

PENGELOLAAN KUALITAS LINGKUNGAN

**Bambang Suhartawan
Mila Sari
Risnawati Tanjung
Suriani Nur
Tarzan Purnomo
Abdul Hadi Kadarusno
Daawia**



GET PRESS INDONESIA

PENGELOLAAN KUALITAS LINGKUNGAN

Penulis :

Bambang Suhartawan

Mila Sari

Risnawati Tanjung

Suriani Nur

Tarzan Purnomo

Abdul Hadi Kadarusno

Daawia

ISBN :

Editor : Dr. Neila Sulung, S.Pd., Ns., M.Kes.

Penyunting : Rantika Maida Sahara, S.Tr.Kes.

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah

Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat

Website : www.getpress.co.id

Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Februari 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Pengelolaan Kualitas Lingkungan ini.

Buku ini membahas Konsep dasar, aspek, dan prinsip pengelolaan lingkungan hidup, Pengelolaan kualitas lingkungan air, Pengelolaan kualitas kebisingan, Pengelolaan kualitas tanah, biologi dan radio aktif, Indek kualitas kualitas air, Indek kualitas kebisingan, Indek kualitas biologi (flora dan fauna).

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, Februari 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
BAB 1 KONSEP DASAR, ASPEK DAN PRINSIP	
PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Konsep dasar pengelolaan lingkungan hidup	2
1.3 Aspek-aspek pengelolaan lingkungan hidup	6
1.4 Prinsip pengelolaan lingkungan hidup	8
DAFTAR PUSTAKA.....	11
BAB 2 PENGELOLAAN KUALITAS AIR	13
2.1 Pengenalan Lingkungan Air.....	13
2.1.1 Definisi Lingkungan Air	13
2.1.2 Pentingnya Air Bagi Kehidupan.....	13
2.1.3 Ancaman Terhadap Lingkungan Air	14
2.2 Pencemaran Air	14
2.2.1 Jenis Pencemaran Air	14
2.2.2 Sumber Pencemaran Air	15
2.2.3 Dampak Pencemaran Air Pada Kesehatan Manusia dan Lingkungan	16
2.3 Indikator Kualitas Air	16
2.3.1 Parameter Kualitas Air yang Umum Digunakan	16
2.3.2 Cara Pengukuran Kualitas Air	17
2.4 Metode Pengelolaan Kualitas Air	18
2.4.1 Pengendalian Pencemaran Air	18
2.4.2 Pengolahan Air.....	18
2.4.3 Konservasi Air dan Penggunaan yang Berkelanjutan.....	19
2.5 Kebijakan Lingkungan dan Hukum	20
2.5.1 Kebijakan Lingkungan Terkait Air	20
2.5.2 Peran Pemerintah dalam Pengelolaan Kualitas Air	20
2.5.3 Peraturan Lingkungan dan Penegakan Hukum	21
2.6 Kasus Studi	21

2.6.1 Kasus Studi Tentang Sukses dalam Pengelolaan Kualitas Air	21
2.6.2 Kasus Studi Tentang Pencemaran Air dan Dampaknya	22
2.6.3 Kasus Studi tentang Restorasi Lingkungan Air	22
2.7 Pendidikan dan Kesadaran Lingkungan	23
2.7.1 Pentingnya Pendidikan Lingkungan.....	23
2.7.2 Kampanye Kesadaran Lingkungan.....	23
2.7.3 Peran Masyarakat dalam Pelestarian Air.....	24
2.8 Masa Depan Kualitas Lingkungan Air.....	25
2.8.1 Peran Inovasi dalam Pengelolaan Kualitas Air	25
2.8.2 Teknologi Ramah Lingkungan untuk Pengelolaan Air*	25
2.8.3 Tantangan dan kendala dalam Penggunaan Teknologi Lingkungan	26
DAFTAR PUSTAKA	27
BAB 3 PENGELOLAAN KUALITAS KEBISINGAN.....	29
3.1 Pendahuluan	29
3.2 Definisi	30
3.3 Jenis-Jenis Bising.....	30
3.4 Sumber Kebisingan	31
3.5 Dampak Kebisingan.....	32
3.6 Cara Pengukuran Kebisingan	37
3.7 Nilai Ambang Batas	39
3.8 Pengelolaan Kebisingan.....	42
DAFTAR PUSTAKA	46
BAB 4 PENGELOLAAN KUALITAS TANAH BIOLOGI DAN RADIO AKTIF.....	47
4.1 Pendahuluan	47
4.2 Pengelolaan Kualitas Tanah Biologi	49
4.2.1 Fauna Tanah	53
4.2.2 Pengelolaan Kualitas tanah Biologi & Kelestarian Lingkungan Hidup.....	55
4.3 Pengelolaan Kualitas Tanah Radio aktif.....	56
DAFTAR PUSTAKA	60
BAB 5 INDEKS KUALITAS AIR.....	63
5.1 Pendahuluan	63

5.2 Kualitas Air	65
5.2.1 Parameter Kualitas Air	67
5.2.2 Klasifikasi dan Kriteria Kualitas Air	73
5.3 Penentuan Status Kualitas Air	77
5.4 Indeks Kualitas Air	87
5.4.1 Metode Storet	88
5.4.2 Metode Indeks Pencemaran (<i>Pollution Index</i>)	90
5.4.3 Metode <i>Canadian Council of Ministers of the Environment</i> (CCME)	95
5.4.4 Indeks Kualitas Air - <i>National Sanitation Foundation</i> (IKA-NSF)	96
5.4.5 Metode Indeks Biotik	97
DAFTAR PUSTAKA	105
BAB 6 INDEKS KUALITAS KEBISINGAN	109
6.1 Pendahuluan	109
6.2 Sumber kebisingan	110
6.3 Definisi Indeks Kualitas Kebisingan	110
6.4 Metode Pengukuran Indeks Kualitas Kebisingan	111
6.5 Peran Indeks Kualitas Kebisingan dalam Pengelolaan Lingkungan	111
6.6 Dampak Kebisingan Terhadap Kesehatan Manusia	111
6.7 Baku Tingkat Kebisingan dan Perbandingan Indeks Kualitas Kebisingan di Berbagai Lingkungan	112
6.8 Standar dan Regulasi Terkait Indeks Kualitas Kebisingan	114
6.9 Teknologi dan Inovasi dalam Pengukuran Kebisingan ...	114
6.10 Pengaruh Kebisingan pada Fauna dan Flora	114
6.11 Pengelolaan Kebisingan di Pusat Kota dan Perkembangan Urbanisasi	114
6.13 Bagaimana Proses Menghitung Indek Kualitas Kebisingan?	115
6.14 Indeks Kualitas Kebisingan yang Umum Digunakan	117
6.15 Metoda Pengukuran, Perhitungan Dan Evaluasi Tingkat Kebisingan Lingkungan	117
6.15.1 Metoda Pengukuran	117
6.15.2 Metoda Perhitungan	118
6.15.3 Metoda Evaluasi	119

6.16 Menghitung Indeks Kualitas Kebisingan Dan	
Contoh Perhitungannya.....	119
6.16.1 Contoh Perhitungan Indeks Kualitas Kebisingan:	119
6.16.2 Interpretasi Hasil Indeks Kualitas Kebisingan.....	120
6.17 Peran Teknologi Sensor dan IoT dalam	
Pengukuran Kebisingan.....	121
6.17.1 Aplikasi Sound Level Meter.....	121
6.18 Laboratorium Pengukuran Kebisingan	126
6.19 Hubungan antara Indeks Kualitas Kebisingan	
dengan Kualitas Hidup	127
6.20 Peran Pemerintah dan Keterlibatan Masyarakat	
dalam Pengelolaan Kebisingan.....	128
6.21 Penelitian dan Inovasi Terbaru dalam Pengelolaan	
Kebisingan	128
6.22 Kesimpulan Akhir: Membawa Pengetahuan ke	
Tindakan.....	128
DAFTAR PUSTAKA	130
BAB 7 INDEKS KUALITAS BIOLOGI (FLORA	
DAN FAUNA)	131
7.1 Pendahuluan	131
7.2 Apa itu Indikator Biologi atau Bioindikator?.....	131
7.3 Mengapa Bioindikator Lebih Baik Dibandingkan	
Metode Konvensional?	137
7.4 Karakteristik Bioindikator yang Ideal	139
7.5 Contoh Spesies Indikator	140
7.6 Jenis-Jenis Indeks Biologi.....	150
7.6.1 Indeks Benthik (<i>Indeks Makrobentos</i>):	150
7.6.2 Indeks Kualitas Perairan (<i>Water Quality Index</i>):	151
7.6.3 Indeks Vegetasi Riparian	152
7.6.4 Indeks Kualitas Tanah (<i>Soil Quality Index</i>).....	153
7.6.5 Indeks Kesehatan Hutan.....	155
7.7 Perhitungan Indeks Kualitas Biologi.....	156
DAFTAR PUSTAKA	160
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Sound Level Meter	39
Gambar 4.1. Kualitas Tanah biologi dan radioaktif penting dikelola.	48
Gambar 4.2. Pengelolaan Tanah dilakukan saat bertanam.	49
Gambar 4.3. Sasaran Kualitas tanah: Produktivitas Biologi, Kesehatan Manusia dan Lingkungan...	51
Gambar 4.4. Sawah yang ditanami padi yang Pengelolaan Tanah secara fisik, kimia dan Biologi	52
Gambar 4.5. Bakteri Penyubur Tanah	54
Gambar 4.6. Cacing Tanah	55
Gambar 4.7. Kaki Seribu	55
Gambar 4.8. Semut.....	55
Gambar 4.9. Garsing.....	55
Gambar 5.1. Penggunaan air berdasarkan Kelas air	74
Gambar 6.1. Ilustrasi organ pendengaran manusia.	109
Gambar 6.2. Ilustrasi gangguan kebisingan pada pendengaran	112
Gambar 6.3. Contoh Alat pengukur tingkat suara/ Sound Level Meter.	115
Gambar 6.4. Contoh Alat pengukur kebisingan/ dosimeter.	116
Gambar 6.5. Pencarian Sound Level Meter pada Playstore.....	122
Gambar 6.6. Tampilan pada Aplikasi Sound Level Meter	123
Gambar 6.7. Simbol Pengaturan pada Sound Level Meter.....	124
Gambar 6.8. Tampilan Kalibrasi pada Aplikasi Sound Level Meter.	125
Gambar 6.9. Kalibrasi Aplikasi Sound Level Meter.	126
Gambar 7.1. Perbandingan toleransi lingkungan oleh a. spesies bioindicator, b. spesies langka (rare spesies) dan c. spesies umum	133
Gambar 7.2. Diagram level hirarki organisme pada	

ekosistem yang berespon terhadap gangguan aktivitas antropogenik	135
Gambar 7.3. Lumut Hati (Licken)	141
Gambar 7.4. Burung Hantu Tutul	142
Gambar 7.5. Lalat Capung (Mayfly)	143
Gambar 7.6. Salmon.....	144
Gambar 7.7. Periwinkle Rawa.....	145
Gambar 7.8. Berang-berang.....	146
Gambar 7.9. Salamander	147
Gambar 7.10. Koloni Bakter <i>E. coli</i>	148
Gambar 7.11. Kelelawar	149
Gambar 7.12. Kupu-kupu Raja	149

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Standard Kebisingan Ruang Perkantoran	39
Tabel 3.2. Indeks Kebisingan Menurut Ruangan atau Unit Rumah Sakit.....	40
Tabel 3.3. Nilai Ambang Batas Kebisingan Pemukiman.....	40
Tabel 3.4. Nilai Ambang Batas Kebisingan di Tempat Kerja.....	41
Tabel 3.5. Baku Tingkat Kebisingan	42
Tabel 5.1. Parameter Kualitas Air Tawar	68
Tabel 5.2. Baku Mutu Air Berdasarkan Kelas Air	72
Tabel 5.3. Pembagian Kelas Air dan Peruntukannya Berdasarkan PP No.82/2001.....	73
Tabel 5.4. Pembagian Golongan Air	74
Tabel 5.5. SNI Metode Penentuan Kualitas Air dan Air Limbah	78
Tabel 5.6. Skor Masing-masing Parameter dalam Metode Storet	89
Tabel 5.7. Interpretasi Skor Metode Storet.....	90
Tabel 5.8. Kategori Tingkat Indeks Pencemaran Air	91
Tabel 5.9. Indeks Kualitas Air (IKA)	94
Tabel 5.10. Indeks Kualitas Air (IKA) CWQI.....	96
Tabel 5.11. Indeks Kualitas Air IKA-SNF	97
Tabel 5.12. Index Biotik Metode BMWP ASPT.....	98
Tabel 5.13. Klasifikasi kualitas air berdasarkan <i>Famili</i> <i>Biotik Indeks</i>	101
Tabel 5.14. Klasifikasi Data untuk Metode <i>Lisec Score</i>	102
Tabel 5.15. Interpretasi LISEC Score	103
Tabel 5.16. Klasifikasi Data untuk Metode <i>Dutch Score</i>	103
Tabel 5.17 Interpretasi <i>Dutch Score</i>	104
Tabel 6.1. Baku Tingkat Kebisingan sesuai KepMenLH No. 48 Tahun 1996	113
Tabel 7.1. Karakteristik bioindikator yang baik.....	139

BAB 1

KONSEP DASAR, ASPEK DAN PRINSIP PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP

Oleh Bambang Suhartawan

1.1 Pendahuluan

Lingkungan hidup adalah ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang berdampak pada kelangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia dan makhluk hidup lain. Penataan, pemanfaatan, pengembangan, pemeliharaan, pemulihan, pengawasan, dan pengendalian lingkungan hidup disebut pengelolaan lingkungan hidup (Undang-Undang No. 23, 1997)

Konsep dasar pengelolaan lingkungan hidup merujuk pada serangkaian ide atau ideologi yang mendasari pendekatan kita terhadap bagaimana kita seharusnya merawat dan menjaga lingkungan hidup (Efendi, 2012). Beberapa konsep yang mendasari pengelolaan lingkungan hidup adalah : Keberlanjutan, yaitu Fokus pada penggunaan sumber daya alam dan praktik-praktik yang memastikan keberlanjutan ekosistem dan kehidupan manusia.; Partisipasi Masyarakat, Mengakui pentingnya melibatkan masyarakat dalam proses pengambilan keputusan dan pelaksanaan kebijakan lingkungan, dan Keadilan Sosial yang artinya Memastikan bahwa manfaat dan beban dari kebijakan lingkungan didistribusikan secara adil di antara anggota masyarakat.

Sedangkan aspek-aspek pengelolaan lingkungan hidup mencakup berbagai dimensi yang harus dipertimbangkan dalam upaya untuk merawat dan melindungi ekosistem (Hendrayana, 1999). Beberapa aspek penting dalam pengelolaan lingkungan hidup adalah : 1) Konservasi Sumber Daya Alam meliputi pengelolaan air, tanah, hutan, dan keanekaragaman hayati; 2) Pengelolaan Limbah meliputi pengelolaan limbah padat, cair, dan

udara untuk mencegah pencemaran lingkungan; 3) Energi dimana pengelolaan energi dengan mempromosikan efisiensi energi dan sumber energi terbarukan; dan 4) Pencegahan Pencemaran meliputi kontrol pencemaran air, udara, dan tanah (Listyarini and Warlina, 2017).

Pengelolaan Lingkungan Hidup berazaskan kelestarian dan keberlanjutan (Sriyanti, 2023). Sedangkan prinsip-prinsip pengelolaan lingkungan hidup adalah pedoman atau aturan dasar yang membimbing tindakan dan keputusan dalam upaya menjaga keseimbangan ekosistem. Beberapa contoh prinsip pengelolaan lingkungan hidup adalah : 1) prinsip berkelanjutan, memastikan bahwa tindakan manusia tidak melebihi kapasitas alam untuk pulih; 2) pencemar bayar (*polluter pays principle*), dimana pihak yang menyebabkan pencemaran bertanggung jawab untuk membayar biaya pemulihan; 3) partisipasi Masyarakat, yaitu masyarakat harus terlibat dalam proses pengambilan keputusan tentang lingkungan mereka; dan 4) Keterpaduan, dimana pengelolaan lingkungan harus diintegrasikan dengan kebijakan pembangunan ekonomi dan sosial.

Dengan memahami konsep dasar, aspek, dan prinsip pengelolaan lingkungan hidup, kita dapat mengembangkan strategi yang holistik dan berkelanjutan untuk melestarikan dan melindungi lingkungan alam. Pendekatan ini mencakup pemahaman mendalam tentang kompleksitas hubungan antara manusia dan lingkungan serta bagaimana tindakan kita dapat memengaruhi keseimbangan ekosistem.

1.2 Konsep dasar pengelolaan lingkungan hidup

Menurut Undang-Undang No. 23 Tahun 1997, lingkungan hidup didefinisikan sebagai kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang berdampak pada kelangsungan hidup dan kesejahteraan makhluk yang hidup di Bumi.

Untuk merencanakan, mengelola, memantau, dan melindungi sumber daya alam dan ekosistem agar dapat berfungsi secara berkelanjutan, pengelolaan lingkungan hidup adalah serangkaian tindakan (Suhartini, 2013). Konsep dasar dari pengelolaan lingkungan hidup mencakup beberapa komponen penting yang

harus dipahami dan diterapkan (Suhartini, 2008). Berikut adalah uraian singkat dari masing-masing bagian:

1. Pemahaman Ekosistem

Memahami ekosistem sebagai suatu sistem kompleks yang terdiri dari interaksi antara organisme hidup dan lingkungannya. Pemahaman ekosistem memiliki tujuan untuk menjaga keseimbangan ekosistem agar dapat memberikan manfaat jangka panjang bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya.

2. Penilaian Dampak Lingkungan (*Environmental Impact Assessment/EIA*)

Proses evaluasi dampak potensial suatu kegiatan terhadap lingkungan sebelum kegiatan tersebut dilaksanakan. Kegiatan ini bertujuan untuk mencegah atau mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, serta mengidentifikasi alternatif yang lebih ramah lingkungan (Rizki, Jawwad and Sujarwa, 2023).

3. Perencanaan Lingkungan

Melindungi keanekaragaman hayati, mempromosikan pembangunan yang ramah lingkungan, dan menjamin penggunaan sumber daya secara berkelanjutan berdasarkan penyusunan rencana dan kebijakan untuk pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan.

4. Pelaksanaan Kebijakan Lingkungan

Implementasi kebijakan dan rencana yang telah disusun untuk mencapai tujuan pengelolaan lingkungan. Hal ini dimaksudkan untuk mewujudkan tindakan nyata yang mendukung keberlanjutan lingkungan dan melindungi ekosistem.

5. Pemantauan Lingkungan

Kegiatan pengumpulan data secara berkala untuk menilai dampak kegiatan terhadap lingkungan bertujuan untuk memantau perubahan lingkungan, mengevaluasi efektivitas kebijakan, dan mengidentifikasi perubahan yang memerlukan tindakan korektif.

6. Pendidikan dan Partisipasi Masyarakat

Memberdayakan masyarakat dengan pengetahuan dan keterampilan untuk berkontribusi dalam pengelolaan lingkungan bertujuan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya lingkungan, serta mendorong partisipasi aktif dalam upaya pelestarian.

7. Penegakan Hukum Lingkungan

Menetapkan dan menegakkan regulasi lingkungan untuk memastikan kepatuhan terhadap prinsip-prinsip pengelolaan lingkungan. Hal ini dimaksudkan untuk mencegah tindakan yang merugikan lingkungan, serta memberikan sanksi kepada pelanggar.

8. Kerjasama Antar Pihak

Kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, masyarakat sipil, dan pihak-pihak terkait lainnya dalam upaya pengelolaan lingkungan bertujuan untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan lingkungan melalui sinergi dan koordinasi antarberbagai pihak.

Penerapan konsep dasar ini dapat membantu mencapai pembangunan berkelanjutan dan menjaga keberlanjutan lingkungan hidup untuk generasi mendatang.

Konsep dasar pengelolaan lingkungan hidup melibatkan beberapa bagian utama yang saling terkait dan mendukung. Berikut adalah rincian mengenai bagian-bagian konsep dasar tersebut:

9. Identifikasi dan Evaluasi Sumber Daya Alam

Pengenalan dan penilaian potensi sumber daya alam yang ada di suatu wilayah bertujuan untuk menentukan jenis, kuantitas, dan kualitas sumber daya alam untuk merencanakan pengelolaan yang berkelanjutan.

10. Perencanaan dan Pengembangan Wilayah

Penyusunan rencana tata ruang dan pengembangan wilayah dengan memperhatikan aspek lingkungan. Kegiatan ini dimaksudkan untuk menjamin penggunaan lahan yang optimal, menghindari konflik penggunaan lahan, dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

11. Pengelolaan Kualitas Udara, Air, dan Tanah

Upaya untuk menjaga kualitas udara, air, dan tanah serta mengelola pencemaran dengan cara mencegah dan mengurangi pencemaran lingkungan agar tetap dalam batas-batas yang dapat diterima.

12. Konservasi Keanekaragaman Hayati

Pelestarian dan pengelolaan keanekaragaman hayati di suatu ekosistem dilakukan dengan menjaga ekosistem, spesies, dan genetika yang beragam untuk mendukung stabilitas lingkungan dan keberlanjutan ekosistem.

13. Manajemen Limbah

Pengolahan yang aman bertujuan untuk mengurangi dampak negatif limbah terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Pengurangan, daur ulang, dan berbahaya dengan memperhatikan pengurangan dan daur ulang.

14. Pendidikan dan Partisipasi Masyarakat

Penyuluhan dan pelibatan masyarakat dalam upaya pelestarian lingkungan guna meningkatkan kesadaran dan pemahaman masyarakat tentang isu lingkungan serta mendorong partisipasi aktif dalam pelestarian lingkungan.

15. Perubahan Iklim dan Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca

Tindakan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengatasi dampak perubahan iklim. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mengurangi jumlah orang yang terlibat dalam perubahan iklim global dan jumlah orang yang rentan terhadap dampaknya.

16. Pengelolaan Energi

Penggunaan energi yang efisien dan berkelanjutan agar tidak berdampak pada ketergantungan sumber energi yang merugikan lingkungan dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi.

17. Pengelolaan Risiko Bencana Alam

Perencanaan dan tindakan untuk mengurangi risiko dan dampak bencana alam bertujuan untuk melindungi manusia dan lingkungan dari kerugian akibat bencana alam.

18. Hukum dan Kebijakan Lingkungan

Penetapan peraturan dan kebijakan yang mengatur pengelolaan lingkungan. Hal ini dimaksudkan untuk menegakkan norma-norma lingkungan dan memberikan dasar hukum untuk tindakan pengelolaan lingkungan.

19. Pemantauan dan Evaluasi

Kegiatan pemantauan untuk menilai keefektifan kebijakan dan tindakan pengelolaan lingkungan untuk memastikan bahwa langkah-langkah yang diambil sesuai dengan rencana dan berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan.

Dengan memahami dan menerapkan semua bagian ini secara komprehensif, pengelolaan lingkungan hidup dapat dijalankan secara efektif untuk menjaga keberlanjutan lingkungan bagi generasi mendatang.

1.3 Aspek-aspek pengelolaan lingkungan hidup

Pengelolaan lingkungan hidup melibatkan berbagai aspek dan kegiatan untuk menjaga, melindungi, dan merawat lingkungan agar tetap seimbang dan berkelanjutan. Beberapa aspek utama pengelolaan lingkungan hidup meliputi:

1. Konservasi Sumber Daya Alam

Menerapkan praktik-praktik pertanian yang berkelanjutan, pengelolaan air tanah, dan perlindungan tanah dari degradasi dan melindungi dan mengelola hutan secara berkelanjutan untuk memastikan keberlanjutan ekosistem, pengelolaan kayu, dan habitat satwa liar.

