmini , M.A Septiono, N.E. Putri, H.M. Shabrina, I.R.S.Salami., H.D. Ariesyady, "River Water Pollution Condition in Upper Part Of Brantas River and Bengawan Solo River"	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Volume 106, Issue 1, 31 January 2018, Article number 012059, 4th International Seminar on Sustainable Urban Development, ISO SUD 2017; Hotel Ciputra Jakarta; India; 9 August 2017 through 10 August 2017; Code 134395 Conference Series, ISSN: 17551307; Terindek Scopus, SJR. 0.18 (2019), H Index 18
14 D. Roosmini , S Notodarmojo, M. R. Sururi, "The characteristic of Natural Organic Matter (NOM) of water from Cikapundung River Pond"	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Volume 160, Issue 1, 18 June 2018, Article number 012021 2nd International Symposium on Green Technology for Value Chains 2017, GreenVC 2017; Balai Kartini Jakarta; Indonesia; 23 October 2017 through 24 October 2017; Code 137450, ISSN: 17551307; Terindek Scopus, SJR. 0.17 (2018), H Index 14

No	Pengarang, Judul	Keterangan
15	E Wardhani, D. Roosmini , S. Notodarmojo, "Status of heavy metal in sediment of Saguling Lake, West Java"	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Volume 60, Issue 1, 2 May 2017, Article number 012035 1st International Symposium on Green Technology for Value Chains 2016, Green VC 2016; Indonesia Convention Exhibition (ICE)Tangerang Banten; Indonesia; 3 October 2016 through 5 October 2016; Code 127675, ISSN: 17551307; Terindek Scopus, SJR. 0.17 (2018) , H Index 14
16	Eka Wardhani, Suprihanto Notodarmojo, Dwina Roosmini , "Heavy Metal Speciation In Sediments And The Associated Ecological Risk In Saguling Lake West Java Indonesia"	Second International Conference - SEE 2016 : Science, Engineering and Environment,, 21-23 Nov 2016 Osaka Japan ISBN: 978-1-9905958-7-6, C3051, Page. 935-940
17	Rosetyati Retno Utami Gertjan Geerling, A.M.J. Ragas, Lufiandi, Dwina Roosmini , "Evaluation of Passive Sampling Method for Organic Contaminant Monitoring in Upper Citarum River West Java Indonesia"	The 5th Environmental Technology and Management Conference "Green Technology towards Sustainable Environment" Bandung Volume: PP/AE/012. ISBN: 978-979-98278-5-2. November 2015
18	Lee Voth-Gaeddert, Indris Maxdoni Kamil, Dwina Roosmini , Daniel Oether, "Modeling Population Health Dynamics for Indonesia and Guatemala: An Application of System Dynamics Modeling"	The 5th Environmental Technology and Management Conference "Green Technology towards Sustainable Environment" Bandung Volume: PP/AE/012. ISBN : 978-979-98278-5-2. November 2015
19	Mochamad Adi Septiono, Dwina Roosmini , "Heavy Metal Distribution in Water, Sediment and Fish at Upper Citarum River and Its Potential Exposure Pathway to Human"	The 5th Environmental Technology and Management Conference "Green Technology towards Sustainable Environment", Bandung Volume:PP/AE/012. ISBN : 978-979-98278-5-2, November 2015
20	Dwina Roosmini, Oktasari Dyah Anggraini, Indah Rachmatiah Siti Salami, Resmiani, "Heavy metals bioaccumulation in <i>Liposarcus pardalis</i> as biomonitoring for electroplating industry"	7th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) Symposium, Institute Teknologi Bandung, Bandung – Indonesia, 5th – 6th March 2013
21	Tresna Dermawan Kunaefi, Dwina Roosmini, Herto Dwi Ariesyady, Nindia Karlina "Analysis of Water Supply and Sanitation Infrastructure Condition in Relation to the Water Pollution Level (Case Study: Bandung City)"	The 3rd AUN/SEED-NET Regional Conference on Global Environment, Kuala Lumpur, Malaysia, 21st -22nd February, 2011, Kuala Lumpur, Malaysia

5 Prosiding Seminar Nasional

No	Pengarang, Judul	Keterangan
1	Eka Wardhani., Suprihanto Notodarmojo., Dwina Roosmini," Analisis Beban Pencemaran Logam Berat di Waduk Saguling sebagai Alternatif Sumber Air Baku di Kawasan Cekungan	Seminar Nasional Pengelolaan Air Bersih Dan Sanitasi Menuju Akses Universal Tahun 2019, ISBN : 978-602- 52152-0-9 , Kampus Jatiningor ITB, 13 Maret 2018.

VIII. PENGHARGAAN

V	Nama Penghargaan	Pemberi penghargaan	Tahun
1	Satyalancana Karya Satya 10 tahun	Presiden Republik Indonesia	2001
2	Penghargaan sebagai Wakil Dekan Sumber Daya – FTSL- ITB	Rektor ITB	2011
3	Satya lancana Karya Satya 20 tahun	Presiden Republik Indonesia	2012
4	Pengabdian 25 Tahun Institut Teknologi Bandung	Rektor ITB	2013
5	Satya lancana Karya Satya 30 tahun	Presiden Republik Indonesia	2019

IX. JEJARING KERJASAMA YANG TELAH DIBANGUN

No.	Kegiatan	Nama Mitra (institusi/individu)	Tahun
1	Alliance for Water, Health and Development: Kerja sama penelitian di Citarum Hulu: Living Labs di Citraum Hulu, water quality management Kerja sama Double Degree untuk Program S3 (3 mahasiswa) Student Exchange S2 dan S3	Institute for Science in Society (ISiS)- Science Faculty, Radboud University Belanda	2012-saat ini
2	Exploring 21st century skills in complex multi stakeholder situation: the Living Lab Upper Citarum, Java, Indonesia Kerjasama Penelitian Student Exchange Pengiriman Staf Peneliti		2018 – saat ini

No.	Kegiatan	Nama Mitra (institusi/individu)	Tahun
3	Erasmus+ Programme Mobility for Learners and staff – higher educationsStudent and Staff Mobility 2017-2019	Van Hal Larenstain Applied Science University - Belanda	
4	Dual Degree S3	Coventry University - Inggris	2023-

X. LAIN-LAIN (International Lecture)

No	Kegiatan	Universitas – Lokasi	Tahun
1	Fostering frontiers for Practical Solutions in a Population-Activities-Resources- Environment (PARE) – Summer School, Hokkaido University, Sapporo – Japan August 2015	Hokkaido University – Japan	2015
2	Summerschool Water, Health & Development	Radboud University Belanda	2014

ITB PRESS

📍 Gedung STP ITB, Lantai 1,
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132
☎️ +62 22 20469057
🌐 www.itbpress.id
✉️ office@itbpress.id
Anggota Ikapi No. 043/JBA/92
APPTI No. 005.062.1.10.2018

**Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**

Jalan Dipati Ukur No. 4, Bandung 40132
E-mail: sekretariat-fgb@itb.ac.id
Telp. (022) 2512532

🌐 fgb.itb.ac.id 📘 FgbItb 🐦 FGB_ITB
📱 @fgbitb_1920 📺 Forum Guru Besar ITB

ISBN 978-623-297-505-7



9 786232 975057