2. Pengelolaan Limbah

Pengelolaan limbah secara efisien, termasuk daur ulang, pengolahan air limbah, dan kontrol emisi udara serta mengelola limbah elektronik untuk mencegah pencemaran lingkungan dan mendaur ulang bahan berharga.

3. Pengelolaan Energi

Penggunaan sumber energi terbarukan seperti matahari, angin, air, dan bioenergi guna meminimalkan konsumsi energi dengan menerapkan teknologi dan praktik efisiensi.

4. Pencegahan Pencemaran

Pengendalian Pencemaran Air, Udara, dan Tanah dilakukan dengan menerapkan langkah-langkah untuk mencegah dan mengurangi pencemaran di berbagai media lingkungan.

5. Konservasi Keanekaragaman Hayati

Konservasi Spesies bertujuan untuk melindungi spesies langka dan mempertahankan keanekaragaman genetik dan ekosistem. Sedangkan Pengelolaan Kawasan Konservasi untuk membuat dan menjaga kawasan konservasi untuk melindungi habitat alami dan ekosistem.

6. Pendidikan Lingkungan

Peningkatan Kesadaran Masyarakat dapat dilakukan dengan cara mendidik masyarakat tentang pentingnya menjaga lingkungan dan konsekuensi dari tindakan yang merusak lingkungan.

7. Kebijakan Lingkungan

Regulasi dan hukum adalah peraturan dan peraturan yang mendukung pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan dan mendorong praktik ramah lingkungan.

8. Riset dan Inovasi

Pengembangan Teknologi Ramah Lingkungan dalam rangka mendorong riset dan inovasi untuk mengembangkan teknologi yang lebih bersahabat dengan lingkungan.

9. Penanganan Bencana Alam

Pemantauan dan Mitigasi Bencana Alam dilakukan untuk meningkatkan pemantauan dan mitigasi terhadap bencana alam yang dapat merusak lingkungan.

10. Pengelolaan Ruang

Perencanaan tata ruang yang bijaksana untuk menghindari perubahan penggunaan lahan yang merugikan lingkungan.

Penting untuk memahami bahwa pengelolaan lingkungan hidup melibatkan kerjasama lintas sektor dan partisipasi aktif dari masyarakat untuk mencapai hasil yang optimal dalam menjaga keberlanjutan dan keseimbangan ekosistem.

1.4 Prinsip pengelolaan lingkungan hidup

Prinsip-prinsip pengelolaan lingkungan hidup membentuk landasan bagi praktik-praktik yang bertujuan untuk melindungi dan menjaga keberlanjutan lingkungan. Beberapa prinsip utama yang sering diakui dalam pengelolaan lingkungan hidup melibatkan pendekatan berkelanjutan, keberagaman ekosistem, dan partisipasi aktif masyarakat. Berikut adalah beberapa prinsip tersebut:

1. Pendekatan Berkelanjutan:

- a. Prinsip: Pengelolaan lingkungan harus mempertimbangkan kebutuhan generasi sekarang dan masa depan.
- b. Implementasi: Memastikan bahwa kegiatan manusia tidak menguras sumber daya alam melebihi kemampuannya untuk pulih dan mempertahankan fungsi ekosistem.

2. Prinsip Keberagaman Ekosistem:

- a. Prinsip: Mempertahankan dan mendukung keanekaragaman hayati serta keberfungsian ekosistem.
- b. Implementasi: Menjaga keberagaman spesies, habitat, dan ekosistem untuk mencegah kerugian besar pada kehidupan liar dan keberlanjutan ekosistem.

3. Prinsip PENCEMAR BAYAR (*Polluter Pays Principle*):

- a. Prinsip: Pihak yang menyebabkan pencemaran atau kerusakan lingkungan harus bertanggung jawab dan membayar biaya pemulihan.
- b. Implementasi: Menerapkan regulasi dan kebijakan untuk menuntut tanggung jawab finansial dari perusahaan atau individu yang merusak lingkungan.

4. Prinsip Berbasis Ilmu Pengetahuan:

- a. Prinsip: Keputusan dan tindakan dalam pengelolaan lingkungan harus didasarkan pada pengetahuan ilmiah yang solid.

- b. Implementasi: Mendorong penelitian dan pengembangan serta memanfaatkan temuan ilmiah dalam pengambilan keputusan.

5. Prinsip Partisipasi Masyarakat:

- a. Prinsip: Melibatkan masyarakat dalam proses pengambilan keputusan lingkungan.
- b. Implementasi: Mendorong partisipasi aktif masyarakat dalam perencanaan, implementasi, dan pemantauan kebijakan lingkungan.

6. Prinsip Keadilan Sosial:

- a. Prinsip: Menjamin bahwa dampak dari pengelolaan lingkungan didistribusikan secara adil di antara seluruh anggota masyarakat.
- b. Implementasi: Mengakui dan mengatasi ketidaksetaraan dalam akses terhadap sumber daya alam dan manfaat lingkungan.

7. Prinsip Keterpaduan:

- a. Prinsip: Mengintegrasikan kebijakan dan praktik pengelolaan lingkungan dengan kebijakan pembangunan ekonomi dan sosial.
- b. Implementasi: Menyatukan tujuan pembangunan ekonomi dengan keberlanjutan lingkungan untuk mencapai keseimbangan yang berkelanjutan.

8. Prinsip Pencemaran Nol (*Zero Pollution Principle*):

- a. Prinsip: Mendorong upaya untuk mencapai tingkat pencemaran yang serendah mungkin atau bahkan nol.
- b. Implementasi: Menggalakkan inovasi teknologi, praktik produksi bersih, dan pengelolaan limbah yang ramah lingkungan.

9. Prinsip Tanggung Jawab Bersama:

- a. Prinsip: Mengakui bahwa semua pihak, termasuk pemerintah, bisnis, dan masyarakat, bertanggung jawab untuk melindungi lingkungan.
- b. Implementasi: Mendorong kolaborasi lintas sektor dan partisipasi aktif semua pemangku kepentingan dalam upaya pelestarian lingkungan.

Prinsip-prinsip ini membantu menciptakan panduan etika dan praktik-praktik terbaik dalam pengelolaan lingkungan hidup yang berkelanjutan dan bertanggung jawab.

DAFTAR PUSTAKA

- Efendi. 2012. 'Penerapan Prinsip Pengelolaan Lingkungan Hidup PENERAPAN PRINSIP PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP DALAM PERATURAN PERUNDANG-UNDANGAN BIDANG SUMBERDAYA ALAM (Kajian Dari Perspektif Politik Pembangunan Hukum) THE IMPLEMENTATION OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT PRINC', *Jurnal Ilmu Hukum*, (58), pp. 345-359.
- Hendrayana, H. 1999. 'Pengelolaan sumberdaya airtanah di indonesia', pp. 1-21.
- Listyarini, S. and Warlina, L. 2017. 'Konsep Kebijakan Lingkungan', *Tinjauan Mata Kuliah*, pp. 1-42. Available at: <http://www.pustaka.ut.ac.id/lib/wp-content/uploads/pdfmk/PWKL4305-M1.pdf>.
- Rizki, A.M., Jawwad, M.A.S. and Sujarwa, S. 2023. 'Analisis Prinsip-Prinsip Pengelolaan Lingkungan Hidup yang Berkelanjutan Sebagai Dasar Penilaian Dokumen Evaluasi Lingkungan Hidup (DELH)', *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, 2(2), pp. 279-287. Available at: <https://doi.org/10.55123/insologi.v2i2.1733>.
- Sriyanti. 2023. 'Pengendalian dan Pengelolaan Lingkungan Hidup', *Jurnal Bintang Pendidikan Indonesia (JUBPI)*, 1(2).
- Undang-Undang No. 23. 1997. 'Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 1997 Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1997 Nomor 68,Tambahan Lembaran Negara RI. 1997 No. 3699', pp. 1-59.

BAB 2

PENGELOLAAN KUALITAS AIR

Oleh Mila Sari

2.1 Pengenalan Lingkungan Air

2.1.1 Definisi Lingkungan Air

Lingkungan air adalah salah satu elemen paling penting dalam ekosistem Bumi. Air adalah sumber kehidupan bagi semua makhluk di planet ini, dan sebagian besar permukaan Bumi terdiri dari air. Air tawar yang dapat digunakan oleh manusia dan makhluk hidup lainnya hanya menyusut sekitar 2,5% dari total volume air di Bumi. Oleh karena itu, menjaga kualitas air ini sangat penting untuk keberlanjutan kehidupan.

Lingkungan air mencakup semua bentuk air, baik itu air permukaan seperti sungai, danau, dan laut, maupun air bawah tanah yang ada di dalam akuifer. Ini juga mencakup ekosistem yang terkait dengan air, seperti hutan hujan, rawa-rawa, dan estuari. Lingkungan air adalah rumah bagi berbagai bentuk kehidupan, mulai dari mikroorganisme kecil hingga ikan, burung, dan mamalia besar.

2.1.2 Pentingnya Air Bagi Kehidupan

Air adalah salah satu unsur yang paling penting bagi kelangsungan hidup manusia dan semua makhluk hidup di Bumi. Setiap hari, kita mengandalkan air untuk berbagai keperluan, seperti minum, memasak, mandi, mencuci, dan banyak lagi. Selain itu, air juga berperan penting dalam pertanian, industri, dan energi.

Namun, pentingnya air jauh lebih dari sekadar kebutuhan sehari-hari kita. Air juga memiliki peran ekologis yang sangat signifikan. Sungai dan danau adalah habitat bagi berbagai spesies ikan dan hewan air lainnya, sementara ekosistem seperti terumbu karang dan hutan mangrove sangat bergantung pada air untuk keberlanjutan mereka. Air juga berperan dalam mengatur iklim global dengan mengontrol suhu Bumi dan menghasilkan uap air yang membentuk awan dan hujan.

2.1.3 Ancaman Terhadap Lingkungan Air

Meskipun air sangat penting bagi kita dan ekosistem kita, lingkungan air kita semakin terancam. Pencemaran air, pembuangan limbah, perubahan iklim, dan eksploitasi sumber daya air yang berlebihan semuanya menjadi ancaman serius bagi kualitas air di seluruh dunia. Pencemaran air terjadi ketika bahan-bahan berbahaya, seperti limbah industri, bahan kimia pertanian, dan polutan lainnya, masuk ke dalam sistem air dan merusaknya.

Dalam bab-bab berikutnya, kita akan menjelajahi lebih dalam tentang berbagai jenis pencemaran air, sumber-sumbernya, dan dampaknya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Kami juga akan membahas metode pengelolaan kualitas air yang dapat membantu melindungi dan mempertahankan sumber daya air kita.

Dengan memahami pentingnya lingkungan air dan ancaman yang dihadapinya, kita dapat bersama-sama bekerja untuk menjaga kualitas air yang bersih dan sehat bagi generasi mendatang. Mari kita lanjutkan untuk menjelajahi tantangan dan solusi dalam mengelola kualitas lingkungan air dengan lebih baik.

2.2 Pencemaran Air

2.2.1 Jenis Pencemaran Air

Pencemaran air adalah salah satu tantangan lingkungan yang paling serius yang dihadapi dunia saat ini. Pencemaran air terjadi ketika zat-zat yang merusak kualitas air masuk ke dalam sumber air, mengubahnya menjadi tidak aman untuk konsumsi manusia, dan merusak ekosistem air. Jenis pencemaran air dapat sangat bervariasi, tergantung pada sumbernya dan jenis zat yang terlibat.

Beberapa jenis pencemaran air yang umum meliputi:

- 1. Pencemaran Air Oleh Bahan Kimia:**

Ini termasuk limbah industri, pestisida, herbisida, logam berat seperti merkuri, dan bahan kimia berbahaya lainnya yang dapat mengotori air dan merusak kehidupan air.

- 2. Pencemaran Air Oleh Nutrien**

Nutrien seperti nitrogen dan fosfor dapat mencemari air dari sumber-sumber seperti limbah pertanian dan limbah

- domestik. Hal ini dapat menyebabkan masalah seperti eutrofikasi dan pertumbuhan alga berlebihan.
3. Pencemaran Air Oleh Mikroorganisme Patogen
Bakteri, virus, dan parasit dapat mencemari air dan menyebabkan penyakit pada manusia dan hewan jika air tersebut tidak diolah dengan benar.
 4. Pencemaran Air Oleh Limbah Termal
Limbah panas yang dilepaskan dari pembangkit listrik dan industri dapat mengubah suhu air, yang dapat merusak ekosistem air dan menyebabkan kematian organisme air.
 5. Pencemaran Air Oleh Sampah Plastik
Sampah plastik yang dibuang secara tidak benar dapat mencemari air dan mengancam kehidupan makhluk air.

2.2.2 Sumber Pencemaran Air

Sumber-sumber pencemaran air bervariasi dan dapat berasal dari berbagai kegiatan manusia dan alam. Beberapa sumber utama pencemaran air meliputi:

1. Industri: Limbah industri, termasuk limbah cair dan limbah padat, dapat mengandung bahan-bahan berbahaya dan polutan yang dapat mencemari air.
2. Pertanian: Penggunaan pupuk dan pestisida dalam pertanian dapat mencemari air dengan nutrisi berlebih dan bahan kimia berbahaya.
3. Pembuangan Limbah Domestik: Limbah dari rumah tangga manusia dapat mengandung bahan kimia dan patogen yang mencemari air.
4. Pembuangan Limbah Radioaktif: Industri nuklir dan penanganan limbah radioaktif dapat menjadi sumber pencemaran air radioaktif.
5. Kehadiran Hewan Ternak: Kotoran dari hewan ternak seperti sapi dan babi dapat mencemari air dengan nutrisi dan bakteri.

2.2.3 Dampak Pencemaran Air Pada Kesehatan Manusia dan Lingkungan

Pencemaran air memiliki dampak serius pada kesehatan manusia dan lingkungan. Air yang tercemar dapat mengandung zat-zat berbahaya yang jika dikonsumsi atau digunakan dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, termasuk penyakit perut, keracunan, dan penyakit kronis seperti kanker.

Selain itu, pencemaran air juga merusak ekosistem air yang rentan. Organisme air, seperti ikan dan makhluk hidup air lainnya, dapat terpengaruh negatif oleh pencemaran air, dan beberapa spesies bahkan dapat punah akibat pencemaran yang parah. Pencemaran air juga dapat menyebabkan kerusakan permanen pada ekosistem seperti terumbu karang dan estuari.

Metode pengelolaan kualitas air yang dapat membantu mengatasi pencemaran air ini dan menjaga sumber daya air yang bersih dan sehat bagi kita dan generasi mendatang.

2.3 Indikator Kualitas Air

2.3.1 Parameter Kualitas Air yang Umum Digunakan

Untuk memahami kualitas air, kita memerlukan indikator atau parameter yang digunakan untuk mengukurnya. Parameter kualitas air adalah metrik yang digunakan untuk mengevaluasi kondisi air dan menentukan apakah air tersebut aman untuk berbagai penggunaan, termasuk konsumsi manusia, pertanian, dan kehidupan akuatik. Berikut adalah beberapa parameter kualitas air yang umum digunakan:

1. Kadar Oksigen Terlarut (DO): Kadar oksigen terlarut adalah jumlah oksigen yang terlarut dalam air, yang penting bagi kehidupan organisme akuatik. Kadar DO yang rendah dapat mengakibatkan kematian ikan dan organisme air lainnya.
2. Kekeruhan: Kekeruhan mengukur sejauh mana partikel padatan tersuspensi dalam air. Kekeruhan yang tinggi dapat mempengaruhi kemampuan organisme air untuk mendapatkan makanan dan melihat.
3. Suhu Air: Suhu air memengaruhi berbagai proses biologis dalam ekosistem air, termasuk metabolisme organisme. Perubahan suhu yang ekstrem dapat merusak ekosistem air.

4. Kesadahan: Kesadahan air terkait dengan kandungan mineral seperti kalsium dan magnesium dalam air. Kadar kesadahan yang tinggi dapat membentuk kerak pada peralatan dan mempengaruhi kualitas air minum.
5. pH: pH mengukur tingkat keasaman atau alkalisitas air. Perubahan pH yang signifikan dapat memengaruhi organisme air dan kemampuan air untuk melarutkan berbagai zat.
6. Kandungan Bahan Kimia: Ini mencakup parameter seperti kandungan logam berat (misalnya, timbal, merkuri) dan bahan kimia berbahaya lainnya dalam air.
7. Nutrien: Nutrien seperti nitrogen dan fosfor adalah parameter penting karena mereka dapat memicu eutrofikasi, pertumbuhan alga berlebihan yang dapat merusak ekosistem air.

2.3.2 Cara Pengukuran Kualitas Air

Pengukuran kualitas air adalah proses penting dalam pengelolaan lingkungan air. Untuk memantau dan memahami kualitas air, perlu dilakukan pengambilan sampel dan pengujian secara berkala. Beberapa alat dan metode yang digunakan dalam pengukuran kualitas air meliputi:

1. Penangkapan Sampel Air: Sampel air diambil dari berbagai lokasi di sungai, danau, atau sumber air lainnya untuk dianalisis di laboratorium.
2. Pengukuran In Situ: Pengukuran langsung di lapangan dengan alat seperti sensor suhu, pH meter, dan oksigen terlarut.
3. Pengujian Laboratorium: Sampel air diuji di laboratorium untuk mengukur parameter-parameter kualitas air seperti konsentrasi bahan kimia dan nutrien.
4. Penggunaan Teknologi Canggih: Beberapa teknologi canggih, seperti sensor jaringan dan penginderaan jauh dari satelit, digunakan untuk pemantauan kualitas air dalam skala besar.

Pemahaman tentang parameter kualitas air dan metode pengukuran yang tepat adalah langkah pertama dalam menjaga dan meningkatkan kualitas air.

2.4 Metode Pengelolaan Kualitas Air

2.4.1 Pengendalian Pencemaran Air

Salah satu langkah kunci dalam pengelolaan kualitas air adalah pengendalian pencemaran air. Ini melibatkan upaya untuk mencegah atau mengurangi pelepasan bahan-bahan berbahaya dan polutan ke dalam sumber air. Beberapa metode pengendalian pencemaran air meliputi:

1. **Pengolahan Limbah:** Industri dan rumah tangga harus memproses limbah mereka sebelum melepaskannya ke lingkungan. Pengolahan limbah melibatkan penyaringan, pengolahan biologis, dan pengurangan konsentrasi bahan berbahaya.
2. **Pengelolaan Pertanian yang Berkelanjutan:** Pertanian dapat menjadi sumber pencemaran air karena penggunaan pupuk dan pestisida. Praktik pertanian yang berkelanjutan, seperti penggunaan pupuk yang bijaksana dan praktik pertanian organik, dapat membantu mengurangi dampak negatif ini.
3. **Pengaturan Industri:** Pemerintah dapat mengatur industri untuk memastikan bahwa limbah industri tidak mencemari air. Ini melibatkan pemantauan ketat dan penerapan standar lingkungan yang ketat.
4. **Penggunaan Teknologi Hijau:** Penggunaan teknologi yang lebih ramah lingkungan, seperti sistem pengolahan air yang efisien dan teknologi pengendalian polusi, dapat membantu mengurangi dampak industri dan perkotaan terhadap kualitas air.

2.4.2 Pengolahan Air

Pengolahan air adalah proses yang penting dalam memastikan air yang aman dan bersih untuk konsumsi manusia. Ini melibatkan pengambilan air dari sumbernya, pengolahan untuk menghilangkan kontaminan, dan distribusi air yang aman kepada masyarakat. Beberapa tahap dalam pengolahan air meliputi:

1. Penyaringan: Air diambil dari sungai, danau, atau sumur dan disaring untuk menghilangkan partikel-padat dan zat-zat terlarut yang tidak diinginkan.
2. Pengolahan Kimia: Penggunaan bahan kimia seperti koagulan dan disinfektan untuk menghilangkan bakteri, virus, dan bahan organik dari air.
3. Penyimpanan: Air yang telah diolah disimpan dalam tangki atau reservoir sebelum didistribusikan ke rumah-rumah dan bisnis.
4. Distribusi: Air yang telah diolah didistribusikan melalui jaringan pipa air kepada konsumen.

2.4.3 Konservasi Air dan Penggunaan yang Berkelanjutan

Salah satu pendekatan penting dalam pengelolaan kualitas air adalah konservasi air. Konservasi air berarti menggunakan air dengan bijak dan menghindari pemborosan. Beberapa strategi konservasi air meliputi:

1. Penggunaan Perangkat Hemat Air: Memasang perangkat hemat air di rumah, seperti showerhead hemat air dan toilet berdesain efisien, dapat mengurangi konsumsi air rumah tangga.
2. Pertanian yang Efisien: Petani dapat mengadopsi teknik irigasi yang efisien dan praktik pertanian yang hemat air.
3. Penggunaan Komersial yang Bijaksana: Bisnis dan industri dapat mengadopsi praktik efisiensi air dan mendaur ulang air dalam proses mereka.
4. Pendidikan dan Kesadaran: Pendidikan masyarakat tentang pentingnya konservasi air dapat memotivasi individu untuk menggunakan air dengan bijak.
5. Pengelolaan kualitas air adalah tugas bersama yang melibatkan pemerintah, industri, masyarakat, dan individu. Dalam bab-bab selanjutnya, kita akan menjelajahi peran masing-masing pihak dalam menjaga kualitas air yang bersih dan sehat untuk semua.

2.5 Kebijakan Lingkungan dan Hukum

2.5.1 Kebijakan Lingkungan Terkait Air

Kebijakan lingkungan adalah kerangka kerja yang digunakan oleh pemerintah dan organisasi lingkungan untuk mengatur dan melindungi kualitas air dan lingkungan secara keseluruhan. Kebijakan ini merupakan landasan untuk pengelolaan kualitas air yang berkelanjutan. Beberapa aspek kebijakan lingkungan terkait air meliputi:

1. **Standar Kualitas Air:** Pemerintah menetapkan standar kualitas air untuk berbagai parameter seperti kadar oksigen terlarut, bahan kimia berbahaya, dan bakteri patogen. Standar ini harus dipatuhi oleh industri dan pihak lain yang berpotensi mencemari air.
2. **Konservasi Air:** Kebijakan juga dapat mendukung upaya konservasi air, seperti menggalakkan penggunaan air yang bijak di rumah tangga dan bisnis.
3. **Pengendalian Pencemaran:** Pemerintah dapat menerapkan kebijakan dan regulasi untuk mengendalikan pelepasan limbah dan polutan ke air.
4. **Pengawasan dan Pemantauan:** Kebijakan lingkungan sering mencakup sistem pengawasan dan pemantauan yang memungkinkan pemerintah untuk mengawasi kualitas air secara teratur.

2.5.2 Peran Pemerintah dalam Pengelolaan Kualitas Air

Pemerintah memiliki peran kunci dalam pengelolaan kualitas air. Mereka bertanggung jawab untuk mengembangkan dan melaksanakan kebijakan lingkungan, serta mengawasi kepatuhan terhadap peraturan-peraturan tersebut. Peran pemerintah dalam pengelolaan kualitas air meliputi:

1. **Pengembangan Kebijakan:** Pemerintah merancang kebijakan yang mengatur penggunaan air, pengendalian pencemaran, dan perlindungan sumber air.
2. **Pengawasan dan Penegakan Hukum:** Pemerintah memiliki peran dalam mengawasi penerapan kebijakan dan peraturan yang berlaku dan memberlakukan sanksi terhadap pelanggaran.

3. Manajemen Sumber Daya Air: Pemerintah sering bertanggung jawab untuk manajemen sumber daya air, termasuk pengelolaan sumber air bawah tanah dan permukaan.
4. Penelitian dan Pemantauan: Pemerintah juga dapat mendanai penelitian dan program pemantauan untuk memahami dan memantau kondisi air di wilayah mereka.

2.5.3 Peraturan Lingkungan dan Penegakan Hukum

Peraturan lingkungan adalah hukum dan regulasi yang ada untuk melindungi air dan lingkungan secara keseluruhan. Penegakan hukum peraturan ini adalah kunci dalam menjaga kualitas air yang baik. Beberapa jenis peraturan lingkungan dan penegakan hukum meliputi:

- 1) Clean Water Act (Undang-Undang Air Bersih): Di banyak negara, ada peraturan yang mengatur pelepasan limbah industri ke perairan dan menetapkan standar kualitas air.
- 2) Perizinan dan Izin Lingkungan: Industri dan lembaga lain yang berpotensi mencemari air harus memperoleh izin lingkungan dan mematuhi standar yang telah ditetapkan.
- 3) Hukuman dan Sanksi: Pemerintah dapat memberlakukan sanksi seperti denda dan tuntutan hukum terhadap pelanggar peraturan lingkungan.
- 4) Pengawasan Pemerintah: Pemerintah memiliki otoritas untuk melakukan pengawasan dan inspeksi untuk memastikan bahwa peraturan lingkungan diikuti dengan benar.

2.6 Kasus Studi

2.6.1 Kasus Studi Tentang Sukses dalam Pengelolaan Kualitas Air

Kita akan menjelajahi beberapa kasus studi tentang bagaimana pengelolaan kualitas air yang efektif dapat menghasilkan hasil positif. Berikut adalah beberapa contoh kasus studi:

1. Penyelamatan Terumbu Karang di Great Barrier Reef: Great Barrier Reef di Australia adalah salah satu ekosistem terumbu karang terbesar di dunia. Upaya perlindungan yang ketat dan pengelolaan yang berkelanjutan telah membantu

mengurangi dampak dari perubahan iklim dan pencemaran yang merusak terumbu karang ini.

2. Pengembangan Sistem Pengolahan Air Bersih di Singapura: Singapura telah mengembangkan sistem pengolahan air yang canggih dan efisien untuk mengatasi keterbatasan sumber daya air alaminya. Ini adalah contoh bagaimana inovasi teknologi dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan air kota yang besar.
3. Restorasi Sungai Thames di London: Proyek restorasi yang ambisius telah dilakukan untuk membersihkan dan merestorasi Sungai Thames di London. Ini termasuk upaya untuk mengurangi pencemaran air dan memulihkan ekosistem sungai.

2.6.2 Kasus Studi Tentang Pencemaran Air dan Dampaknya

Kasus studi ini akan memeriksa dampak pencemaran air pada lingkungan dan kesehatan manusia. Ini mencakup beberapa kasus studi berikut:

1. Krisis Air Minum di Flint, Michigan: Flint, Michigan, menghadapi krisis air minum pada tahun 2014 ketika air dari Sungai Flint terkontaminasi dengan timbal dan menyebabkan masalah kesehatan serius bagi penduduk setempat.
2. Pencemaran Air dan Ekosistem di Sungai Citarum, Indonesia: Sungai Citarum di Indonesia telah menghadapi pencemaran yang parah akibat pembuangan limbah industri dan domestik. Dampaknya termasuk kerusakan ekosistem air dan ancaman terhadap kesehatan masyarakat yang tinggal di sekitar sungai ini.

2.6.3 Kasus Studi tentang Restorasi Lingkungan Air

Kasus studi restorasi lingkungan air akan menyoroti upaya-upaya untuk memperbaiki kualitas air dan ekosistem yang telah rusak. Beberapa kasus studi yang mungkin termasuk:

1. Restorasi Delta Everglades di Florida: Upaya besar telah dilakukan untuk memulihkan ekosistem Delta Everglades

- yang penting di Florida, termasuk mengurangi aliran air permukaan dan mengembalikan aliran air alami.
2. **Proyek Restorasi Sungai Rhine, Eropa:** Sungai Rhine di Eropa mengalami pencemaran yang serius pada abad ke-20. Namun, dengan upaya restorasi yang berkelanjutan, kondisi air dan ekosistem sungai ini telah membaik.

Melalui kasus studi ini, kita dapat belajar dari pengalaman masa lalu dan melihat bagaimana tindakan nyata dapat menghasilkan perubahan positif dalam pengelolaan kualitas air dan perlindungan lingkungan.

2.7 Pendidikan dan Kesadaran Lingkungan

2.7.1 Pentingnya Pendidikan Lingkungan

Pendidikan lingkungan adalah kunci dalam menciptakan kesadaran dan pemahaman tentang pentingnya menjaga kualitas lingkungan air. Dalam sub-bab ini, kita akan menjelajahi mengapa pendidikan lingkungan sangat penting:

1. **Pemahaman tentang Dampak Lingkungan:** Pendidikan lingkungan membantu orang memahami bagaimana perilaku dan keputusan mereka dapat mempengaruhi kualitas air dan lingkungan secara keseluruhan.
2. **Pengenalan Terhadap Masalah Lingkungan:** Pendidikan lingkungan memperkenalkan orang pada berbagai masalah lingkungan, termasuk pencemaran air, yang dapat memotivasi mereka untuk bertindak.
3. **Pengetahuan Tentang Solusi:** Melalui pendidikan, orang dapat mempelajari tentang solusi yang dapat mereka terapkan untuk mengurangi dampak negatif mereka pada lingkungan air.

2.7.2 Kampanye Kesadaran Lingkungan

Kampanye kesadaran lingkungan adalah upaya untuk mengedukasi dan memotivasi masyarakat untuk bertindak dalam menjaga kualitas air dan lingkungan. Beberapa aspek kampanye kesadaran lingkungan meliputi:

1. Kampanye Pendidikan: Kampanye ini menggunakan pendekatan pendidikan untuk menyampaikan informasi tentang kualitas air dan masalah lingkungan kepada masyarakat.
2. Kampanye Kesadaran Melalui Media: Media sosial, film dokumenter, artikel berita, dan materi berbagi lainnya digunakan untuk meningkatkan kesadaran tentang isu-isu lingkungan.
3. Partisipasi Komunitas: Kampanye kesadaran sering melibatkan partisipasi aktif komunitas dalam kegiatan seperti membersihkan pantai, penanaman pohon, dan pemantauan kualitas air.

2.7.3 Peran Masyarakat dalam Pelestarian Air

Masyarakat memegang peran penting dalam menjaga kualitas air. Dalam sub-bab ini, kita akan menjelajahi bagaimana masyarakat dapat berkontribusi pada pelestarian air:

1. Konservasi Air di Rumah: Masyarakat dapat mengambil langkah-langkah sederhana di rumah mereka, seperti memperbaiki keran yang bocor, menggunakan perangkat hemat air, dan mengurangi pemborosan air.
2. Partisipasi dalam Program Pengelolaan Air: Masyarakat dapat berpartisipasi dalam program-program pengelolaan air seperti pengawasan kualitas air dan pemantauan ekosistem air setempat.
3. Advokasi Lingkungan: Masyarakat dapat berperan sebagai advokat lingkungan dengan mendukung kebijakan lingkungan yang lebih ketat dan berperan dalam kelompok-kelompok lingkungan.
4. Pendidikan Lingkungan: Masyarakat dapat berkontribusi pada pendidikan lingkungan dengan berbagi pengetahuan dan pemahaman mereka tentang kualitas air dengan orang lain.

2.8 Masa Depan Kualitas Lingkungan Air

2.8.1 Peran Inovasi dalam Pengelolaan Kualitas Air

Inovasi dan teknologi memainkan peran penting dalam pengelolaan kualitas air yang efektif. Dalam sub-bab ini, kita akan menjelajahi bagaimana inovasi dapat digunakan untuk menjaga dan meningkatkan kualitas air:

1. **Teknologi Pengolahan Air:** Inovasi dalam teknologi pengolahan air memungkinkan kita untuk membersihkan air dari berbagai kontaminan dengan lebih efisien dan aman.
2. **Teknologi Monitoring:** Sensor canggih dan sistem pemantauan memungkinkan kita untuk memantau kualitas air secara real-time, sehingga kita dapat merespons masalah dengan cepat.
3. **Desalinasi:** Inovasi dalam desalinasi air laut telah meningkatkan ketersediaan air bersih di daerah-daerah yang kekurangan air tawar.
4. **Penggunaan Energi Terbarukan:** Menggunakan energi terbarukan dalam pengelolaan air dapat mengurangi dampak lingkungan dan biaya operasional.

2.8.2 Teknologi Ramah Lingkungan untuk Pengelolaan Air*

Teknologi ramah lingkungan adalah solusi yang berfokus pada keberlanjutan dan pengurangan dampak lingkungan dalam pengelolaan kualitas air. Beberapa contoh teknologi ramah lingkungan untuk pengelolaan air meliputi:

1. **Sistem Pengolahan Air Biologis:** Teknologi ini menggunakan mikroorganisme untuk membersihkan air dari polutan organik, yang lebih ramah lingkungan daripada produk kimia.
2. **Penggunaan Sistem Tanaman Air:** Sistem ini menggabungkan tanaman air dan substrat alami untuk membersihkan air dan mengurangi erosi.
3. **Penggunaan Aplikasi Cerdas:** Aplikasi dan teknologi cerdas dapat membantu dalam pengelolaan penggunaan air di rumah tangga dan bisnis, mengidentifikasi potensi pemborosan air, dan memberikan solusi berkelanjutan.

2.8.3 Tantangan dan kendala dalam Penggunaan Teknologi Lingkungan

Meskipun teknologi lingkungan dapat memberikan banyak manfaat dalam pengelolaan kualitas air, ada juga tantangan dan kendala yang perlu dihadapi:

1. Biaya Implementasi: Teknologi lingkungan sering kali memerlukan investasi awal yang besar, dan biaya operasional yang berkelanjutan.
2. Pemeliharaan dan Perawatan: Beberapa teknologi memerlukan pemeliharaan dan perawatan yang intensif.
3. Ketergantungan pada Sumber Energi: Beberapa teknologi bergantung pada sumber energi yang dapat menghasilkan dampak lingkungan sendiri.
4. Perubahan Sosial dan Perilaku: Mengadopsi teknologi lingkungan sering kali memerlukan perubahan perilaku masyarakat, yang bisa menjadi tantangan.

Teknologi dan inovasi yang dapat digunakan dalam pengelolaan kualitas air dan bagaimana kita dapat mengatasi tantangan yang terkait dengan penggunaan teknologi ini untuk menjaga kualitas air yang bersih dan sehat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrol, Y. P., Ahmad, A., & Mir, S. A. 2017. "Environmental Pollution: Consequences and Measures." CRC Press.
- Chapra, S. C. 2017. "Surface Water-Quality Modeling." Waveland Press.
- Lee, T. S., & Ahn, K. H. (Eds.). 2019. "Water Pollution: Emerging Trends and Technologies." CRC Press.
- World Health Organization. 2017. "Guidelines for Drinking-water Quality." <https://www.who.int/publications-detail/guidelines-for-drinking-water-quality>
- United Nations Environment Programme. 2020. "World Water Quality Assessment: A Joint United Nations Environment Programme - International Water Association Assessment." <https://www.unep.org/>
- U.S. Environmental Protection Agency. 2021. "Clean Water Act." <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act>
- World Wildlife Fund (WWF). (2020). "Water Pollution: An Introduction." <https://www.worldwildlife.org/threats/water-pollution>
- Allan, J. D. (1995). "Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters." Springer.
- Dodds, W. K., & Whiles, M. R. (2010). "Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications." Academic Press.
- Carpenter, S. R. (2005). "Eutrophication of Aquatic Ecosystems: Bistability and Soil Phosphorus." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(29), 10002-10005.
- Postel, S. L. (1999). "Pillar of Sand: Can the Irrigation Miracle Last?" W. W. Norton & Company.
- Gleick, P. H. (1993). "Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources." Oxford University Press.
- Boyer, E. W., Goodale, C. L., Jaworski, N. A., & Howarth, R. W. (2002). "Anthropogenic Nitrogen Sources and Relationships to Riverine Nitrogen Export in the Northeastern USA." *Biogeochemistry*, 57(1), 137-169.

- Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., & Lammers, R. B. (2000). "Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth." *Science*, 289(5477), 284-288.
- Milliman, J. D., & Farnsworth, K. L. (2011). "River Discharge to the Coastal Ocean: A Global Synthesis." Cambridge University Press.
- Postel, S. L., & Richter, B. D. (2003). "Rivers for Life: Managing Water for People and Nature." Island Press.
- Wetzel, R. G. (2001). "Limnology: Lake and River Ecosystems." Academic Press.
- Tchobanoglous, G., & Burton, F. L. (2003). "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse." McGraw-Hill Education.
- National Research Council. (2008). "Clean Coastal Waters: Understanding and Reducing the Effects of Nutrient Pollution." National Academies Press.
- American Water Works Association. (2012). "Water Quality and Treatment: A Handbook on Drinking Water." McGraw-Hill Education.

BAB 3

PENGELOLAAN KUALITAS KEBISINGAN

Oleh Risnawati Tanjung

3.1 Pendahuluan

Kemampuan mendengar adalah anugerah luar biasa dari Tuhan yang tidak dapat disaingi, tanpa kemampuan pendengaran, menjalani kehidupan menjadi tugas yang sangat sulit. Kebisingan merupakan salah satu aspek lingkungan yang memiliki dampak signifikan terhadap kesehatan dan kesejahteraan manusia. Fenomena ini muncul sebagai hasil dari aktivitas manusia maupun alamiah, dan menjadi salah satu tantangan utama dalam menjaga kualitas hidup di era urbanisasi yang pesat. Terpapar pada tingkat kebisingan yang tinggi dapat mengakibatkan kerusakan pada kemampuan pendengaran dan juga berpotensi memengaruhi organ tubuh lainnya, termasuk jantung. (Soeripto, 2008).

Hasil dari paparan terhadap kebisingan, sebagian besar sulit disembuhkan. Maka, untuk mencegah kerusakan pendengaran (ketulian), satu-satunya metode yang tepat adalah menghindari paparan kebisingan berlebihan. Yang sangat mengembirakan adalah pemajanan terhadap bising dapat dikendalikan. Dalam era modern ini, dengan perkembangan teknologi dan pertumbuhan populasi yang pesat, masalah kebisingan semakin menjadi fokus perhatian masyarakat dan otoritas kesehatan. Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang sumber, dampak, dan upaya mitigasi terhadap kebisingan menjadi krusial untuk menciptakan lingkungan yang nyaman dan berkelanjutan.

3.2 Difinisi

Bunyi atau suara adalah rangkaian gelombang yang menyebar dari sumber getaran, terjadi akibat perubahan kerapatan dan tekanan udara. Kebisingan juga dapat diartikan suatu bunyi yang tidak diharapkan yang mampu menciptakan ketidaknyamanan oleh orang sekitar. Kebisingan merujuk pada suara yang tidak diinginkan yang berasal baik dari kegiatan alam, seperti suara sedang mengobrol, maupun aktivitas yang diciptakan oleh makhluk hidup, seperti penggunaan mesin. (Marisdayana, Suhartono and Nurjazuli, 2016).

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, kebisingan dapat didefinisikan sebagai suara yang tidak diinginkan yang berasal dari kegiatan atau usaha pada tingkat dan waktu tertentu, yang berpotensi mengakibatkan gangguan terhadap kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan. Tingkat kebisingan diukur dalam satuan desibel (Db(A)). (PUPR, 2021). Kebisingan merupakan faktor fisik dalam bentuk bunyi yang dapat memiliki dampak negatif terhadap kesehatan dan keselamatan kerja. Sementara itu, dalam keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia “Bising adalah semua suara yang tidak dikehendaki yang bersumber dari alat-alat produksi dan atau alat- alat kerja yang pada tingkat tertentu dapat menimbulkan gangguan pendengaran”. Dari kedua pengertian tersebut, dapat disimpulkan bahwa kebisingan mencakup semua suara atau bunyi yang tidak diinginkan dan berpotensi mengganggu kesehatan serta keselamatan. (Anizar, 2009).

3.3 Jenis-Jenis Bising

Macam-macam kebisingan yang umumnya ditemui dalam sektor industri dan berbagai kegiatan ekonomi meliputi: (Suma'mur, 2014)

1. Kebisingan ajek memiliki spektrum frekuensi yang luas (*steady wide-band noise*) termasuk kisaran frekuensi yang lebar seperti mesin di bengkel, kipas angin, dapur peleburan, dan tanur putar dipabrik semen.

2. Kebisingan ajek memiliki spektrum frekuensi yang sempit (*steady narrow-band noise*), yang energinya dari suara sebagian besar terkonsentrasi dalam beberapa frekuensi seperti gergaji putar.
3. Kebisingan terputus (*impact noise*) adalah suara yang muncul dalam waktu singkat, seperti yang dihasilkan oleh mesin tempa atau penancap fondasi.
4. Kebisingan impact berulang seperti rivetting
5. Kebisingan berulang (*intermittent noise*) merupakan kebisingan dimana suara mengeras dan kemudian melemah secara perlahan-lahan seperti contohnya bunyi-bunyi dari aktivitas lalu lintas yang sampai dalam rumah atau kantor, serta suara pesawat terbang yang terdengar di sekitar area bandara.

3.4 Sumber Kebisingan

Menurut Dirjen PPM dan PL Depkes dan Kessos RI, 2000 bahwa sumber bising dibedakan menjadi 3 yaitu:

1. Kebisingan industri
Industri besar mencakup pabrik, bengkel, dan sejenisnya. Kebisingan industri dapat dirasakan oleh karyawan maupun masyarakat di sekitar industri.
2. Kebisingan rumah tangga
Biasanya dihasilkan oleh perangkat-perangkat rumah tangga dan cenderung memiliki tingkat kebisingan yang tidak terlalu tinggi.
3. Kebisingan spesifik
Kebisingan yang timbul akibat pelaksanaan kegiatan tertentu, seperti pemasangan tiang pancang jalan tol atau konstruksi bangunan.

3.5 Dampak Kebisingan

Kebisingan dapat menyebabkan berbagai pengaruh terhadap kesehatan manusia seperti: (Soeripto, 2008)

1. Pengaruh fisiologis

Secara umum, kebisingan dengan frekuensi tinggi, terutama yang bersifat intermiten atau muncul secara tiba-tiba dan tidak terduga, dapat memicu reaksi fisiologis seperti:

- a. Peningkatan aliran darah dalam tubuh (± 10 mmHg)
- b. Kecepatan denyut nadi bertambah
- c. Basal metabolisme
- d. Kesulitan untuk tidur
- e. Penyempitan pembuluh darah kecil terutama pada ekstremitas seperti kaki dan tangan
- f. Dapat menyebabkan pucat dan gangguan sensori
- g. Bisa menyebabkan kulit menjadi pucat dan mengganggu fungsi sensorik
- h. Gangguan pada respon refleks.

Respon ini terutama terjadi pada awal paparan dan kemudian kembali ke kondisi normal. Jika paparan berlanjut, adaptasi dapat terjadi sehingga perubahan tidak lagi terlihat. Kebisingan ini dapat menyebabkan gangguan melalui tiga mekanisme, yaitu:

a. Internal body system

Sistem fisiologi vital yang essential untuk kehidupan, seperti sistem kardiovaskular, gastrointestinal, saraf, muskuloskeletal, dan endokrin. Paparan kebisingan memberikan rangsangan tidak langsung pada serat saraf dalam sistem tersebut. Suara ledakan dapat menyebabkan pembuluh darah menyusut, peningkatan denyut nadi, kelelahan, pusing kepala, dan ketidakseimbangan.

Dampak ini umumnya bersifat temporer dan hingga tingkat tertentu dapat menghasilkan adaptasi. Kebisingan tinggi juga memiliki potensi untuk mengubah akurasi koordinasi gerakan, memperlambat waktu reaksi, dan meningkatkan waktu respons, yang semuanya dapat mengakibatkan *human error*.

b. Ambang pendengaran

Ambang pendengaran adalah tingkat suara terendah yang masih dapat didengar. Semakin rendah tingkat suara yang masih terdeteksi, semakin rendah Nilai Ambang Pendengaran, menunjukkan kualitas pendengaran yang lebih baik. Kebisingan dapat memiliki pengaruh sementara (fisiologis) atau bersifat permanen (patologis).

c. Pola tidur

Jika seseorang mengalami kesulitan tidur atau terganggu selama tidur, dapat menyebabkan mudah tersinggung, reaksi emosional, dan keinginan untuk beristirahat. Kebisingan mengakibatkan gangguan tidur dilihat dari segi kelelapannya, kontinuitasnya, dan lamanya. Bila terjadi pergeseran waktu tidur dari pada nyenyaknya tidur akan menyebabkan kelelahan.

2. Pengaruh psikologis

Paparan kebisingan memiliki potensi untuk memengaruhi stabilitas mental, yaitu kemampuan seseorang untuk berfungsi atau bertindak secara normal, serta dapat menimbulkan reaksi psikologis seperti kecemasan, ketidaknyamanan, dan perasaan marah. Efek psikologi seperti marah, mudah tersinggung, gugup (*nervous*), jengkel (*annoyance*) sumber kebisingan umumnya menjadi kerasahan warga disekitar pabrik meliputi aktivitas dari pabrik atau lapangan terbang.

Kebisingan dianggap mengganggu ketika paparannya menyebabkan individu mengurangi toleransi terhadap kebisingan, menolak keberadaannya, atau meninggalkan area yang berisik jika memungkinkan. Faktor-faktor yang mempengaruhinya yaitu:

a. Faktor penyebab utama (*primary acoustic*)

Mencakup tingkat kekuatan suara (bising), frekuensi, dan durasi

- b. Faktor penyebab kedua (*secondary acoustic*)
Melibatkan kompleksitas spektral, fluktuasi tingkat kekuatan suara (bising), waktu munculnya bising, dan lokasi sumber kebisingan.
- c. Faktor bukan penyebab
Melibatkan aspek fisiologis, adaptasi dan pengalaman, aktivitas, tingkat prediktabilitas suara, tingkat signifikansi kebisingan bagi individu, serta perbedaan individu dan karakteristik kepribadian.

3. Gangguan komunikasi

Gangguan yang terjadi akibat kebisingan seperti masking effect, gangguan kejelasan suara. Risiko terjadi apabila komunikasi pembicaraan harus dijalankan dengan berteriak. Gangguan komunikasi ini menyebabkan terganggunya pekerjaan, bahkan mungkin kecelakaan terutama oada peristiwa penggunaan tenaga baru dan secara tidak langsung akan mengakibatkan bahaya terhadap keselamatan dan kesehatan tenaga kerja karena tidak mendengar teriakan atau isyarat tanda bahaya disamping itu dapat menurunkan mutu pekerjaan dan produktivitas kerja.

4. Pengaruh gangguan terjadinya ketulian

Dari berbagai gangguan yang dapat timbul akibat kebisingan, gangguan terjadinya ketulian dianggap sebagai yang paling serius.

a. Ketulian sementara

Dampak dari paparan kebisingan tinggi adalah penurunan sementara dalam kemampuan pendengaran bagi tenaga kerja. Jika diberikan istirahat yang memadai, kemampuan pendengaran mereka dapat pulih kembali ke tingkat normal (*recovery*). Untuk suara dengan intensitas lebih dari 85 dB, waktu istirahat selama 3-7 hari diperlukan. Namun, jika istirahat tidak cukup dan tenaga kerja terus terpapar kebisingan untuk jangka waktu yang lama, maka gangguan pendengaran sementara akan semakin parah setiap harinya. Hal ini

dapat merusak ujung-ujung syaraf dan berakibat kerusakan permanen, yang menyebabkan kehilangan pendengaran yang tidak dapat pulih (*irreversible*).

Tingkat ketulian sementara yang dialami oleh seorang pekerja dapat diidentifikasi melalui perubahan nilai ambang pendengaran, yang dapat terlihat melalui pemeriksaan audiometri. Ketulian sementara sering diukur dalam bentuk *Temporary Threshold Shift* (TTS), yang mencerminkan perubahan ambang batas pendengaran sebelum dan sesudah paparan. Besarnya TTS dipengaruhi oleh beberapa faktor:

- 1) Tingginya bunyi
- 2) Lama pemaparan
- 3) Spekturm bunyi
- 4) Temporary pattern
- 5) Kepekaan individu
- 6) Pengaruh obat-obatan
- 7) Kondisi kesehatan

b. Ketulian menetap

Ketulian permanen terjadi karena terpapar tingkat kebisingan yang tinggi secara berkelanjutan dalam kurun waktu yang lama. Hal ini disebabkan oleh proses pemulihan yang tidak sempurna dari kerusakan pendengaran sementara (*Temporary Threshold Shift/TTS*) yang belum dapat kembali ke ambang pendengaran semula. Selanjutnya, terjadi paparan kembali pada intensitas suara tinggi, yang mengakibatkan pengaruh kumulatif sehingga pada suatu titik, tidak mengalami pemulihan sedikitpun. Pada tahap ini, ketulian menjadi permanen (*irreversible*). Umumnya penurunan daya dengar terjadi perlahan:

1) Tahap pertama

Muncul setelah 10-20 hari paparan kebisingan, pekerja mengalami keluhan telinga berbunyi pada akhir setiap sesi kerja

2) Tahap kedua

Keluhan tentang bunyi di telinga terjadi secara sporadis (*intermittent*), sementara keluhan subjektif lainnya mengalami penurunan. Tahap ini berlangsung selama beberapa bulan hingga bertahun-tahun

3) Tahap ketiga

Pekerja sudah merasakan adanya gangguan pendengaran, seperti kesulitan mendengar detak jam atau mengalami kesulitan dalam mendengarkan percakapan, terutama jika ada suara latar yang lain

4) Tahap ke empat

Kesulitan pendengaran semakin terasa, menyulitkan dalam berkomunikasi.

Tuli yang bersifat permanen terjadi ketika ambang batas pendengaran menurun dan tidak dapat pulih ke tingkat semula, meskipun diberi waktu istirahat yang cukup. Proses ketulian yang bersifat permanen memang memakan waktu yang panjang. Pada dasarnya, pekerja tidak mengetahui secara pasti kapan mereka mulai mengalami tuli, dan beberapa penyebab oleh beberapa faktor yaitu:

- 1) Tingginya intensitas kebisingan
- 2) Lamanya pemajanan
- 3) Spektrum suara
- 4) *Temporal patter* dari pemajanan
- 5) Kepekaan individu
- 6) Pengaruh obat-obatan tertentu
- 7) Keadaan kesehatan telinga

c. Accoustic trauma

Penyebabnya adalah akibat terpapar suara impulsif dengan intensitas tinggi, seperti ledakan senjata atau letusan, yang menyebabkan kerusakan pada membran timpani, tulang pendengaran, dan koklea. Diagnosa dapat dilakukan dengan mudah, karena penderita dapat

dengan jelas menyatakan kapan terjadinya keluhan. Kerusakan pada bagian-bagian tersebut dapat mengakibatkan tuli secara mendadak, sedangkan tinnitus dapat sembuh sebagian atau sepenuhnya dengan cepat.

3.6 Cara Pengukuran Kebisingan

Alat yang digunakan dalam pengukuran kebisingan adalah sound level meter. Adapun cara pengukuran intensitas suara/kebisingan menurut Kepmenih No. Kep-48/MENLH/11/1996, Lampiran II yaitu:

1. Pengukuran sesaat

- a. Langkah termudah untuk menggunakan sound level meter sesuai petunjuk alat adalah dengan mengukur tekanan suara dalam dB (A) selama 10 (sepuluh) menit pada setiap pengukuran. Pembacaan dilakukan setiap 5 (lima) detik.
- b. Pendekatan secara langsung menggunakan sound meter yang terintegrasi dengan kemampuan pengukuran L^{TM5} , khususnya dengan parameter leq , dengan interval waktu pengukuran setiap 5 detik, dilakukan selama periode pengukuran selama 10 menit.

2. Pengukuran 24 jam

Pengukuran temporal dilakukan selama aktivitas 24 jam (L^{SM}) dengan aktivitas puncak pada siang hari selama 16 jam (L_s) dari pukul 06:00 hingga 22:00 dan pada malam hari setiap 8 jam (L_m). mulai pukul 10:00 malam. sampai pukul 06:00 pagi Setiap pengukuran harus dapat mewakili interval waktu tertentu dengan menetapkan minimal 4 kali pengukuran pada siang hari dan minimal 3 kali pengukuran pada malam hari, yaitu:

- a. L1 diambil pada jam 07.00 mewakili jam 06.00-09.00.
- b. L2 diambil pada jam 10.00 mewakili jam 09.00-11.00.
- c. L3 diambil pada jam 15.00 mewakili jam 14.00-17.00.
- d. L4 diambil pada jam 20.00 mewakili jam 17.00-22.00.
- e. L5 diambil pada jam 23.00 mewakili jam 22.00-24.00.

- f. L6 diambil pada jam 01.00 mewakili jam 24.00-03.00.
- g. L7 diambil pada jam 04.00 mewakili jam 03.00-06.00.

1. Penghitungan

LS dengan perhitungan:

$$LS = 10 \log \frac{1}{16} (T1.10^{0.1.L1} + \dots + T4.10^{0.1.L4}) \text{dB(A)}$$

LM dengan perhitungan:

$$LM = 10 \log \frac{1}{8} (T5.10^{0.1.L5} + \dots + T7.10^{0.1.L7}) \text{dB(A)}$$

Untuk mengetahui apakah tingkat kebisingan sudah melampaui baku tingkat kebisingan, maka perlu dicari nilai LSM dihitung dari rumus:

$$LSM = 10 \log \frac{1}{24} (16.10^{0.1.Ls} + 8.10^{(LM + 5)}) \text{dB(A)}$$

Keterangan:

Leq : Equivalent continuous noise level atau tingkat kebisingan sinambung setara ialah nilai tingkat kebisingan dari kebisingan yang berubah-ubah (fluktuatif) tetap (steady) pada selang waktu yang sama. satuannya adalah dB(A).

LTM5 = Leq dengan waktu sampling tiap 5 detik.

Ls = Leq pengukuran siang hari.

LM = Leq pengukuran malam hari.

Lsm = Leq pengukuran siang hari.

2. Evaluasi

Hasil LSM dari pengukuran tingkat kebisingan dibandingkan dengan nilai standar tingkat kebisingan yang ditetapkan, dengan toleransi + dB(A).



Gambar 3.1. Sound Level Meter

3.7 Nilai Ambang Batas

Tingkat/ambang batas kebisingan normal (nilai batas) adalah tingkat kebisingan yang aman atau batas paparan untuk jangka waktu tertentu, tingkat maksimum kebisingan yang dapat dipancarkan ke lingkungan tempat usaha dengan cara yang tidak menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan.

Tabel 3.1. Standard Kebisingan Ruang Perkantoran

Peruntukan Ruang	Standard Kebisingan (dBA)
Ruang Kantor (umum/terbuka)	55-65
Ruang kantor (pribadi)	50-55
Ruang umum dan kantin	65-75
Ruang pertemuan dan rapat	65-70

Sumber: Permenkes No.48 Tahun 2016

Tabel 3.2. Indeks Kebisingan Menurut Ruangan atau Unit Rumah Sakit

No	Ruangan atau Unit	Maksimum Kebisingan (Waktu pemaparan 8 dan satuan Db (A)
1	Ruang Pasien 1. Saat Tidur 2. Saat tidak tidur 3. Saat Tidur	45 40
2	Ruang Operasi Umum	45
3	Anastesi , pemulihan	45
4	Endoskopi , laboratorium	65
5	Sinar X	40
6	Koridur	40
7	Tangga	45
8	Kantor/Loby	45
9	Ruang alat / gudang	45
10	Farmasi	45
11	Dapur	78
12	Ruang Cuci	78
13	Ruang Isolasi	40
14	Ruang Poli gigi	80

Sumber : Kepmenkes NO :1204/MENKES/SK/X/2004

Tabel 3.3. Nilai Ambang Batas Kebisingan Pemukiman

Nilai Ambang Batas	Standard Kebisingan (dBA)
45-55	Kepmenkes No. 829/Menkes/SK/VII/1999

Tabel 3.4. Nilai Ambang Batas Kebisingan di Tempat Kerja

Waktu paparan per hari		Intensitas Kebisingan dalam dBA
8	Jam	85
4	Jam	88
2	Jam	91
1	Jam	94
30	Menit	97
15	Menit	100
7,5	Menit	103
3,75	Menit	106
1,88	Menit	109
0,94	Menit	112
28,12	Detik	115
14,06	Detik	118
7,03	Detik	121
3,52	Detik	124
1,76	Detik	127
0,88	Detik	130
0,44	Detik	133
0,22	Detik	136
0,11	Detik	139

Contoh: Tidak boleh terpajan lebih dari 140 dBA, walaupun sesaat.

Sumber: Permenaker No. 13/Men/X/2011

Tabel 3.5. Baku Tingkat Kebisingan

Peruntukan kawasan/Lingkungan Kegiatan		Tingkat Kebisingan dB (A)
1.	Peruntukan kawasan	
	1. Perumahan dan Pemukiman	55
	2. Perdagangan dan jasa	70
	3. Perkantoran dan Perdagangan	65
	4. Ruang Terbuka Hijau	50
	5. Industri	70
	6. Pemerintahan Fasilitas dan Umum	60
	7. Rekreasi	70
	8. Khusus : - Pelabuhan Laut - Cagar Budaya	70 60
B.	Lingkungan Kegiatan	
	1. Rumah Sakit atau sejenisnya	55
	2. Sekolah atau sejenisnya	55
	3. Tempat ibadah atau sejenisnya	55

Sumber: Keputusan menteri Negara Lingkungan Hidup,
Nomor: Kep -48/MENLH/11/1996, Tentang: Baku tingkat kebisingan

3.8 Pengelolaan Kebisingan

Pengelolaan kebisingan atau pengendalian dilakukan untuk melindungi keselamatan dan kesehatan pekerja melalui tindakan pencegahan yaitu:

1. Manajemen dengan pendekatan teknis
 - a. Menggunakan pembatas atau perisai yang digabungkan dengan peredam suara, dipasang di langit-langit.

- b. Menggunakan "*partial enclosure*" di area luar alat-alat yang menimbulkan kebisingan
 - c. Menggunakan "*complete enclosure*"
 - d. Memisahkan operator dalam "*sound proof room*" dengan luar alat-alat yang menimbulkan kebisingan
 - e. Mengganti bagian logam yang menghasilkan tingkat kebisingan tinggi dengan material seperti karet atau plastik, seperti fiber glass
 - f. Pemasangan peredam suara pada katup hisap di cerobong dan sistem ventilasi
 - g. Melakukan perbaikan pada dasar mesin, memastikan baut dan sambungan tetap stabil tanpa ada yang goyang
 - h. Merawat dan melakukan servis secara rutin.
2. Manajemen dengan pendekatan administratif
- Cara ini digunakan untuk mengurangi waktu pemajanan tenaga kerja dengan cara mengatur jam kerja sehingga masih dalam batas aman. Umumnya pengendalian secara administratif dilaksanakan dengan menggunakan tabel nilai ambang batas dan apabila tenaga kerja dalam melaksanakan pekerjaannya harus berpindah-pindah dan terpajan kepada intensitas bising yang berbeda-beda maka harus diperhitungkan efek kombinasinya.
3. Manajemen dengan pendekatan medis
- Melalui pemeriksaan kesehatan secara teratur, khususnya pemeriksaan audiometri yang bertujuan untuk mendeteksi secara dini adanya kelainan dan memantau apakah program pengendalian secara teknis efektif atau tidak.
4. Penggunaan Alat Pelindung Diri
- Pendekatan terbaik untuk melindungi pendengaran adalah dengan menerapkan kontrol teknis pada sumber suara. Saat memilih peralatan pelindung diri untuk telinga (*ear plug dan ear muff*) perlu mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan setiap jenis dengan mempertimbangkan:

- a. Perlengkapan pelindung telinga harus mampu menjaga pendengaran dari kebisingan yang berlebihan.
- b. Perlengkapan pelindung telinga seharusnya memiliki bobot yang ringan, kenyamanan saat digunakan, sesuai, dan efisien (ergonomis)
- c. Perlu menarik perhatian
- d. Tidak boleh menimbulkan dampak baik dari segi bentuk, konstruksi, bahan, maupun kemungkinan penyalahgunaannya
- e. Biaya yang dikeluarkan harus sesuai dengan kualitas dan fungsi.

5. Pendidikan dan pemberian informasi kesehatan

Program pendidikan dan pemberian informasi kesehatan memiliki kepentingan yang besar dan harus direncanakan secara baik untuk mencapai tujuan yang diinginkan yaitu:

- a. Memberikan pendidikan khusus kepada manajemen
- b. Menguraikan maksud dari program pemeliharaan dan pengembangan pendengaran
- c. Memberikan penjelasan kepada seluruh tim kesehatan mengenai urgensi perlindungan telinga
- d. Memberikan pelatihan kepada pekerja mengenai penggunaan yang benar, perawatan, dan penyimpanan alat pelindung diri
- e. Menjelaskan tindakan yang perlu diambil jika terjadi penurunan pendengaran.

6. Berkaitan dengan departemen

Tugas departemen atau bagian-bagian yang terkait dengan program pemeliharaan pendengaran adalah:

- a. Departemen teknis
 - 1) Tenaga kerja bagian engineering harus mempertimbangkan tentang kemungkinan adanya faktor bahaya kebisingan bila ada alat bantu baru yang akan direncanakan
 - 2) Memberitahu bagian lain bila ada pemasangan alat baru yang menimbulkan kebisingan

- 3) Mengembangkan konsep dengan menggunakan prinsip yang sudah ada untuk menurunkan tingkat intensitas kebisingan pada sumbernya dan mencegah pemajanan yang seharusnya tidak terjadi
- b. Departemen Hiperkes Medis
- 1) Mengadakan pemeriksaan kesehatan dan memberikan rekomendasi pada bagian personalia mengenai penempatan pegawai baru dan mutasi pegawai lama
 - 2) Bekerjasama dengan departemen lain mengenai pengembangan cara-cara pencegahan ketulian pada tenaga kerja
 - 3) Melakukan pemeriksaan secara berkala pada tenaga kerja yang terpajan pada kebisingan
 - 4) Melaksanakan program pendidikan kesehatan.
- c. Departemen Hiperkes Teknis
- 1) Bertanggung jawab melakukan monitoring temoat kerja yang bising
 - 2) Memberikan rekomendasi mengenai pengendalian untuk mengurangi pemajanan kepada tenaga kerja
 - 3) Memberikan nasehat kepada manajemen mengenai bahaya kebisingan yang mungkin timbul dari proses yang ada atau yang akan diadakan
 - 4) Membantu supervisor dalam mendidik tenaga kerja menjalankan aturan yang diadakan mengenai program
 - 5) Mengadakan peninjauan ulang mengenai praktek pengendalian kebisingan yang sudah dilakukan atau akan diusulkan apakah sudah memenuhi standart
 - 6) Melakukan surveu tentang tingkat intensitas kebisingan pada semua alat baru sebelum diserahkan pada bagian operasi

DAFTAR PUSTAKA

- Anizar, 2012. *Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja*. kedua ed. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Cici Apriliani, d., 2022. *Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)*. Sumatera Barat: PT. Global Eksekutif Teknologi.
- Djajaningrat, H., 2010. *Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja OHSAS 18001*. Kedua ed. Jakarta: Dian Rakyat.
- Marisdayana, R., Suhartono, S. and Nurjazuli, N. (2016) 'Hubungan Intensitas Paparan Bising Dan Masa Kerja Dengan Gangguan Pendengaran Pada Karyawan PT. X', *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 15(1), p. 22. doi: 10.14710/jkli.15.1.22-27
- Ramli, S., 2010. *Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*. 2 ed. Jakarta: Penerbit Dian Rakyat.
- Soedarto, 2013. *Lingkungan dan Kesehatan*. 1 ed. Jakarta: CV Sagung Seto.
- Soedirman, S. P., 2014. *Kesehatan Kerja Dalam Perspektif Hiperkes dan Keselamatan Kerja*. s.l.:Penerbit Erlangga.
- Soeripto, 2008. *Higiene Industri*. Jakarta: Balai Penerbit Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia.
- Suma'mur, 2014. *Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja (HIPERKES)*. 1 ed. Jakarta: CV Sagung Seto.

BAB 4

PENGELOLAAN KUALITAS TANAH BIOLOGI DAN RADIO AKTIF

Oleh Suriani Nur

Kesuburan tanah adalah potensi dan kemampuan tanah untuk menyediakan unsur hara dalam jumlah atau takaran tertentu yang cukup dalam bentuk yang tersedia dan seimbang secara berkesinambungan untuk menjamin atau menunjang pertumbuhan dan produksi suatu jenis tanaman yang optimum (Yamani, 2010)

Kesuburan tanah adalah potensi dan kemampuan tanah untuk menyediakan unsur hara dalam jumlah atau takaran tertentu yang cukup dalam bentuk yang tersedia dan seimbang secara berkesinambungan untuk menjamin atau menunjang pertumbuhan dan produksi suatu jenis tanaman yang optimum (Yamani, 2010)

4.1 Pendahuluan

Tanah merupakan tubuh alam pada permukaan bumi terjadi karena bekerjanya gaya gaya alami terhadap bahan alami (Wesley, 1977; Notodarmojo (2005)). Tanah sebagaimana yang biasa terlihat tidaklah sederhana adanya, tetapi sangat kompleks, baik penyusunnya, karakteristiknya, mikro fauna yang ada, dan sebagainya. Tanah sebagai bagian dari ekosistem terdiri dari berbagai komponen. Menurut Notodarmojo (2005) bahwa komponen tanah meliputi: komponen cair, komponen padat dan gas.



Gambar 4.1. Kualitas Tanah biologi dan radioaktif penting dikelola. Sumber: <http://tirto.id>

Tanah merupakan tempat manusia dan makhluk hidup lainnya di bumi ini untuk melangsungkan kehidupan. Tanah memiliki fungsi yang sangat penting dalam kehidupan, karena berbagai hal yang mendukung kehidupan berasal dan berada dalam tanah. Keberadaan tanah selain tempat hidup juga menyediakan unsur hara bagi tanaman, tanah menyediakan air tanah, tempat hidup berbagai fauna, dan sebagainya. Tanah sebagai salah satu komponen lingkungan hidup memiliki peranan yang tidak dapat tergantikan. Tanah merupakan salah satu penentu kualitas lingkungan sehingga apabila tanah mengalami penurunan kualitas maka akan berpengaruh pada makhluk hidup baik tumbuhan, hewan dan manusia.

Kualitas tanah seringkali dinyatakan sebagai kemampuan yang dimiliki oleh tanah secara alamiah untuk memproduksi hasil yang memadai bagi tanaman berkualitas tinggi selain itu melindungi kesehatan manusia dan hewan tanpa merusak sumberdaya alam (Doran & Parkin, 1994; Herdiyantoro, 2015). Lebih lanjut Doran & Parkin (1994) memberikan batasan kualitas tanah adalah kapasitas suatu tanah untuk berfungsi dalam batas-batas ekosistem untuk melestarikan produktivitas biologi, memelihara kualitas lingkungan, serta meningkatkan kesehatan tanaman dan hewan. Indikator kualitas tanah adalah sifat, karakteristik atau proses fisika, kimia dan biologi tanah yang dapat menggambarkan kondisi tanah (SQI, 2001).

Pengelolaan kualitas tanah merupakan hal penting untuk mendapatkan manfaat terbaik dari tanah. Pengelolaan Kualitas tanah dapat dibagi secara fisik, kimia dan biologi.



Gambar 4.2. Pengelolaan Tanah dilakukan saat bertanam

4.2 Pengelolaan Kualitas Tanah Biologi

Tanah adalah media tempat pertumbuhan akar dan tempat menyimpan unsur hara, udara, dan air, bagi tanaman. Suatu tanah dikatakan dapat mendukung pertumbuhan tanaman adalah yang mampu menyediakan air, udara dan unsur hara secara seimbang. Realita yang ada tidak banyak tanah memiliki karakteristik yang demikian, sehingga perlu pemupukan dilakukan agar kebutuhan akan unsur hara terpenuhi pada tanaman (Utomo dkk., 2016).

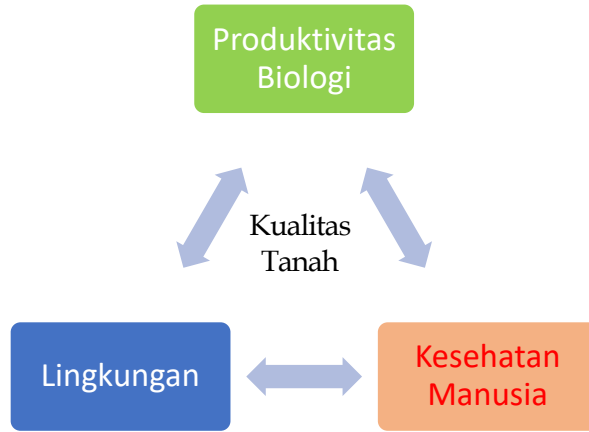
Berbagai definisi yang ada selama ini terkait kualitas tanah, salah satunya dikemukakan oleh Utomo dkk. (2022). Kualitas tanah adalah kondisi tanah yang menggambarkan tanah itu sehat, yaitu mempunyai sifat fisik, kimia, dan biologi tanah yang baik, serta produktivitasnya tinggi secara berkelanjutan (Utomo, 2002; Reintjes dkk., 1999; Adnyana, 2017).

Tanah yang sehat

.....

Salah satu faktor yang mempengaruhi kesuburan adalah sifat biologi tanah. Kadir dkk (2023) memaparkan bahwa perihal yang mempengaruhi kesuburan tanah dari sifat biologi tanah adalah: mikroorganisme dalam tanah, jumlah fauna yang ada dalam tanah serta bahan organik dalam tanah. Mikroorganisme merupakan makhluk hidup mikro antara lain jamur, bakteri serta organisme tanah lainnya. Peranan mikroorganisme tanah sangat besar karena akan merombak bahan organik yang ada dalam tanah sehingga menjadi unsur hara yang penting bagi tumbuhan. Selain merombak bahan organik mikroorganisme juga membantu berbagai siklus yang ada di alam, seperti siklus nitrogen. Jumlah mikroorganisme tanah yang stabil akan meningkatkan aerasi dan drainase tanah serta meningkatkan struktur tanah dan daya tukar kation tanah (Maitra dkk., 2021; Kadir, 2023)

Peranan biologi tanah dan hubungan timbal balik antar komponen lingkungan dalam ekosistem tanah sangat penting. Menurut Utomo (2016) kesehatan tanah berhubungan dengan sifat dan kemampuan tanah mengelola sendiri, stabilitas, resilience tanah dalam ekosistem tanah. Kesehatan tanah adalah suatu kemampuan tanah suatu sistem penting yang hidup dalam memberikan fungsi ekosistem, yaitu dalam memperkuat produktivitas biologi tanah, memperbaiki kualitas air dan udara, dan mendukung kesehatan tanaman, hewan, dan manusia.



Gambar 4.3. Sasaran Kualitas tanah: Produktivitas Biologi, Kesehatan Manusia dan Lingkungan.
Sumber: Schjonning et al (2004)

Kualitas tanah secara biologi sangat ditentukan oleh jumlah jasad mikro dalam tanah (terutama fungi, actinomycetes, dan bakteri). Jasad mikro mendekomposisi bahan organik, melepaskan unsur hara dalam bentuk tersedia untuk tanaman, dan mendegradasi residu beracun sehingga tidak membahayakan bagi tanaman. Sekitar 15% dari bahan organik terdiri sel-sel mikroba. Biomassa mikroba tanah subur dengan cukup bahan organik adalah sekitar 20 ton/ ha. Oleh karena itu, kadar bahan organik atau C- organik tanah (lihat Tabel 2) perlu ditambahkan untuk meningkatkan kualitas biologi tanah. (Adnyana, 2011)

Handayanto dkk. (2017) mengemukakan kunci prinsip kesuburan biologi tanah yaitu:

1. Pada lapisan tanah atas banyak dijumpai organisme.
2. Siklus unsur hara dan agregasi tanah memerlukan bahan organik tanah.
3. diversitas bahan organik dan habitat mempengaruhi diversifikasi biologi tanah maksimum
4. Asosiasi spesifik dengan legum pada kondisi tertentu dibentuk oleh bakteri yang memfiksasi N.

5. Selama proses pelapukan bahan organik, baik di dalam tanah atau di dalam biomassa mikroba tanah, akan melepaskan N.
6. Serapan fosfor ke dalam tanaman pada tanah yang kekurangan fosfor akan meningkat melalui bantuan Jamur mikoriza arbuskular
7. Lingkungan fisik dan kimia organisme tanah dipengaruhi oleh bahan pembenah tanah.
8. kesesuaian tanah pada patogen tanaman akan menurun melalui beberapa rotasi tanaman dan pengolahan tanah.
9. Keuntungan dapat di peroleh dari sistem produksi berbasis kesuburan biologi tanah
10. Waktu yang dibutuhkan berbeda pada tanah lingkungan serta pengelolaan lahan berbeda dengan konsekuensi proses biologi tanah berlangsung lambat.



Gambar 4.4. Sawah yang ditanami padi yang Pengelolaan Tanah secara fisik, kimia dan Biologi

Berdasarkan dengan kunci kesuburan biologi tanah yang dikemukakan oleh Handayanto dkk (2017) maka dalam mengelola kesuburan biologi tanah penting memperhatikan item tersebut. Lebih Lanjut Handayanto dkk (2017) menambahkan bahwa beberapa Kegiatan Pengelolaan Kesuburan Biologi Tanah yang dapat dilakukan yaitu:

1. Untuk meminimalisir berkurangnya organisme pada tanah lapisan tanah atas maka erosi tanah penting dikendalikan.

2. Siklus unsur hara dan agregasi tanah memerlukan bahan organik tanah, oleh karena itu bahan organik dalam tanah dipertahankan.
3. Untuk memaksimalkan diversitas tanah maka diperlukan pengolahan tanah
4. Perlu dipilih bakteri pemfiksasi N yang sesuai dengan tanaman inang, karakteristik tanah dan kondisi lingkungan.
5. Perlu memperhitungkan masukan pupuk N sebagai komplemen siklus unsur hara yang bersumber dari bahan organik.
6. Perlu memperhitungkan masukan pupuk N sebagai komplemen siklus unsur hara yang bersumber dari bahan organik.
7. Perlu memperhitungkan masukan pupuk Fosfor sebagai komplemen dan pemacu aktifitas jamur
8. Perlu di pilih rotasi tanaman dan tindakan pengolahan tanah dalam upaya menjaga perkembangan kondisi tanah yang mempengaruhi pertumbuhan patogen tanaman
9. Untuk memperoleh produk komersial maka perlu mempertimbangkan kapasitas perlakuan pengelolaan dalam rangka meningkatkan kesuburan biologi tanah
10. Perlu disediakan waktu yang cukup untuk pemantapan atau restorasi level kesuburan biologi tanah yang sesuai dengan tanah dan pengelolaan lahan.

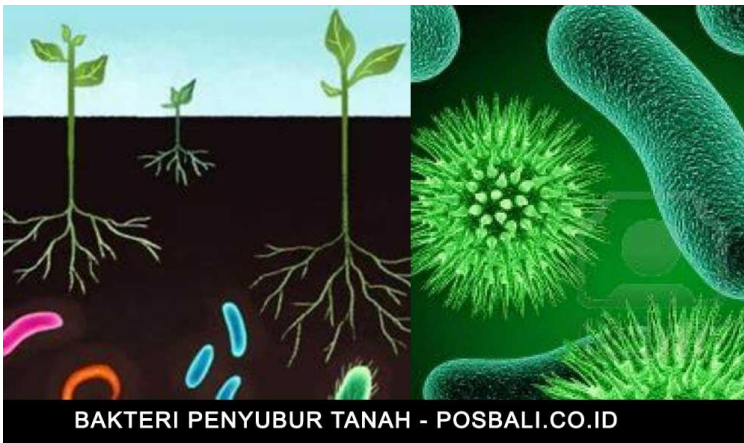
4.2.1 Fauna Tanah

Dalam mengelola tanah secara biologi, maka fauna tanah harus dikenali. Beberapa contoh fauna tanah yaitu: Bakteri, cacing tanah (*Megascolex* sp), Kaki Seribu, Semut, Gangsir dan masih banyak faunah lainnya. Berdasarkan laman dari Kementerian Pertanian RI dengan judul artikel 'Mengenal Mikroba Penyubur Tanah' memaparkan bahwa mikroba yang bermanfaat untuk pertanian antara lain *Pseudomonas* sp. *Azotobacter* sp., Mikoriza, *Rhizobia*, *Selulolitik*

1. *Pseudomonas* sp..Bakteri ini memiliki kegunaan untuk menguraikan senyawa kimia yang tidak bisa terurai.

Peudomonas sp. Memproduksi hormone yang dapat memacu pertumbuhan tanaman.

2. Selain itu ada *Azotobacter* sp merupakan bakteri yang melindungi tanaman dari pathogen. Menghasilkan hormone pemacu tumbuh serta mnigkatkan unsur hara di tanah.
3. Mikoriza sebagai penyubur tananaman karena cendawan ini daapt meningkatkan serapan P , Zn, Fe, dan Cu dari symbiosis mikoriza dengan tanaman seperti jagung kacang-kacangan.
4. *Rhizobia* meningkatkan unsur hara nitrogen pada tanah dan dapat digunakan untuk pupuk pembuatan pupuk bagi tanaman kacang-kacangan
5. Bakteri Selulolitik menghasilkan enzim yang digunakan pada proses perobakan bahan organik sehingga tanah menjadi subur. Enzim yang dihasilkan bakteri ini adalah enzim selulosa.b



Gambar 4.5. Bakteri Penyubur Tanah



Gambar 4.6. Cacing Tanah



Gambar 4.7. Kaki Seribu



Gambar 4.8. Semut



Gambar 4.9. Garsing

4.2.2 Pengelolaan Kualitas tanah Biologi & Kelestarian Lingkungan Hidup

Saat ini para petani lebih senang dengan pemberian pupuk kimia, karena dianggap bahwa input kimia memberikan hasil yang lebih memuaskan dan cepat terlihat hasilnya. Hal ini yang membuat para petani memilih pupuk kimia sebagai jalan terbaik dalam bertani, dan susah untuk beralih kepada yang alami. Padahal pertanian di masa dahulu menggunakan input pertanian alamiah dan sesuai kearifan lokal. Penggunaan input kimia yang telah dilakukan petani sejak tahun 60-an tanpa disadari oleh

petani mengakibatkan berbagai persoalan lingkungan dan persoalan kesehatan pada manusia.

Berdasarkan laman Kementan RI melansir bahwa ternyata beberapa dampak negatif yang diakibatkan penggunaan pupuk kimia yang berlebihan. Dampaknya antara lain menyebabkan tanah pertanian rusak akibat residu pupuk kimia yang terakumulasi di dalam tanah. Alternatif lain untuk melakukan mitigasi terhadap persoalan lingkungan dan kerusakan lahan pertanian adalah dengan memanfaatkan organisme dalam lingkungan. Memanfaatkan mikroorganisme tanah yang ada sebagai pupuk hayati dan pupuk Organik yang akan membuat tanah menjadi kaya dengan unsur hara yang perlukan tanaman. Tanah yang dikelola secara biologi dengan memanfaatkan mikroba selain akan menyuburkan tanah sehingga pertanian menjadi berhasil, juga membuat lingkungan hidup lebih berkualitas karena terhindar dari bahan kimia. Beberapa kelompok mikroba sebagai agensia hayati yang banyak digunakan sebagai pembantu pembuatan pupuk hayati antara lain *Azotobacter* Sp, *Lactobacillus* Sp, *Alkaligenes* sp, *Rhizobium* Sp, *Pseudomonas* Sp dan Bakteri Endofitik seperti *Ovrobactrum pseudogrignonense*, *Azospirillum*, *Penicillium* Sp

Selain itu mikroorganisme ada juga yang dapat mengoptimalkan limbah organik dan biomassa pertanian dengan merombaknya menjadi unsur hara yang dapat diserap tanaman. Mikroorganisme sebagai agensia hayati yang banyak digunakan sebagai perombak bahan organik adalah *Trichoderma reesei*, *T. harzianum*, *T. koningii*, *Phanerochaeta chrysosporium*, *Cellulomonas*, *Pseudomonas*, *Thermospora*, *Aspergillus niger*, *A. terreus*, *Penicillium*, dan *Streptomyces*. (Sumber Kementerian Pertanian: Balitbangtan). <http://www.bppjambi.info/newspopup.asp?id=696>

4.3 Pengelolaan Kualitas Tanah Radio aktif

Pertanian merupakan salah satu bidang yang menjadi perhatian penting. Saat ini pertanian berkembang secara pesat dalam memenuhi kebutuhan manusia yang terus mengalami pertumbuhan penduduk bumi secara cepat. Peningkatan sektor pertanian,

sehingga penggunaan pupuk kimia juga semakin meningkat. Pupuk kimia menjadi pilihan utama karena dengan pupuk kimia maka kebutuhan unsur kimia serta nutrisi tanaman segera terpenuhi.

Sejak manusia mengenal pertanian secara intensif, maka penggunaan pupukpun menjadi hal yang penting bagi petani. Dikenal berbagai macam pupuk antara lain ada pupuk organik dan ada pupuk kimia. Pupuk kimia menjadi hal utama saat ini, karena para petani sudah merasakan penggunaan pupuk kimia yang memberikan hasil pertanian memuaskan secara cepat. Kalau pupuk organik merupakan pupuk dari bahan organik yang bersumber dari makhluk hidup seperti tumbuhan, dan hewan. Chauhan et al. (2013) mengemukakan bahwa pupuk kimia merupakan campuran senyawa kimia yang menyediakan kebutuhan unsur kimia dan nutrisi pada tanaman. Pupuk kimia yang diaplikasikan di lahan pertanian antara lain yaitu pupuk fosfat. Roselli et al., (2010) mengatakan bahwa untuk memproduksi berbagai produk fosfat serta sumber utama pupuk fosfat menggunakan bahan dari batuan fosfat.

Radioaktif secara alamiah terdapat di bumi yang terbentuk sejak terbentuknya bumi ini. Radionuklida alam yang dominan ditemukan pada NORM (*Naturally Occuring Radioactive Material*) yaitu: ^{238}U , ^{232}U , ^{226}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{210}Pb dan ^{210}Po . Selain secara alamiah ada juga radioaktif yang sengaja tambahkan ke dalam pupuk sebagai perunut. Radioisotop fosfor-32 dimanfaatkan sebagai perunut gerakan pupuk di area tanaman setelah ditebar. Pergerakan pupuk fosfat, dapat ditelusuri dengan mencampurkan radioisotop ke dalam senyawa fosfat pergerakan ditelusuri dari tanah sampai masuk ke tanaman.

Para petani tidak pernah menyadari bahwa penggunaan pupuk kimia merupakan juga meningkatkan zat radioaktif dalam lingkungan hidup. Contohnya adalah batuan fosfat mengandung uranium alam, yang dapat mensubstitusi kalsium. Indri (2006) mengatakan bahwa uranium alam pada batuan fosfat mempunyai sifat yang dapat menggantikan fungsi kalsium, sehingga dalam waktu tertentu uranium akan terakumulasi. Meskipun bahwa keberadaan uranium pada pupuk fosfat tergantung pada kadar

uranium dalam sumbernya yaitu batuan fosfat. Rehman et al., (2006) mengatakan bahwa ketika proses pembuatan pupuk fosfat, radionuklida banyak yang terikut ke dalam pupuk, hal ini menyebabkan pupuk kimia menyebarkan NORM (*Naturally Occurring Radioactive Material*) ke lingkungan dan menjadi sumber radioaktif.

Melalui Jurnal penelitian yang ditulis oleh Hatika memaparkan hasil penelitiannya yang dilakukan untuk menentukan bahan radioaktif (NORM) dalam pupuk kimia. Simpulannya bahwa 6 jenis sampel pupuk yaitu Urea, ZA, KCL, NPK, TSP dan Phospate mempunyai kandungan bahan radioaktif alami (NORM). Kandungan unsur U-238 paling tinggi terdapat pada sampel pupuk TSP, Kandungan unsur Th-232 paling tinggi terdapat pada sampel pupuk NPK, Kandungan unsur Ra-226 paling tinggi terdapat pada sampel pupuk TSP, dan Kandungan unsur K-40 paling tinggi terdapat pada sampel pupuk KCL.

Keberadaan Radioaktif dalam tanah baik secara alamiah, ataupun sengaja ditambahkan untuk tujuan tertentu memiliki dampak yang berbahaya bagi manusia. Selama ini tidak terlalu mendapat perhatian terkait radioaktif dalam tanah pertanian akibat aktifitas pertanian. Kenapa tidak mendapat perhatian serius?. Jawabannya karena masih dianggap tidak berpengaruh karena hanya sedikit. Petani tidak menyadari bahwa seseorang yang terpapar radioaktif walaupun kecil, tetapi terpapar dalam waktu lama maka akhirnya berbahaya juga. Sehingga para pemangku kepentingan perlu menjadikan ini suatu hal yang serius untuk dicarikan jalan keluar terkait pencemaran tanah oleh radioaktif dalam lahan pertanian

Selain memiliki manfaat bagi manusia radioaktif memiliki juga bahaya bagi manusia itu sendiri yaitu kerusakan sel tubuh, kerusakan genetik dan kerusakan sel-sel mausia misalnya kanker darah, katarak dan sebagainya (Kamaluddi, 2017).

Penyinaran α , β dan/atau γ dari zat radioaktif dapat menimbulkan efek toksik. Jika terjadi kontak dari luar, sinar α hanya kerusakan pada Epidermis sebab sinar α mempunyai daya tembus kecil. Berbeda dengan sinar β yang memancarkan sinar electron, bisa menembus lapisan kulit lebih dalam. Kerusakan yang ditimbulkan

dari sinar γ sama dengan sinar ronsen. (Syafurudin, 2012). Isotop Radioaktif yang masuk ke dalam tubuh (sinar yang lebih lunak lebih aktif secara biologi) terutama merusak organ yang peka penyiaran seperti misalnya Sumsum, tulang dan juga dapat merusak tempat di mana tertimbun. Disamping menimbulkan kerusakan somatic, sinar ini dapat pula menyebabkan kerusakan genetic dan dapat menimbulkan tumor ganas.

Radionuklida banyak yang masuk kedalam pupuk yang dihasilkan pada saat proses pembuatan pupuk fosfat, sehingga memungkinkan pupuk menyebarkan radionuklida alami ke lingkungan sehingga menjadi sumber radioaktif. Fenomena yang ada bukan mustahil akan berpotensi terhadap risiko radiologi sebab ada kemungkinan perpindahan unsur dari pupuk pertanian ke dalam tanah dan tanaman, selanjutnya masuk dalam rantai makanan. Manusia merupakan paling beresiko dari paparan melalui konsumsi pangan yang ditanam pada tanah yang diberi pupuk (Rehman et al., 2006). Banyak hasil penelitian mengenai bahan radioaktif alami (NORM) dalam pupuk kimia di Indonesia telah dilakukan dan hasilnya memang telah ditemukan tanah pertanian sudah banyak terpapar dengan radioaktif. Jika demikian hasil penelitian yang ada terkait radioaktif dalam tanah pertanian. Hal ini memberikan "*warning*" bahwa tanah pertanian kita di Indonesia "*sedang tidak baik-baik saja*" karena sudah terpapar radiaktif. Akumulasi radioaktif dalam tanah akan berdampak bagi lingkungan dan berbahaya bagi kesehatan petani, pekerja dan konsumen.

Akhirnya sampai pada suatu titik simpul, bahwa tanah sebagai salah satu komponen dari lingkungan hidup harus dilindungi kelestariannya agar senantiasa berada dalam kategori "tanah sehat". Tanah yang sehat sudah pasti dapat memberi daya dukung lingkungan yang lebih memadai. Pengelolaan tanah biologi merupakan salah satu solusi yang perlu dilakukan, suatu gerakan dalam menyelamatkan umat manusia dan menyelamatkan lingkungan hidup dari paparan radioaktif dengan mengurangi input kimia dan meningkatkan pengelolaan tanah secara biologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad Rachman, Sutono, Irawan, I Wayan Suastika. (2017). Indikator Kualitas Tanah pada Lahan Bekas Penambangan (Soil Quality Indicators of Reclaimed Mine Soils). Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Cimanggu, Bogor 16114. Email: arbb1@yahoo.com. Jurnal Sumberdaya Lahan Vol. 11 No. 1, Juli 2017; 1-10
- Adnyana, I Made. (2011) Peningkatan Kualitas Tanah Dalam Mewujudkan Produktivitas Lahan Pertanian Secara Berkelanjutan. Program Studi Agroekologi, Fakultas Pertanian, Universitas Udayana. Denpasar-Bali. Jurnal Bumi Lestari, Volume 11 No. 1, Pebruari 2011, hlm. 131 - 137
- Agus, F. dan E. Husen. 2005. Tinjauan umum multifungsi pertanian. Seminar Nasional Multifungsi Pertanian dan Ketahanan Pangan. Bogor. 12 Oktober 2004. Balai Penelitian Tanah. Badan Litbang Pertanian.
- Dwiastuti, Sri. Kajian Tentang Kontribusi Cacing Tanah Dan Perannya Terhadap Lingkungan Kaitannya Dengan Kualitas Tanah Prodi P.Biologi Jurusan PMIPA FKIP Universitas Sebelas Maret Email: dwiastuti54@gmail.com
- Handayanto, E., Muddarisma, N., dan Fiqri, A. 2017. Pengelolaan Kesuburan Tanah. Universitas Brawijaya Press (UB Press). Malang.
- Hatika, Rindi Genesa Hatika. Penentuan Bahan Radioaktif Alami (Norm) Dalam Pupuk Kimia Menggunakan Spektrometri Sinar Gama Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Pasir Pengaraian. Jurnal Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian
- Herdiantoro, D. dan Setiawan, A. 2015. Upaya Peningkatan Kualitas Tanah Di Desa Sukamanah Dan Desa Nanggerang Kecamatan Cigalontang Kabupaten Tasikmalaya Jawa Barat Melalui Sosialisasi Pupuk Hayati, Pupuk Organik Dan Olah Tanah Konservasi. Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran.

- [https://tirto.id/faktor-yang-mempengaruhi-pembentukan tanah-dan-penjelasmnya-gCSw](https://tirto.id/faktor-yang-mempengaruhi-pembentukan-tanah-dan-penjelasmnya-gCSw)
- <http://www.bppjambi.info/newspopup.asp?id=696>
- Kadir, M, Abidin, Z., Muliawan, R., Bakhtiar, T., Yuniarti, Yusra S., Citraresmini, A., SofyanE.T., Joy, B., Mulyani, O. 2023. *Kesuburan Tanah*. Yayasan kita Menulis. Web: kitamenulis.id
- Kamaluddin dan Firmansyah. 2017. Seri *Pengetahuan Bencana: Nuklir dan Radioaktif*. Penerbit Mitra Utama. Bekasi.
- Rehman, S., Imtiaz, N., Faheem, M., & Matiullah. (2006). Determination of U-238 contents in ore samples using CR-39 based radon dosimeter disequilibrium case. *Radiation Measurement*, 41, 471-476.
- Schjonning, Elmholt , and Christensen. 2004. *Soil Quality Management-Concept and Terms*. CAB International. Denmark.
- SQI (Soil Quality Institute). 2001. *Guidelines for Soil Quality Assessment in Conservation Planning*. Soil Quality Institute. Natural Resources Conservation Services. USDA.
- Syafrudin & Badrus Zaman. 2012 . *Buku Ajar Pengelolaan Kualitas Lingkungan*. Lembaga Pengembangan Dan Penjaminan Mutu Pendidikan . UPT Undip Press Semarang
- Utomo, M., Sudarsono, Rusman, B., Sabrina, T., Lunbanraja, J., dan Wawan. 2016. *Ilmu Tanah Dasar-Dasar Dan Pengelolaan*. Prenada Media Group. Jakarta.

BAB 5

INDEKS KUALITAS AIR

Oleh Tarzan Purnomo

5.1 Pendahuluan

Air merupakan unsur yang paling melimpah di bumi, karena 70% permukaan bumi terdiri dari air, volumenya mencapai 1,4 juta km³. Bila air ini dituang merata ke seluruh permukaan bumi, maka akan terbentuk lapisan air dengan rerata kedalaman 3 km. Dari jumlah volume total 40 juta mil kubik air di planet bumi, yang secara langsung dapat digunakan hanya 0,5% atau 0,2 juta mil kubik. Sisanya, berupa air laut (97%), salju dan es abadi (2,5%) (Suriawiria, 2005).

Sampai saat ini, hanya 0,003% air yang dimanfaatkan dengan baik, terutama di daerah dengan curah hujan sedikit dan daerah berkembang dan berpenduduk padat. Air menjadi barang langka, sehingga kadang ketersediaannya menjadi permasalahan yang mempengaruhi derajat kesehatan masyarakat. Standard air bersih perlu ditegaskan, karena banyak faktor penentu yang mempengaruhinya, antara lain kegunaan dan asal sumber air (Wardhana, 2004).

Hampir setengah penduduk dunia, terutama di negara-negara Asia dan Afrika, mengalami gangguan kesehatan disebabkan oleh minimnya air atau menggunakan air yang tercemar untuk keperluan sehari-hari. Dua miliar penduduk beresiko terkena diare akibat air dan makanannya terkontaminasi dan menjadi penyebab meninggalnya lebih dari 5 juta anak pertahun (WHO, 2004).

Kuantitas air di bumi relatif tetap, namun kualitasnya terus mengalami penurunan. Peningkatan aktivitas dan perubahan perilaku manusia, industrialisasi, serta penggunaan teknologi yang tidak ramah lingkungan, membawa andil terjadinya pencemaran lingkungan. Ketika daya dukung lingkungan terhadap air lebih kecil daripada pencemaran, maka

semakin besar cemaran terhadap air. Sumber-sumber air bersih mulai berkurang karena penggunaannya melebihi kapasitasnya untuk dapat diperbaharui. Air telah menjadi sebuah komoditas, dalam pengertian sebagai barang publik (*public goods*) dan barang privat (*privat goods*). Sebagai barang publik, air menjadi kebutuhan pokok setiap orang dan wajib dipenuhi haknya oleh pemerintah. Dalam hal ini, air berubah terminologi ekonominya, dari bukan benda ekonomis menjadi benda ekonomis karena kelangkaannya. Air bersih, kadang tidak lagi bisa diperoleh dengan gratis, melainkan membutuhkan pengorbanan biaya.

Kualitas air merupakan mutu air yang diukur berdasarkan parameter tertentu menggunakan metode tertentu sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku (Storet, 2016). Status mutu air merupakan kualitas air yang menyatakan kondisi sumber air tercemar atau tidak dalam waktu tertentu dibandingkan dengan baku mutunya (Arnop *et al.*, 2019). Dengan demikian kualitas air adalah ukuran tingkat kesesuaian air dengan peruntukannya. Seiring dengan pertumbuhan populasi manusia, kebutuhan terhadap air terus meningkat. Namun, disisi lain kualitas air terus mengalami penurunan akibat tercemar berbagai polutan. Kualitas air dipengaruhi oleh parameter fisika, kimia dan biologi (Suripin, 2001). Oleh karena itu untuk mengetahui kualitasnya harus dilakukan pengujian terhadap fisika, kimia, dan biologi air.

Kualitas air bersifat kompleks dan melibatkan berbagai jenis pengukuran dan indikator air. Oleh karena itu status mutu air perlu dikuantifikasi dan diekspresikan dengan suatu indeks tunggal (*single index*) kualitas air (IKA) yang dapat dihubungkan dengan strategi operasional manajemen pengelolaannya. Salah satu cara untuk mengetahui kualitas air adalah dengan memberikan indeks, yaitu Indeks Kualitas Air (IKA), atau *Water Quality Index* (WQI). Hal ini merujuk Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Beberapa metode penentuan Indeks Kualitas Air (IKA) antara lain a). *metode Storet*, b). *metode Indeks Pencemaran (Pollution Index* atau PI), dan c). *metode Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)* (Kadim dkk., 2017; Marganingrum dkk., 2013; Huboyo dkk.,

2009). Berdasarkan indeks kualitas air (IKA) dapat diketahui status mutu air sehingga dapat ditentukan peruntukan dan strategi operasional manajemen pengelolaannya secara berkelanjutan.

Metode Storet dan metode Indeks Pencemaran populer digunakan di Indonesia, karena fleksibilitas penggunaan jumlah dan jenis parameter kualitas air serta pemakaian regulasi baku mutu sesuai kebutuhan lokal. Bentuk persamaan dan simulasi sensitivitas indeks dikaji berdasarkan penggunaan banyak parameter dengan dan tanpa parameter bakteriologi (*Total Coliform* dan *E. coli*), dan penggunaan hanya beberapa parameter kualitas air seperti dalam metode *Overall Index Pollution* (OIP) yang diterapkan di India dan metode *Interim National Water Quality Standards-Department of Environmental* (INWQS-DOE) yang diterapkan di Malaysia. Indeks OIP dan DOE adalah metode penentuan indeks kualitas air yang dikembangkan dengan standar lingkungan masing-masing di India dan Malaysia, yang memiliki tantangan polusi domestik dan industri mirip dengan Indonesia (Saraswati *et al.*, 2014). Masing-masing metode mempunyai kelebihan dan kelemahan yang menjadi pertimbangan pemilihan metode-metode tersebut.

Secara ekonomi, air berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan primer manusia, budidaya perairan, pertanian, Perkebunan, dan industri, serta pembangkit tenaga listrik. Demikian pentingnya air bagi makhluk hidup, sehingga idealnya pemanfaatan air harus sebijaksana mungkin. Air harus dijaga kelestarian dan kebersihannya dari zat dan bahan yang dapat mencemarinya.

5.2 Kualitas Air

Kualitas air adalah ukuran tingkat kesesuaian air terhadap peruntukannya dalam memenuhi kebutuhan hidup manusia. Kualitas air menunjukkan kondisi relatif air yang tercermin dari karakteristik fisik, kimiawi, dan biologisnya (Diersing, 2009) terhadap kebutuhan biota air dan manusia (Johnson *et al.*, 1997). Oleh karena itu kualitas air menjadi ukuran standar kondisi kesehatan ekosistem perairan dan kesehatan manusia.

Seiring dengan pertumbuhan populasi manusia, kebutuhan terhadap air terus meningkat. Ironisnya, disisi lain kualitas air terus mengalami penurunan akibat berbagai bahan pencemaran yang dihasilkan oleh manusia dalam rangka memenuhi kebutuhan hidupnya. Untuk itu perlu diketahui apasaja yang menyebabkan menurunnya kualitas air, sehingga kita bisa mencegahnya sekaligus sedapat mungkin melakukan tindakan yang berkontribusi terhadap pelestarian sumber daya air.

Pada prinsipnya semua sumber daya air dapat dimanfaatkan sebagai sumber air baku untuk berbagai kebutuhan. Akan tetapi dengan keterbatasan akses teknologi dan biaya maka hanya air dengan kualitas tertentu yang digunakan untuk air baku. Semakin bagus kualitas air baku semakin luas spektrum peruntukannya. Dalam rangka pemanfaatan dan pelestarian sumber daya air pemerintah RI melalui Peraturan Pemerintah Nomor 20 tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air, menggolongkan air menurut peruntukannya menjadi 4, yaitu:

1. Golongan A: dapat digunakan sebagai air minum secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu;
2. Golongan B: dapat digunakan sebagai air baku air minum;
3. Golongan C: dapat digunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan;
4. Golongan D: dapat digunakan untuk keperluan pertanian dan dapat dimanfaatkan untuk usaha perkotaan, industri, dan pembangkit listrik tenaga air.

Kondisi air bervariasi seiring waktu tergantung kondisi ekologi setempat (US EPA, 2006) meliputi aktivitas industri manufaktur, pertambangan, konstruksi, dan transportasi, limpasan air permukaan dari pertanian dan perkotaan.

Pengukuran kualitas air akan lebih akurat jika dilakukan di tempat (*in situ*) karena air berada dalam kondisi yang ekuilibrium dengan lingkungannya. Parameter air yang dapat diukur *in situ* merupakan parameter dasar seperti temperatur, pH, kadar oksigen terlarut, konduktivitas, dan sebagainya. Sedangkan untuk

pengukuran parameter yang lebih kompleks dibutuhkan sampel air yang dijaga kondisinya, dibawa, dan dianalisis di laboratorium. Pengukuran seperti ini memiliki dua masalah yaitu (1) karakteristik air sampel dapat berubah karena terjadi perubahan secara kimiawi dan biologis seiring waktu, karena kualitas air dapat bervariasi antara siang dan malam dan dipengaruhi oleh keberadaan organisme air (Goldman and Horne, 1983). (2) Air yang telah terpisah dari lingkungannya akan menyesuaikan diri dengan lingkungan yang baru, yaitu botol atau kemasan yang digunakan dalam pengambilan sampel. Untuk itu bahan yang digunakan untuk pengambilan sampel harus bersifat inert atau memiliki tingkat reaktivitas yang minimum sehingga tidak mempengaruhi kualitas air yang diuji (Franson, 1975). Ketika air sampel dipompa atau diaduk, menyebabkan perubahan fisik dan kimiawi atau terbentuknya endapan. Selain itu ruang udara di dalam kemasan dapat larut ke dalam sampel air (Goldman and Horne, 1983).

Guna mengurangi laju reaksi kimia dan perubahan fase dapat dilakukan dengan mendinginkan sampel air. Cara terbaik untuk mengetahui tingkat perubahan sampel air adalah dengan menggunakan dua jenis air yang bersamaan dengan pengumpulan sampel. Air jenis pertama, adalah air "kosong" yaitu air dengan kondisi kimiawi dan biologis yang sangat kecil sehingga tidak ada karakteristik yang dapat dideteksi. Air jenis kedua adalah air dengan kondisi yang "dimaksimalkan" sesuai dengan perkiraan kondisi air sampel. Kedua jenis air ini dipaparkan ke atmosfer sekitarnya selama pengambilan sampel, sehingga peneliti membawa tiga jenis air dari lokasi pengambilan sampel. Kemudian ketiganya dianalisis untuk mengetahui apa yang berkurang dan bertambah seiring waktu sejak pengambilan sampel hingga analisis di laboratorium (USGS, 2009).

5.2.1 Parameter Kualitas Air

Kualitas air dipengaruhi oleh parameter fisika, kimia dan biologi (Suripin, 2001) meliputi.

1. Parameter Kualitas Air Tawar

Pada ekosistem perairan tawar (sumber air, sungai, danau, dan rawa-rawa) kualitasnya ditentukan berdasarkan parameter

seperti pada Tabel 5.1. (Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001).

Tabel 5.1. Parameter Kualitas Air Tawar

No	Parameter Uji	Satuan
	Fisika	
1.	Temperatur	(oC)
2.	Residu Terlaut (TDS)	(mg/L)
3.	Residu Tersuspensi (TSS)	(mg/L)
4.	Kecerahan	(m)
5.	Turbiditry	
6	DHL	
	Kimia	
7.	pH	
8.	BOD	(mg/L)
9.	COD	(mg/L)
10.	DO	(mg/L)
11.	Nitrat (NO_3^-)	(mg/L)
12.	Nitrit (NO_2^-)	(mg/L)
13.	Amoniak (NH_3^-)	(mg/L)
14.	Sulfat (SO_4^-2)	(mg/L)
15.	Kalsium (Ca)	(mg/L)
16.	Klorida (Cl)	(mg/L)
17.	Sianida (CN)	(mg/L)
18.	Klorin Bebas (Cl_2)	(mg/L)
19.	Sulfida (H_2S)	
20.	Minyak/Lemak	
21.	Phenol	
22.	Detergent	(MBAS)
23.	Total Fosfat sebagai P	(mg/L)
24.	Besi Terlarut (Fe)	(mg/L)
25.	Timbal (Pb)	(mg/L)
26.	Tembaga (Cu)	(mg/L)
27.	Kadmium (Cd)	(mg/L)
28.	Krom Total	(mg/L)
29.	Nikel (Ni)	(mg/L)

No	Parameter Uji	Satuan
30.	Seng (Zn)	(mg/L)
31.	Selenium (Se)	(mg/L)
32.	Mangan (Mn)	(mg/L)
33.	Kobalt (Co)	(mg/L)
34.	Total P	(µg/L)
35.	N Total	(µg/L)
	Biologi	
36.	Chlorofil-a	(µg/L)
37.	MPN E Coli	(jml/100ml)
38.	MPN Coliform	(jml/100ml)

2. Parameter Kualitas Air Laut

Berdasarkan Baku Mutu air laut di Indonesia (Kepmen LH. No.51/2004) parameter air laut yang berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan meliputi suhu, kecerahan, kekeruhan, padatan tersuspensi, pH, salinitas, oksigen terlarut, senyawa nitrogen, fosfat dan logam berat.

Berdasarkan kesesuaian dan daya dukungnya, aspek fisika, kimia, dan biologi perairan dapat dikelompokkan menjadi (Gerking,1978):

- Faktor Kontrol (*Controlling factors*) yaitu yang mengontrol terjadinya reaksi-reaksi biokimia di perairan, yaitu: suhu air;
- Faktor Pembatas (*Limitting factors*) yaitu yang sangat dibutuhkan dalam jumlah atau rentang tertentu, sehingga menjadi faktor pembatas bagi kehidupan dan pertumbuhan organisme air, misalnya: oksigen terlarut (untuk respirasi), CO₂ bebas (untuk fotosintesis) serta beberapa nutrisi biogenik untuk pembentuk protoplasma biota air (Nitrat, Fosfat dan Silikat);
- Faktor Penyamaran (*Masking factors*) yaitu yang mampu melapis dan memodifikasi perubahan fisika-kimia air lainnya menjadi satu kesatuan pengaruh yang berdampak osmotik bagi kehidupan organisme air, misalnya: salinitas dan osmolaritas;

- d. Faktor Direktif (*Directive factors*) yaitu yang berperan mengarahkan reaksi-reaksi biokimiawi dalam ekosistem perairan, misalnya: pH (asam atau basa), suhu (oligothermal atau polithermal), oksigen terlarut (aerob atau anaerob).

Kualitas air ditentukan oleh ukuran berdasarkan parameter-parameter yang dipersyaratkan oleh Indeks Kualitas Air (IKA) meliputi:

1. *Derajat Keasaman (pH)*

Derajat keasaman (pH) merupakan derajat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Larutan netral mempunyai pH 7, asam lebih kecil dari 7 dan basa lebih besar dari 7. Nilai pH di luar rentang 6-9 dapat disebabkan oleh hujan asam, limbah industri, drainase pertambangan dan pelapukan mineral. Pengukuran pH ideal adalah langsung dilakukan di lapangan (*in situ*). Air yang baik mempunyai pH netral.

2. *Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid/TSS)*

Total Suspended Solid merupakan padatan tersuspensi di dalam air yang mempengaruhi kekeruhan (turbiditas) sehingga membatasi penetrasi cahaya untuk fotosintesis dan visibilitas di perairan. Merupakan residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal 2 μm atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. Meliputi lumpur, tanah liat, logam oksida, sulfida, ganggang, bakteri dan jamur maupun bahan organik.

3. *Konsentrasi Oksigen Terlarut (Dissolved Oxygen/DO)*

Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) merupakan konsentrasi oksigen yang terkandung dalam suatu perairan yang sangat penting bagi kelangsungan hidup biota air. Semakin besar kadar oksigen terlarut, kualitas air tersebut semakin baik dan kemampuan untuk mengoksidasi dan mendegradasi polutan organik semakin baik. Rendahnya kadar oksigen terlarut menunjukkan tingginya tingkat pencemaran. Kadar oksigen terlarut yang tinggi berdampak positif terhadap kelangsungan hidup biota perairan.

4. *Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (Biological Oxygen Demand/ BOD)*

Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (*Biological Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik yang siap terdekomposisi (*readily decomposable organic matter*) dalam kondisi aerob. Pemeriksaan BOD diperlukan untuk menentukan beban polutan organik. Dampak negatif akibat penguraian zat organik adalah berkurangnya oksigen terlarut dalam air sehingga tercipta kondisi hipoksia atau anoksia selama proses oksidasi yang mengakibatkan kematian biota akuatik.

5. *Konsentrasi Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD)*

Kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung di dalam air. Karena bahan organik sengaja diurai secara kimia menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak, sehingga semua bahan organik baik yang mudah terurai ataupun sulit urai akan teroksidasi. Dengan demikian selisih nilai antara COD dan BOD merupakan jumlah bahan organik yang sulit diurai yang terdapat di perairan. Nilai BOD bisa sama dengan COD, tetapi BOD tidak akan lebih besar dari COD. Dengan demikian COD merupakan jumlah total bahan organik yang ada dalam perairan tersebut.

6. *Konsentrasi Total Fosfat*

Dalam perairan fosfat terdapat sebagai senyawa asam fosfat, garam, maupun senyawa organofosfat. Fosfat berasal dari limbah domestik (deterjen) dan pertanian. Fosfat dapat memicu pertumbuhan tak terkendali alga (*algae blooming* atau *eutrofikasi*) yang menyebabkan terjadinya deplesi oksigen terlarut di dalam air akibat digunakan untuk proses dekomposisi alga yang mati.

7. *Konsentrasi Fecal Coliform*

Escherichia coli merupakan bakteri yang umum digunakan sebagai indikator tercemarnya suatu perairan. Bakteri ini tergolong koliform dan hidup normal di dalam kotoran manusia

dan hewan sehingga disebut *Fecal Coliform*. Baku mutu *Fecal Coliform* untuk masing-masing kelas air seperti pada Tabel 5.2.

8. *Konsentrasi Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$)*

Nitrat dihasilkan oleh aktivitas mikrobial di dalam tanah atau air saat dekomposisi limbah yang mengandung nitrogen organik. Tingginya kadar nitrat dalam air membahayakan kehidupan manusia dan hewan.

Tabel 5.2. Baku Mutu Air Berdasarkan Kelas Air

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
1.	Derajat Keasaman (pH)	-	6-9	6-9	6-9	6-9	Tidak berlaku untuk air gambut
2.	Oksigen Terlarut (DO)	mg/L	6	4	3	1	Batas minimal
3.	Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/L	40	50	100	400	
4.	$\text{NO}_3\text{-N}$ (Nitrat)	mg/L	10	10	20	20	
5.	Total Phospat	mg/L	0,2	0,2	1,0	-	
6.	Kebutuhan Oksigen Biokimia (BOD)	mg/L	2	3	6	12	
7.	Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/L	10	25	40	80	
8.	<i>Fecal Coliform</i>	MPN/100 mL	100	1000	2000	2000	

Sumber: PP. Nomor 82 Tahun 2001

5.2.2 Klasifikasi dan Kriteria Kualitas Air

Sumber daya air terdiri dari mata air, air sungai, air danau, air laut, dan air hujan, yang mempunyai persamaan dan perbedaan berdasarkan wujud, kualitas, atau asal sumber daya air. Berdasarkan fungsi atau peruntukannya Pemerintah Indonesia menggolongkan mutu air menjadi 4 kelas (PP. Nomor 82 Tahun 2001), seperti pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Pembagian Kelas Air dan Peruntukannya Berdasarkan PP No.82/2001.

Kelas Air	Kriteria Peruntukkan
Kelas I	Untuk air baku air minum , dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut
Kelas II	Untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, mengairi pertanaman , dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut
Kelas III	Untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, mengairi pertanaman , dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut
Kelas IV	Untuk mengairi pertanaman , dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut



Sumber:<https://lajuluasindonesia.com/berita-dan-penelitian/35/klasifikasi-dan-kriteria-mutu-air-kelas-air/>
Gambar 5.1. Penggunaan air berdasarkan Kelas air

Kelas air ditentukan berdasarkan beberapa parameter yang dikelompokkan menjadi 5 golongan seperti pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4. Pembagian Golongan Air

PARAMETER	SATUAN	KELAS				KETERANGAN
		I	II	III	IV	
FISIKA						
Temperatur	°C	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi Temperatur dari keadaan alamiah
Residu Terlarut	mg/L	1000	1000	1000	1000	
Residu Tersuspensi	mg/L	50	50	400	400	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, residu tersuspensi ≤ 5000 mg/L
KIMIA ANORGANIK						
pH		6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	Apabila secara alamiah diluar rentang tersebut, maka ditentukan

PARAMETER	SATUAN	KELAS				KETERANGAN
		I	II	III	IV	
						berdasarkan kondisi alamiah
BOD	mg/L	2	3	6	12	
COD	mg/L	10	25	50	100	
DO	mg/L	6	4	3	0	Angka Batas Minimum
Total Fosfat sbg P	mg/L	0,2	0,2	1	5	
NO ₃ sbg N	mg/L	10	10	20	20	
NH ₃ -N	mg/L	0,5	(-)	(-)	(-)	Bagi perikanan, kandungan amonia bebas untuk ikan yang peka $\leq 0,02$ mg/L
Arsen	mg/L	0,05	1	1	1	
Kobalt	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
Barium	mg/L	1	(-)	(-)	(-)	
Boron	mg/L	1	1	1	1	
Selenium	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
Kadmium	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	
Chrom (VI)	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,01	
Tembaga	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Cu ≤ 1 mg/L
Besi	mg/L	0,3	(-)	(-)	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Fe ≤ 5 mg/L
Timbal	mg/L	0,03	0,03	0,03	1	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Pb $\leq 0,1$ mg/L
Mangan	mg/L	1	(-)	(-)	(-)	
Air Raksa	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
Seng	mg/L	0,05	0,05	0,05	2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Zn ≤ 5 mg/L

PARAMETER	SATUAN	KELAS				KETERANGAN
		I	II	III	IV	
Chlorida	mg/L	1	(-)	(-)	(-)	
Sianida	mg/L	0,02	0,02	0,02	(-)	
Flourida	mg/L	0,5	1,5	1,5	(-)	
Nitrit sebagai N	mg/L	0,06	0,06	0,06	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, NO ₂ -N ≤ 1 mg/L
Sulfat	mg/L	400	(-)	(-)	(-)	
Chlorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	(-)	Bagi ABAM tidak dipersyaratkan
Belerang sbg H ₂ S	mg/L	0,002	0,002	0,002	(-)	
MIKROBIOLOGI						
Fecal Coliform	Jml/100 ml	100	1000	2000	2000	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Fecal coliform ≤ 2000 jml/100ml dan total coliform ≤ 10000 jml/100ml
Total Coliform	Jml/100 ml	1000	5000	10000	10000	
RADIOAKTIVITAS						
Gross - A	bg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	
Gross - B	bg/L	1	1	1	1	
KIMIA ORGANIK						
Minyak dan Lemak		1000	1000	1000	(-)	
Detergen sbg MBAS	µg	200	200	200	(-)	
Senyawa Fenol	µg	1	1	1	(-)	
Sebagai Fenol	µg				(-)	
BHC	µg	210	210	210	(-)	
Aldrin / Dieldrin	µg	17			(-)	
Chlordane	µg	3			(-)	
DDT	µg	2	2	2	2	
Heptachlor dan Heptachlor epoxide	µg	18	(-)	(-)	(-)	

PARAMETER	SATUAN	KELAS				KETERANGAN
		I	II	III	IV	
Lindane	µg	56	(-)	(-)	(-)	
Methoxyctor	µg	35	(-)	(-)	(-)	
Endrin	µg	1	4	4	(-)	
Toxaphan	µg	5	(-)	(-)	(-)	

Keterangan :

mg = milligram

Bq = Bequerel

µg = microgram

MBAS = *Methylene Blue Active Substance*

ml = mililiter

ABAM = Air Baku Air Minum

L = liter

Logam berat merupakan logam terlarut. Nilai diatas merupakan batas maksimum, kecuali untuk pH dan DO. Bagi pH merupakan nilai rentang yang tidak boleh kurang atau lebih dari nilai yang tercantum. Nilai DO merupakan batas minimum. Arti (-) diatas menyatakan bahwa untuk kelas termasuk, parameter tersebut tidak dipersyaratkan. Tanda ($\leq$) adalah lebih kecil atau sama dengan. Tanda (<) adalah lebih kecil.

5.3 Penentuan Status Kualitas Air

Perubahan kualitas air terutama disebabkan oleh pencemaran baik fisik, kimia, maupun biologis sebagai akibat penggunaan lahan, litologi, waktu, curah hujan dan aktivitas manusia. Untuk mengetahui kualitas air harus diukur berdasarkan parameter-parameter tertentu dan metoda tertentu sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku (Kepmen LH. No.115/2003).

Setiap metode mempunyai kelebihan dan kekurangan, untuk itu dalam melakukan pengukuran kualitas air sebaiknya digunakan lebih dari satu metode, agar kelemahan yang satu dapat ditutup dengan kebaikan yang lain. Kadang-kadang suatu metode merupakan keharusan untuk dipakai, tetapi kadang-kadang merupakan salah satu alternatif saja. Beberapa

metode telah ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI) seperti pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5. SNI Metode Penentuan Kualitas Air dan Air Limbah

NO.	NOMOR SNI	JUDUL
1.	SNI 6989.1:2019	Bagian 1: Cara uji daya hantar Listrik (DHL)
2.	SNI 6989.2:2009	Bagian 2: Cara uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (<i>Chemical Oxygen Demand</i> /COD) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri
3.	SNI 6989.2:2019	Bagian 2: Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (<i>Chemical Oxygen Demand</i> / COD) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri
4.	SNI 06-6989.3-2004	Bagian 3: Cara uji padatan tersuspensi total (<i>Total Suspended Solid</i> , TSS) secara gravimetri
5.	SNI 6989.3:2019	Bagian 3: Cara uji padatan tersuspensi total (<i>Total Suspended Solid</i> , TSS) secara gravimetri
6.	SNI 6989.4:2009	Bagian 4: Cara uji besi (Fe) secara Spektrofotometri Serapan atom (SSA)-nyala
7.	SNI 6989.5:2009	Bagian 5: Cara uji mangan (Mn) secara Spektrofotometri Serapan atom (SSA)-nyala
8.	SNI 6989.6:2009	Bagian 6: Cara uji tembaga (Cu) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala
9.	SNI 6989.7:2009	Bagian 7: Cara uji seng (Zn) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala

NO.	NOMOR SNI	JUDUL
10.	SNI 6989.8:2009	Bagian 8: Cara uji timbal (Pb) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala
11.	SNI 06-6989.9-2004	Bagian 9: Cara uji nitrit (NO ₂ -N) secara spektrofotometri
12.	SNI 6989.10-2011	Bagian 10: Cara uji minyak dan lemak secara gravimetri
13.	SNI 06-6989.11-2004	Bagian 11: Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan alat pH meter
14.	SNI 6989.11:2019	Bagian 11: Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan pH meter
15.	SNI 06-6989.12-2004	Bagian 12: Cara uji kesadahan total kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dengan metode titrimetri
16.	SNI 06-6989.13-2004	Bagian 13: Cara uji kalsium (Ca) dengan metode titrimetri
17.	SNI 06-6989.14-2004	Bagian 14: Cara uji oksigen terlarut secara yodometri (modifikasi azida)
18.	SNI 06-6989.15-2004	Bagian 15: Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (KOK) dengan refluks terbuka secara spektrofotometri
19.	SNI 6989.15:2019	Bagian 15: Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (<i>Chemical Oxygen Demand</i> /COD) dengan refluks terbuka secara titrimetric
20.	SNI 6989.16:2009	Bagian 16: Cara uji kadmium (Cd) secara Spektrofotometri Serapan atom (SSA)-nyala

NO.	NOMOR SNI	JUDUL
21.	SNI 6989.17:2009	Bagian 17: Cara uji krom total (Cr-T) secara Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-nyala
22.	SNI 6989.18:2009	Bagian 18: Cara uji nikel (Ni) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala
23.	SNI 6989.19:2009	Air dan air limbah – Bagian 19: Cara uji klorida (Cl^-) dengan metode argentometri
24.	SNI 6989.20:2009	Air dan air limbah – Bagian 20: Cara uji sulfat (SO_4^{2-}) secara turbidimetri
25.	SNI 6989.20:2019	Bagian 20: Cara uji Sulfat (SO_4^{2-}) secara turbidimetri
26.	SNI 06-6989.21-2004	Bagian 21: Cara uji kadar fenol secara spektrofotometri
27.	SNI 06-6989.22-2004	Bagian 22: Cara uji nilai permanganat secara titrimetri
28.	SNI 06-6989.23-2005	Bagian 23: Cara uji suhu dengan termometer
29.	SNI 06-6989.24-2005	Bagian 24: Cara uji warna secara perbandingan visual
30.	SNI 06-6989.25-2005	Bagian 25: Cara uji kekeruhan dengan nefelometer
31.	SNI 06-6989.26-2005	Bagian 26: Cara uji kadar padatan total secara gravimetri
32.	SNI 6989.26:2019	Cara uji padatan total (Total Solids, TS) secara gravimetri
33.	SNI 06-6989.27-2005	Bagian 27: Cara uji kadar padatan terlarut total secara gravimetri

NO.	NOMOR SNI	JUDUL
34.	SNI 6989.27:2019	Bagian 27: Cara uji padatan terarut total (Total Dissolved Solids, TDS) secara gravimetri
35.	SNI 06-6989.28-2005	Bagian 28: Cara uji karbon organik total (TOC)
36.	SNI 06-6989.29-2005	Bagian 29: Cara uji fluorida (F-) secara spektrofotometri dengan SPADNS
37.	SNI 06-6989.30-2005	Bagian 30: Cara uji kadar amonia dengan spektrofotometer secara fenat
38.	SNI 06-6989.31-2005	Bagian 31: Cara uji kadar fosfat dengan spektrofotometer secara asam askorbat
39.	SNI 06-6989.32-2005	Bagian 32: Cara uji kadar sulfit (SO ₂ -)3 secara titrimetri
40.	SNI 06-6989.33-2005	Bagian 33: Cara uji kadar perak (Ag) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)
41.	SNI 6989.34:2009	Bagian 34: Cara uji aluminium (Al) secara Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-nyala
42.	SNI 06-6989.35-2005	Bagian 35: Cara uji kadar aluminium (Al) terlarut dengan spektrofotometer secara eriokromsianin R
43.	SNI 06-6989.36-2005	Bagian 36: Cara uji kadar aluminium (Al) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) secara tungku karbon

NO.	NOMOR SNI	JUDUL
44.	SNI 06-6989.37-2005	Bagian 37: Cara uji kadar kadmium (Cd) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) secara ekstraksi
45.	SNI 06-6989.38-2005	Bagian 38: Cara uji kadar cadmium (Cd) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) secara tungku karbon
46.	SNI 06-6989.39-2005	Bagian 39: Cara uji kadar barium (Ba) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)
47.	SNI 06-6989.40-2005	Bagian 40: Cara uji kadar barium (Ba) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) secara tungku karbon
48.	SNI 06-6989.41-2005	Bagian 41: Cara uji kadar mangan (Mn) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) secara ekstraksi
49.	SNI 06-6989.42-2005	Bagian 42: Cara uji kadar mangan (Mn) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) secara tungku karbon
50.	SNI 06-6989.43-2005	Bagian 43: Cara uji kadar seng (Zn) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) secara ekstraksi
51.	SNI 06-6989.44-2005	Bagian 44: Cara uji kadar seng (Zn) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) secara tungku karbon

NO.	NOMOR SNI	JUDUL
52.	SNI 06-6989.46:2005	Bagian 47: Cara uji kadar timbal (Pb) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) secara ekstraksi
53.	SNI 6989.46:2009	Bagian 46: Cara uji kadar timbal (Pb) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) - tungku karbon
54.	SNI 06-6989.47:2005	Bagian 47: Cara uji kadar nikel (Ni) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) secara ekstraksi
55.	SNI 06-6989.48:2005	Bagian 48: Cara uji kadar nikel (Ni) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) secara tungku karbon
56.	SNI 06-6989.49:2005	Bagian 49: Cara uji kadar besi (Fe) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) secara ekstraksi
57.	SNI 06-6989.50:2005	Bagian 50: Cara uji kadar besi (Fe) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) secara tungku karbon
58.	SNI 06-6989.51:2005	Bagian 51 : Cara uji kadar surfaktan anionik dengan spektrofotometer secara biru metilen
59.	SNI 06-6989.52:2005	Bagian 52: Cara uji kadar nitrogen organik secara makro kjedahl dan titrasi
60.	SNI 6989.53-2010	Bagian 53: Cara uji kadar krom heksavalen (Cr-VI) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) secara ekstraksi

NO.	NOMOR SNI	JUDUL
61.	SNI 06-6989.54:2005	Bagian 54: Cara uji kadar arsen (As) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) secara tungku karbon
62.	SNI 06-6989.55:2005	Bagian 55: Cara uji kadar magnesium (Mg) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)
63.	SNI 06-6989.56:2005	Bagian 56: Cara uji kadar kalsium (Ca) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)
64.	SNI 6989.57:2008	Bagian 57: Metode pengambilan contoh air permukaan
65.	SNI 6989.58:2008	Bagian 58: Metode pengambilan contoh air tanah
66.	SNI 6989.59:2008	Bagian 59: Metode pengambilan contoh air limbah
67.	SNI 6989.63:2009	Bagian 63: Cara uji perak (Ag) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-tungku karbon
68.	SNI 6989.64:2009	Bagian 64: Cara uji timah (Sn) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-tungku karbon
69.	SNI 6989.65:2009	Bagian 65: Cara uji krom (Cr) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-tungku karbon
70.	SNI 6989.66:2009	Bagian 66: Cara uji tembaga (Cu) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-tungku karbon

NO.	NOMOR SNI	JUDUL
71.	SNI 6989.67:2009	Bagian 67: Cara uji tembaga (Cu) secara ekstraksi dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)- nyala
72.	SNI 6989.68:2009	Bagian 68: Cara uji kobal (Co) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala
73.	SNI 6989.69:2009	Bagian 69: Cara uji kalium (K) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala
74.	SNI 6989.70:2009	Bagian 70: Cara uji sulfida dengan biru metilen secara spektrofotometri
75.	SNI 6989.71:2009	Bagian 71: Cara uji krom heksavalen (Cr-VI) dalam contoh uji secara spektrofotometri
76.	SNI 6989.72:2009	Bagian 72: Cara uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD)
77.	SNI 6989.73:2009	Bagian 73: Cara uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan refluks tertutup secara titrimetri
78.	SNI 6989.73:2019	Bagian 73: Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (chemical oxygen demand / COD) dengan refluks tertutup secara titrimetri
79.	SNI 6989.74:2009	Bagian 74: Cara uji nitrat (NO ₃ -) secara elektroda selektif ion

NO.	NOMOR SNI	JUDUL
80.	SNI 6989.75:2009	Bagian 75: Cara uji sulfida secara iodometri
81.	SNI 6989.76:2011	Bagian 76: Cara uji sianida total (CN^- - T) secara elektroda selektif ion
82.	SNI 6989.77:2011	Bagian 77: Cara uji sianida total (CN^-) secara spektrofotometri
83.	SNI 6989.78:2011	Bagian 78: Cara uji raksa (Hg) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – uap dingin atau Mercury Analyzer
84.	SNI 6989-78:2019	Bagian 78: Cara uji air raksa atau merkuri (Hg) secara Spektrometri Serapan Atom (SSA) – uap dingin
85.	SNI 6989.79:2011	Bagian 79: Cara uji nitrat (NO_3^{--}N) dengan spektrofotometer UV-visibel secara reduksi kadmium
86.	SNI 6989.80:2011	Bagian 80: cara uji warna secara spektrofotometri
87.	SNI 6989-81:2018	Bagian 81: Cara uji Arsen (As) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – generator hidrida
88.	SNI 6989-82:2018	Bagian 82: Cara uji logam menggunakan spectrometer emisi atom Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometric (ICP-OES)

NO.	NOMOR SNI	JUDUL
89.	SNI 6989-83:2018	Bagian 83: Cara uji Selenium (Se) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – generator hidrida
90.	SNI 6989-84:2019	Bagian 84: Cara uji kadar logam terlarut dan logam total secara Spektrometri Serapan Atom (SSA) – nyala
91.	SNI ISO 17381:200	Pemilihan dan penerapan metode test kit siap pakai untuk analisis air
92.	SNI ISO 15839:200	Kualitas air – Sensor/peralatan analisis on-line untuk air – Spesifikasi dan uji kinerja

Sumber: Kemen LHK, 'SNI Kualitas Air Dan Air Limbah', 2019
<http://standardisasi.menlhk.go.id/>.

5.4 Indeks Kualitas Air

Air menjadi sumber kehidupan, untuk itu kuantitas dan kualitasnya harus dipelihara agar kehidupan tetap terjaga. Sumber daya air yang dapat dimanfaatkan dikategorikan menjadi 2, yaitu:

1. Air permukaan; sumber mata air, sungai, waduk, bendungan, danau, embung, telaga dan laut. Dimanfaatkan untuk air minum, MCK, budidaya perikanan, pertanian, industri, pariwisata, dan transportasi.
2. Air tanah; dapat diperoleh melalui proses penggalian atau pengeboran. Dimanfaatkan untuk rumah tangga dan *home industry*.

Sumber daya air tersebut harus dijaga kualitasnya, dengan mempertimbangkan daya tampung dan daya dukungnya. Pesatnya pembangunan mendorong perubahan lahan yang berdampak menurunnya kualitas air Sungai sebagai salah satu parameter dalam perhitungan Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH).

Indeks kualitas air digunakan untuk menilai kualitas air agar dapat diperoleh informasi kualitas air secara sederhana dan mudah dipahami oleh masyarakat maupun pengambil kebijakan (Ratnaningsih *et al.*, 2021). Status mutu air harus bisa dikuantifikasikan dan diekspresikan dengan suatu indeks tunggal (*single index*) kualitas air (IKA), sehingga dapat diimplementasikan dalam strategi operasional manajemen pengelolaannya secara ekologis dan berkelanjutan. Penentuan Indeks Kualitas Air (IKA) dapat dilakukan dengan pendekatan tradisional yaitu membandingkan data setiap parameter kualitas air konvensional (fisik, kimia, dan bakteriologi) dengan kondisi normatif kelas air setempat (baku mutu peruntukan air). Baku mutu air adalah ukuran batas atau nilai makhluk hidup, zat, energi, atau komponen yang ada atau harus ada atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya di dalam air. Baku mutu ini ditetapkan oleh pemerintah dan menjadi acuan dalam menentukan kualitas air. Berikut adalah beberapa metode untuk menentukan Indeks Kualitas Air.

5.4.1 Metode Storet

Penentuan status mutu air dengan metode Storet yaitu dengan cara membandingkan data kualitas air dengan baku mutu yang telah ditetapkan sesuai dengan peruntukannya (Huboyo dkk., 2009). Dengan metode ini dapat diketahui parameter-parameter yang telah memenuhi atau melampaui baku mutu. Penentuan status mutu air menggunakan time series data. Semula metode ini digunakan untuk menilai mutu air untuk penggunaan khusus "*specific use*" misal peruntukan air minum. Namun sekarang dipakai untuk menilai "*overall use*" air.

Kelebihan Metode Storet yaitu dapat menyimpulkan status mutu air pada rentang waktu tertentu, sehingga mudah dipahami oleh masyarakat awam. Sedangkan kelemahannya adalah memerlukan beberapa seri data kualitas air, sehingga memerlukan biaya yang relatif lebih besar dan waktu yang lebih panjang. Secara operasional langkah-langkah penggunaan metode Storet adalah sebagai berikut:

1. Keloksi data kualitas air secara berkala untuk memperoleh data antar waktu (*time series data*).
2. Data setiap parameter air yang diperoleh dibandingkan dengan nilai baku mutu sesuai kelas air.
3. Parameter yang memenuhi nilai baku mutu air (hasil pengukuran < baku mutu) diberi skor 0.
4. Parameter yang tidak memenuhi nilai baku mutu air (hasil pengukuran > baku mutu), diberi skor sesuai Tabel 5.6
5. Jumlah negatif seluruh parameter dihitung dan ditentukan status mutunya berdasar skor yang didapat dengan menggunakan sistem nilai.

Tabel 5.6. Skor Masing-masing Parameter dalam Metode Storet

Jumlah parameter *	Nilai	Parameter		
		Fisika	Kimia	Biologi
< 10	Maks	-1	-2	-3
	Min	-1	-2	-3
	Rerata	-3	-6	-9
≥ 10	Maks	-2	-4	-6
	Min	-2	-4	-6
	Rerata	-6	-12	-18

Sumber : KepMen LH no KEP 115/MENLH/2003
 Catatan * : jumlah parameter yang digunakan untuk menghitung IKA

Berdasarkan skor yang diperoleh dari pengukuran dengan metode Storet, kemudian ditentukan status mutu air (Indeks Kualitas Air) menggunakan sistem nilai dari US-EPA (*Environmental Protection Agency*) dengan mengklasifikasikan mutu air dalam empat kelas seperti pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7. Interpretasi Skor Metode Storet

Kelas	Skor	Status Kualitas air
A	0	Baik sekali/Memenuhi Baku Mutu
B	-1 sampai - 10	Baik/Tercemar ringan
C	-11 sampai - 30	Sedang/Tercemar ringan
D	> - 30	Buruk/Tercemar berat

Sumber: Trihadingrum (1995 dalam Hakim, 2012)

5.4.2 Metode Indeks Pencemaran (*Pollution Index*)

Salah satu metode untuk menentukan indeks kualitas air (IKA) adalah metode indeks pencemaran (PIj). Indeks pencemaran dapat digunakan untuk menilai kualitas badan air, dan kesesuaian peruntukan badan air tersebut, sehingga dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas badan air apabila terjadi penurunan kualitas dikarenakan kehadiran senyawa pencemar. Metode Indeks Pencemaran (IP) digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diijinkan. Indeks Pencemaran ditentukan dari resultante nilai maksimum dan nilai rerata rasio konsentrasi per-paramater terhadap nilai baku mutunya.

Kelebihan dari Metode Indeks Pencemaran adalah dapat menentukan status mutu air yang dipantau hanya dengan satu seri data, sehingga memerlukan biaya dan waktu yang relatif sedikit. Kelemahannya adalah karena data yang dihitung adalah data tunggal, maka sering terjadi data tunggal tersebut tidak cukup mewakili kondisi kualitas perairan yang sesungguhnya (Yusrizal, 2015).

Indeks Kualitas Air (IKA) dihitung dari hasil konversi *Pollution Index* (PI). Perhitungan IKA dilakukan berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Perhitungan ini didasarkan pada nilai hasil sampel terhadap baku mutu tiap parameter. Berdasarkan nilai PIj, dapat dikategorikan tingkat pencemarannya, seperti pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8. Kategori Tingkat Indeks Pencemaran Air

Nilai PIj	Status	Keterangan
$0,0 < PIj < 1,0$	<i>Good</i>	Memenuhi Baku Mutu
$1,0 < PIj < 5,0$	<i>Slightly polluted</i>	Cemar Ringan
$5,0 < PIj < 10,0$	<i>Fairly polluted</i>	Cemar Sedang
$PIj > 10$	<i>Heavily polluted</i>	Cemar Berat

Status mutu air digambarkan dengan Indeks Pencemaran yang digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan. Berdasarkan Indeks Pencemaran maka pengambil keputusan dapat menilai kualitas air dan melakukan tindakan untuk memperbaiki kualitas air. Hasil pengukuran air kemudian dibandingkan dengan PP. RI. Nomor 82/2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air untuk baku mutu air sesuai kelasnya. Misalnya Air kelas III adalah air yang peruntukannya untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, mengairi tanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut. Indeks Pencemaran Air (PIj) dihitung dengan konsentrasi parameter kualitas air yang tercantum dalam baku mutu peruntukan air kelas yang sesuai. Indeks pencemaran air dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$IP_j = \sqrt{\frac{(C_i / L_{ij})_M^2 + (C_i / L_{ij})_R^2}{2}}$$

Keterangan:

IP_j = Indeks Pencemaran bagi peruntukan (j) yang merupakan fungsi dari C_i / L_{ij}

C_i = konsentrasi parameter kualitas air i

L_{ij} = konsentrasi parameter kualitas air i yang tercantum dalam baku mutu peruntukan air j.

M = maksimum

R = rerata

Untuk satu target peruntukan air, semua nilai relatif pencemaran tidak diberi bobot. Pembobotan dilakukan saat menghitung Indeks Pencemaran dari n jumlah peruntukan air (misal kelompok *human/direct contact* untuk air minum dan lainnya, kelompok *remote contact* untuk navigasi dan lainnya, kelompok *indirect contact* untuk pertanian dan lainnya).

$$IP = \sum_{j=1}^{j=n} w_j IP_j \quad \text{and} \quad \sum_{j=1}^{j=n} w_j = 1$$

Keterangan:

W_j = bobot masing-masing jenis penggunaan air.

Prosedur penggunaannya:

1. Jika L_{ij} adalah konsentrasi parameter kualitas air dalam Baku Mutu suatu Peruntukan Air (j),
2. dan C_i adalah konsentrasi parameter kualitas air (i) dari hasil analisis sampel air pada suatu lokasi badan air,
3. maka PI_j adalah Indeks Pencemaran bagi peruntukan (j) yang merupakan fungsi dari C_i/L_{ij} .
4. Harga PI_j ini dapat ditentukan dengan cara:
 - a. Jika nilai konsentrasi parameter yang menurun menyatakan tingkat pencemaran meningkat, misal DO. Tentukan nilai teoritik atau nilai maksimum C_{im} (misal untuk DO, maka C_{im} merupakan nilai DO jenuh). Dalam kasus ini nilai C_i/L_{ij} hasil pengukuran digantikan oleh nilai C_i/L_{ij} hasil perhitungan, yaitu :

$$(C/L_{ij})_{baru} = \frac{C_{im} - C_i \text{ (hasil pengukuran)}}{C_{im} - L_{ij}}$$

b. Jika nilai baku L_{ij} memiliki rentang

- untuk $C_i \leq L_{ij}$ rata-rata

$$(C/L_{ij})_{\text{baru}} = \frac{[C_i - (L_{ij})_{\text{rata-rata}}]}{\{(L_{ij})_{\text{minimum}} - (L_{ij})_{\text{rata-rata}}\}}$$

- untuk $C_i > L_{ij}$ rata-rata

$$(C/L_{ij})_{\text{baru}} = \frac{[C_i - (L_{ij})_{\text{rata-rata}}]}{\{(L_{ij})_{\text{maksimum}} - (L_{ij})_{\text{rata-rata}}\}}$$

c. Keraguan timbul jika dua nilai (C_i/L_{ij}) berdekatan dengan nilai acuan 1,0, misal $C_1/L_{1j} = 0,9$ dan $C_2/L_{2j} = 1,1$ atau perbedaan yang sangat besar, misal $C_3/L_{3j} = 5,0$ dan $C_4/L_{4j} = 10,0$.

Dalam contoh ini tingkat pencemaran badan air sulit ditentukan. Maka cara untuk mengatasi kesulitan ini adalah:

- a. Penggunaan nilai $(C_i/L_{ij})_{\text{hasil pengukuran}}$ kalau nilai ini lebih kecil dari 1,0.
 - b. Penggunaan nilai $(C_i/L_{ij})_{\text{baru}}$ jika nilai $(C_i/L_{ij})_{\text{hasil pengukuran}}$ lebih besar dari 1,0. $(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = 1,0 + P \cdot \log (C_i/L_{ij})_{\text{hasil pengukuran}}$
 P: konstanta dan nilainya ditentukan dengan bebas dan disesuaikan dengan hasil pengamatan lingkungan dan atau persyaratan yang dikehendaki untuk suatu peruntukan (biasanya digunakan nilai 5).
5. Tentukan nilai rata-rata dan nilai maksimum dari keseluruhan C_i/L_{ij} ($(C_i/L_{ij})_R$ dan $(C_i/L_{ij})_M$).
 6. Tentukan harga PI_j

$$PI_j = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})_M^2 + (C_i/L_{ij})_R^2}{2}}$$

Baku mutu yang digunakan dalam analisis indeks pencemaran adalah klasifikasi baku mutu air kelas I berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001. Nilai $PI_j > 1$ artinya bahwa air tersebut tidak memenuhi kriteria kualitas air kelas I.

Langkah-langkah penghitungan Indeks Kualitas Air (IKA) adalah sebagai berikut:

1. Setiap titik pantau pada lokasi dan waktu pemantauan kualitas air dianggap sebagai satu sampel;
2. Indeks pencemaran (PI_j) dihitung pada setiap sampel untuk parameter TSS, DO, BOD, COD, Total Phosphat, *Fecal Coli* dan Total Coliform. Hasil penghitungan indeks pencemaran setiap parameter dibandingkan dengan status mutu air (Kepmen LH No. 115/2003),
3. Penentuan Indeks Kualitas Air (IKA) berdasarkan nilai dari Indeks pencemaran (PI_j) sebagai berikut:
 - a. IKA = 100, untuk $PI_j \leq 1$,
 - b. IKA = 80, untuk $PI_j > 1$ dan $PI_j \leq 4,67$ (4,67 adalah nilai PI_j dari baku mutu kelas II terhadap kelas I),
 - c. IKA = 60, untuk $PI_j > 4,67$ dan $PI_j \leq 6,32$ (6,32 adalah nilai PI_j dari baku mutu kelas III terhadap kelas I),
 - d. IKA = 40, untuk $PI_j > 6,32$ dan $PI_j \leq 6,88$ (6,88 adalah nilai PI_j dari baku mutu kelas IV terhadap kelas I),
 - e. IKA = 20, untuk $PI_j > 6,88$.
4. Nilai IKA dihitung dari rata-rata IKA semua sampel air seperti Tabel 5.9.

Tabel 5.9. Indeks Kualitas Air (IKA)

IKA	Nilai PI_j	Keterangan
100	$\leq 1,0$	Memenuhi Baku Mutu
80	$> 1,0$ dan $\leq 4,67$	Tercemar Ringan
60	$> 4,67$ dan $\leq 6,32$	Tercemar Sedang
40	$> 6,32$ dan $\leq 6,88$	Tercemar Berat
20	$> 6,88$	Tercemar sangat berat

Sumber: Kepmen LH No.115/2003

5.4.3 Metode Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME WQI) merupakan metode yang disederhanakan untuk memperoleh data kualitas air yang kompleks. Indeks kualitas air ini diformulasikan oleh *British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks*, kemudian dikembangkan oleh *Alberta Environment* (CCME, 2001). Jenis parameter, baku mutu dan jangka waktu yang digunakan pada indeks ini sangat bervariasi tergantung pada isu-isu dan kondisi lokal setiap wilayah. Minimal terdapat empat contoh variabel untuk empat kali digunakan dalam perhitungan indeks ini. Metode ini digunakan untuk mengevaluasi perubahan kualitas air pada lokasi tertentu dari waktu ke waktu dan untuk membandingkan indeks secara keseluruhan antar lokasi menggunakan variabel dan baku mutu yang sama. Metode *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME) menggabungkan 3 unsur:

1. *Scope* atau jumlah parameter kualitas air yang tidak mencapai tujuan kualitas air (F1)
2. *Frequency* yaitu jumlah kejadian target tidak tercapai (F2)
3. *Amplitudo* yaitu sejauh mana target tidak tercapai (F3)

CCME WQI dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

1. **F1 (*Scope*)**; menyatakan persentase variabel-variabel (jumlah parameter kualitas air) yang tidak memenuhi baku mutu, setidaknya untuk satu kali periode waktu (variabel gagal) relatif terhadap jumlah variabel yang diukur:

$$F_1 = \left(\frac{\text{number of failed variables}}{\text{Total number of variables}} \right) \times 100$$

2. **F2 (*Frequency*)**; menyatakan persentase uji setiap parameter yang tidak memenuhi baku mutu (uji gagal). *Frequency* yaitu jumlah kejadian target tidak tercapai (F2):

$$F_2 = \left(\frac{\text{number of failed tests}}{\text{Total number of tests}} \right) \times 100$$

3. **F3 (Amplitude)**; menyatakan jumlah nilai uji gagal tidak memenuhi baku mutu. F3 dihitung dengan tiga langkah yaitu: Amplitude yaitu sejauh mana target tidak tercapai (F3):
- Jumlah waktu dimana konsentrasi masing-masing lebih besar atau kurang dari baku mutu minimum. Ini disebut “excursion”. Jika nilai uji lebih dari baku mutu:

$$F_3 = \left(\frac{nse}{0.01nse + 0.01} \right)$$

nse = *normalised sum of the excursions*
nse = *normalised sum of the excursions* =

$$excursions_i = \left(\frac{Failed\ Test\ Value_i}{Objective_j} \right) - 1$$

atau

$$excursions_i = \left(\frac{Objectives_j}{Failed\ Test\ Value_i} \right) - 1$$

➔

$$CWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

CWQI = indeks kualitas air
Indeks CWQI menghasilkan angka antara 0 (terjelek) hingga 100 (terbaik), terbagi dalam 5 kelas :

Tabel 5.10. Indeks Kualitas Air (IKA) CWQI

IKA CWQI	Keterangan
95-100	Excellent
80-94	Good
65-79	Fair
45-64	Marginal
0-44	Poor

5.4.4 Indeks Kualitas Air - National Sanitation Foundation (IKA-NSF)

Status kualitas air menggunakan metode IKA-NSF dengan menentukan nilai sub indek (Li) setiap parameter berdasarkan hasil parameter terukur sampel air di lapangan (xi) menggunakan kurva fungsional sub indeks (IKA-NSF) yang

dilakukan secara otomatis bisa dilakukan di situs online *Water Quality Index Calculator*. Nilai sub indeks (Li) setiap parameter yang didapatkan kemudian dikalikan dengan bobot masing masing parameter (wi). Berikut rumus Indeks Kualitas Air metode NSF-IKA dan deskripsi kualitas air

IKA-NSF = $\sum ni = wi li$

Dimana : Li = Sub Indeks Parameter

Wi = Beban Parameter

Tabel 5.11. Indeks Kualitas Air IKA-SNF

Kualitas Air	Nilai	Warna
Sangat buruk	0 - 25	Merah
Buruk	26 - 50	Jingga
Sedang	51 - 70	Kuning
Baik	71 - 90	Hijau
Sangat baik	91 - 100	Biru

Sumber: Ott (1978).

5.4.5 Metode Indeks Biotik

Metode ini biasa digunakan untuk monitoring dampak pencemaran (Mukono, 2006) terhadap keberadaan biota akuatik. Komposisi dan biodiversitas biota perairan dapat digunakan untuk menentukan kualitas perairan (Giasi, 205), karena biota akuatik terpengaruh langsung oleh kondisi ekologis habitatnya, sehingga biodiversitas dan atau densitasnya merupakan indikator status perairan (Abrori dan Purnomo, 2021).

Indeks biotik merupakan nilai dalam bentuk *scoring* berdasarkan tingkat toleransi organisme terhadap pencemaran. Indeks ini memperhitungkan keanekaragaman organisme dengan mempertimbangkan kelompok-kelompok tertentu dalam kaitannya dengan tingkat pencemaran (Grahari, 2015). Berbagai jenis indeks biotik telah dibuat untuk analisis berbagai jenis indikator biologi yang digunakan secara luas. Indeks biotik memberi nilai kepada suatu spesies berdasarkan tahap toleransi spesies tersebut terhadap pencemaran, dimana jumlah nilai yang diperoleh memberi indeks pencemaran perairan tersebut (Grahari, 2015). Metode Indeks Biotik untuk menentukan kualitas air menggunakan makroinvertebrata

meliputi a). *Extended Trent Biotik Index* (ETBI), b). *Belgian Biological Index* (BBI), c). *Biological Monitoring Working Party* (BMWP), d). *Biological Monitoring Working Party Average Score Per Taxon* (BMWP ASPT), dan d). *Index Diversitas*.

1. *Indeks Biotik*

Indeks Biotik adalah ekspresi numerik yang mengklasifikasikan kualitas air berdasarkan kepekaan ekologis taksa dari keberadaan dan keanekaragaman taksa tersebut. Banyak indeks biotik ditentukan berdasarkan makroinvertebrata, karena mereka menempati peran sentral dalam ekosistem perairan dengan berpartisipasi dalam dekomposisi bahan organik dan mendasari sumber makanan utama bagi biota air lainnya yaitu invertebrata, ikan, dan beberapa burung (Zeybek dkk, 2014). Menurut Lestari (2011) metode *Belgian Biological Index* (BBI) mempunyai skala kualitas air dari tercemar kecil sampai sangat tercemar, sehingga metode ini banyak digunakan. Menurut Duran (2006) metode BMWP ASPT, BMWP dan BBI mudah digunakan dan sudah digunakan secara luas pada masa lalu. Metode *Biological Monitoring Working Party Average Score Per Taxon* (BMWP ASPT) hampir sama dengan metode BMWP. Perbedaanya metode BMWP ASPT skor yang didapat dirata-rata. Skor untuk metode BMWP ASPT menggunakan *Modified BMWP Score System* seperti pada Tabel 5.12. Hal ini digunakan untuk membandingkan skor sebelum dan sesudah dimodifikasi. Nilai indeks pada BMWP ASPT antara 1- 10.

Tabel 5.12. Index Biotik Metode BMWP ASPT

Famili	Score
Siphonuridae, Heptageniidae, Leptophlebiidae Ephemerellidae	
Potamanthidae, Ephemeridae	
Taeniopterygidae, Leuctridae, Capniidae, Perlodidae, Perlidae	
Choloroperlidae	10
Aphelocheiridae	
Phryganidae,Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae	

Famili	Score
Leptoceridae, Goeridae, Lepidostomatidae, Brachycentridae	
Sericostomatidae	
Astacidae	
Lestidae, Agriidae, Gomphidae, Cordulegateridae, Aeshnidae	8
Corduliidae, Libellulidae	
Psychomyiidae, Philopotamidae	
Caenidae	
Nemouridae	7
Rhyacophilidae, Polycentropodidae, Limnephilidae	
Neritidae, Viviparidae, Ancyliidae	
Hydroptilidae	
Unionidae	6
Corophiidae, Gammaridae	
Platycenemididae, Coenagriidae	
Mesoveliidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae	
Notonectidae, Pleidae, Corixidae	
Haliplidae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Gyrinidae	
Hydrophilidae, Clambidae, Helodidae, Drypidae, Eliminthidae	5
Chrysomelidae, Curculionidae	
Hydropsychidae	
Tipulidae, Simuliidae	
Planariidae, Dendrocoelidae	
Baetidae	
Sialidae	4
Piscicolidae	
Valvatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae	
Planorbidae	
Sphaeriidae	3
Glossiphoniidae, Hirudidae, Eropobdellidae	
Asellidae	
Chironomidae	2

Famili	Score
Oligochaeta (semua Kelas)	1

Sumber: Lestari, (2011)

2. Famili Biotik Indeks (FBI)

Indeks Biotik *Hilsenhoff* adalah indeks biotik yang digunakan sebagai parameter kualitas air. Indeks ini dapat menunjukkan kualitas air karena mempertimbangkan nilai tingkat toleransi dari setiap jenis makrozoobentos. Rumus Indeks Biotik *Hilsenhoff* sebagai berikut (Hilsenhoff, 1982):

$$HBI = \sum ni \times ti / 2$$

Keterangan:

HBI = Indeks Biotik *Hilsenhoff*

ni = Jumlah individu makrozoobentos jenis i

ti = Nilai toleransi jenis i

N = Jumlah total individu makrozoobentos

Hasil perhitungan indeks tersebut kemudian diinterpretasikan kualitas air dan tingkat pencemarannya seperti pada Tabel 8.13.

Analisis data kualitas air menggunakan biomonitoring dapat dilakukan dengan metode *Family Biotic Index* (FBI). FBI adalah penghitungan indeks kualitas air yang dikembangkan oleh Hilsenhoff (1988) berdasarkan nilai toleransi (ketahanan terhadap perubahan lingkungan) dari setiap famili (Rahayu *et al.*, 2009). Metode indeks biotik makroinvertebrata benthik dengan *Modified Family Biotic Index* (FBI) telah banyak digunakan untuk mengindikasikan tingkat pencemaran organik di perairan (Arisandi, 2012), dimana tiap famili makroinvertebrata memiliki skor tertentu yang menunjukkan tingkat toleransi terhadap pencemar organik. Menurut Hilsenhoff (1988) status kualitas air diperoleh dari perhitungan nilai indeks biotik berdasarkan Family Biotic Index (FBI) dengan rumus:

$$FBI = \sum ni \times ti / \sum N$$

Keterangan:

FBI = *Family Biotic Index* (nilai indeks makroinvertebrata benthik)

ni = jumlah individu famili ke-i

ti = tingkat toleransi famili ke-i
N=jumlah total famili ke i.

Interpretasi nilai biotik indeks untuk menentukan kualitas air mengikuti ketentuan pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13. Klasifikasi kualitas air berdasarkan *Famili Biotik Indeks*

Famili Biotk Indeks (FBI)	Kualitas Air	Tingkat Pencemaran
0,00 - 3,75	Sangat baik	Tidak terpolusi bahan organik
3,76 - 4,25	Baik sekali	Sedikit terpolusi bahan organik
4,26 - 5,00	Baik	Terpolusi beberapa bahan organik
5,01 - 5,75	Cukup	Terpolusi agak banyak
5,76 - 6,50	Agak buruk	Terpolusi banyak
6,51 - 7,25	Buruk	Terpolusi sangat banyak
7,26 - 10,00	Buruk sekali	Terpolusi berat bahan organik

Sumber: Hilsenhoff (1988)

Metode FBI mampu menilai tingkat pencemaran air, biota yang sangat peka akan hilang karena tidak mampu bertahan hidup. Sebaliknya biota yang sangat toleran, akan tetap dapat hidup pada kualitas air yang buruk (Mardiani, 2012). Setiap stasiun memiliki makroinvertebrata yang dominan, sehingga terlihat biota yang toleran terhadap kualitas air yang buruk atau tidak.

3. *Biological Monitoring Working Party Average Score Per Taxon* (BMWP ASPT).

Metode *Biological Monitoring Working Party Average Score Per Taxon* (BMWP ASPT) adalah ekspresi numerik yang mengklasifikasikan kualitas air berdasarkan kepekaan 3 taksa ekologis dari keberadaan dan keanekaragaman taksa tersebut (Zeybek *et al.*, 2014). Metode ini cepat, murah, dan peralatan yang digunakan lebih sederhana dan mudah dalam pengambilan sampel. Masyarakat umum dapat berpartisipasi untuk memantau kebersihan saluran air dan lingkungan di sekitar saluran air.

Sehingga penentuan kualitas air menggunakan makroinvertebrata dapat dilakukan sebagai solusi permasalahan kualitas air bersih.

Untuk melengkapi data biomonitoring dapat ditambahkan data parameter fisik kimia lingkungan, meliputi suhu, kekeruhan, pH, DO, BOD, amonium, dan fosfat. Analisis fisik-kimia dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Lisec Score* dan *Dutch Score*. Metode *Lisec Score* menggunakan parameter DO saturasi, BOD, amonium, dan fosfat sedangkan metode *Dutch Score* menggunakan parameter DO, BOD, dan amonium. Metode *Lisec Score* merupakan perkembangan (modifikasi) dari metode *Dutch Score*. Analisis kualitas air dengan metode *Lisec Score* menghubungkan parameter kimiawi dan biologis untuk penentuan kualitas air. Perbedaan metode *Lisec Score* dengan *Dutch Score* terletak pada penambahan parameter yang digunakan dalam analisis data yaitu kadar fosfat dalam air. Klasifikasi data untuk metode *Lisec Score* seperti pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14. Klasifikasi Data untuk Metode *Lisec Score*

Skor	% DO Saturasi	BOD (mg/l)	Amonium (mg/l)	Fosfat (mg/l)
1	91-110	<3	<0,5	<0,05
2	71-90; 111- 120	3,1-6,0	0,5-1,0	0,05-0,25
3	51-70; 121- 130	6,1-9,0	1,1-2,0	0,25-0,90
4	31-50; 131- 150	9,1-15,0	2,1-5,0	0,90-1,5
5	<30, >50	>15,0	>5,0	>1,5

Sumber: Trihadiningrum (1995, dalam Hakim, 2012)

Hasil yang didapatkan dari klasifikasi data kemudian dihitung dengan persamaan:

$$\text{Indeks LISEC} = \sum q_i$$

Dimana: q_i = nilai untuk variabel ke- i

Hasil perhitungan indeks LISEC kemudian di interpretasikan sesuai Tabel 5.15.

Tabel 5.15. Interpretasi LISEC Score

Kelas	Skor	Kualitas air
I	4 - 6	Sangat baik
II	6 - 10	Baik
III	10 - 14	Sedang
IV	14 - 18	Tercemar
V	18 - 20	Sangat tercemar

Sumber: Trihadingrum (1995 dalam Hakim, 2012)

Metode *Dutch Score* mempunyai prinsip perhitungan yang sama dengan *Lisec Score*. Perbedaannya, pada *Dutch Score* parameter yang digunakan tidak melibatkan fosfat. Klasifikasi data untuk metode *Dutch Score* seperti pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16. Klasifikasi Data untuk Metode *Dutch Score*

Skor	% DO Saturasi	BOD (mg/l)	Amonium (mg/l)
1	91-110	<3	<0,5
2	71-90; 111- 120	3,1-6,0	0,5-1,0
3	51-70; 121- 130	6,1-9,0	1,1-2,0
4	31-50; 131- 150	9,1-15,0	2,1-5,0
5	<30, >50	>15,0	>5,0

Sumber: Trihadingrum (1995 dalam Hakim, 2012)

Hasil yang didapatkan dari klasifikasi data kemudian dihitung dengan persamaan:

$$\text{Indeks } \textit{Dutch Score} = \sum q_i$$

Dimana: q_i = nilai untuk variabel ke-i

Hasil perhitungan indeks *Dutch Score* kemudian diinterpretasikan seperti pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Interpretasi *Dutch Score*

Kelas	Skor	Kualitas air
I	3,0 - 4,5	Sangat baik
II	4,6 - 7,5	Baik
III	7,6 - 10,5	Sedang
IV	10,6 - 13,5	Tercemar
V	13,6 - 15,0	Sangat tercemar

Sumber: Trihadingrum (1995 dalam Hakim, 2012)

DAFTAR PUSTAKA

- Abrori, A., Tarzan Purnomo. 2021. Biomonitoring Kualitas Perairan Pesisir Pantai Lembung, Pamekasan Menggunakan Bioindikator Fitoplankton. *LenteraBio*, 2021; Volume 10, Nomor 1: 106-114 <https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/index>.
- Arnop, O., Budiyanto, B., & Saefuddin, R. 2019. Kajian evaluasi Mutu Sungai Nelas dengan Metode Storet dan Indeks Pencemaran. *Naturalis: Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan*, 8(1), 15–24.
- Arrazy, Syafran. 2020. Bahan Ajar Analisis Kualitas Lingkungan. Fakultas Kesehatan Masyarakat UIN Medan. Sumatera Utara.
- Diersing, Nancy. 2009. "Water Quality: Frequently Asked Questions." Florida Brooks National Marine Sanctuary, Key West, FL.
- Duran, M. 2006. Monitoring Water Quality Using Benthic Macroinvertebrates and Physicochemical Parameters of Behzat Stream in Turkey. *Polish J. Environ. Study* Volume 15 No 5 Halaman 709-717.
- Franson, Mary Ann. 1975. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 14th ed. Washington, DC: American Public Health Association, American Water Works Association & Water Pollution Control Federation. ISBN 0-87553-078-8
- Gerking, R.E. 1978. *Aquatic productivity*. Pergamon Press, London.
- Giasi, Cici. 2015. Identifikasi Mikroalga Epilitik sebagai Biomonitoring Lingkungan Perairan Sungai Bone. Jurusan Biologi Universitas Negeri Gorontalo.
- Goldman, Charles R. & Horne, Alexander J. 1983. *Limnology*. McGraw-Hill ISBN 0-07-023651-8 pp.87-88
- Grahari, ET. 2015. Kesesuaian antara Pemeriksaan Kualitas Air Metode Kimiawi dengan Metode Extended Trent Biotik Index terhadap Air Sungai Kali Wonokromo Surabaya. Tugas Akhir.
- Hakim, Ayu RW., Yulinah T. 2012. Studi Kualitas Air Sungai Brantas Berdasarkan Makroinvertebrata. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. Vol 1(1):1-6
- Hilsenhoff W.L. 1988. An Improved Biotic Index of Organic Stream

- Pollution, The Great lakes. *Entomologist*. 20: 31-39pp.
- Hilsenhoff W.L. 1982. Use of Arthropods to Evaluate Water Quality of Streams. *Wisconsin Natural Resources Technical Bulletin*. 100:1-15.
- H.J. Mukono. 2006. Prinsip Dasar kesehatan Lingkungan. Surabaya: Airlangga University Press.
- Huboyo H.S, Nugraha W.D, Indah R.R. 2009. Analisis Penentuan Mutu Air Beberapa Sungai di Jawa Tengah dengan Metode STORET dan Indeks Pencemaran. *Jurnal PRESIPITASI* 6(2):1-8
- Johnson, D.L., S.H. Ambrose, T.J. Bassett, M.L. Bowen, D.E. Crummey, J.S. Isaacson, D.N. Johnson, P. Lamb, M. Saul, and A.E. Winter-Nelson. 1997. "Meanings of environmental terms." *Journal of Environmental Quality*. 26: 581-589. DOI:10.2134/jeq1997.00472425002600030002x
- Kadim M.K, Pasingi N, Paramata A.R. 2017. Kajian Kualitas Perairan Teluk Gorontalo dengan Menggunakan Metode STORET. *Depik Jurnal Ilmu-ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan* 6(3):235-241. DOI:10.13170/depik.6.3.8442
- KLH [Kementerian Lingkungan Hidup]. 2004. *Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004, tanggal 8 April 2004 tentang baku mutu air laut*. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta, 11 hlm.
- Lestari, Iin Winda. 2011. Bioassessment Kualitas Air Sungai Rejoso di Kecamatan Rejoso Pasuruan dengan Makroinvertebrata. Tugas Akhir.
- Marganingrum D, Roosmin D, Pradono, Sabar, A. 2013. Diferensiasi Sumber Pencemar Sungai Menggunakan Pendekatan Metode Indeks Pencemar (IP) (Studi Kasus: Hulu DAS Citarum). *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan* 23(1): 37-48
- Mariantika, Lina., Catur R. 2014. Perubahan Struktur Komunitas Makroinvertebrata Bentos Akibat Aktivitas Manusia di Sungai Mata Air Sumber Awan Kecamatan Singosari Kabupaten Malang. *Jurnal Biontropika*. Vol 2(5).
- Ott, Wayne R. 1978. *Environmental Indices Theory and Practice*. Ann Arbor Science Inc: Michigan

- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air.
- Peraturan Pemerintahan Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. 2002. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 28 Tahun 2009 tentang Daya Tampung Beban Pencemaran Air Danau dan/atau Waduk.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standard Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum.
- Prigi Arisandi. 2012. Studi Kualitas Air Sungai Bone dengan Metode Biomonitori (Online), *Prosiding Seminar Nasional Kimia*. Unesa 2012, (<http://fmipa.unesa.ac.id/kimia/wpcontent/uploads/2013/11/298-309-Prigi-Arisandi.pdf>, Diunduh 31 Januari 2014).
- Ratnaningsih, Dewi, Retno Puji Lestari, dan Ernawita Nazir. 2021. Penanganan Parameter yang Hilang dalam Aplikasi Penilaian Kualitas Air IKA-INA. *ECOLAB*. Vol. 15 No.2, November 2021: 101-109.
- Saraswati SP, Sunyoto, Kironoto BA, Hadisusanto S. 2014. Kajian Bentuk dan Sensitivitas Rumus Indeks PI, STORET, CCME untuk Penentuan Status Mutu Perairan Sungai Tropis di Indonesia. *Jurnal Manusia dan Lingkungan* 21(2):129-142
- Storet, M. 2016. *Indeks Kualitas Air (IKA) Metode IKA di Indonesia Penentuan Status Mutu Air Beberapa Definisi*. 115, 1-16.
- Suriawiria, U. 2005. *Air dalam Kehidupan dan Lingkungan yang Sehat*. Penerbit PT Alumni: Bandung.
- Suripin. 2001. *Pelestarian Sumberdaya Tanah dan Air*. Penerbit Andi. Yogyakarta.

- United States Environmental Protection Agency (EPA). 2006. Washington, DC. *"Water Quality Standards Review and Revision."*
- United States Geological Survey (USGS), Denver, CO .2009. *"Definitions of Quality-Assurance Data."* Prepared by USGS Branch of Quality Systems, Office of Water Quality.
- US-EPA. 2011. Life Cycle of Aquatic Insect. Amerika Serikat
- Wardhana, Lina. 2004. Dampak Pencemaran Lingkungan. Penerbit ANDI: Yogyakarta.
- World Health Organization. 2004. "Consensus of the Meeting: Nutrient minerals in drinking-water and the potential health consequences of long-term consumption of demineralized and remineralized and altered mineral content drinking-waters." *Rolling Revision of the WHO Guidelines for Drinking-Water Quality (draft)*. From November 11–13, 2003 meeting in Rome, Italy at the WHO European Centre for Environment and Health.
- Yusrizal H. 2015. Efektivitas Metode Perhitungan STORET, IP dan CCME WQI dalam Menentukan Status Kualitas Air Way Sekampung Provinsi Lampung. *Tesis*. Universitas Lampung.
- Zeybek, Melek., Hasan, K., Büşra, K., Seda, Ö. 2014. The Use of BMWP and ASPT Indices for Evaluation of Water Quality According to Macroinvertebrates in Değirmendere Stream (Isparta, Turkey). *Jurnal Turk J Zool* Vol 38:603-613

BAB 6

INDEKS KUALITAS KEBISINGAN

Oleh Abdul Hadi Kadarusno

Landasan Penting dalam Pengelolaan Lingkungan dan Kesehatan



Gambar 6.1. Ilustrasi organ pendengaran manusia.

Sumber: <https://shop.tranya.com/blogs/news/tips-to-improve-hearing-and-prevent-hearing-loss>

6.1 Pendahuluan

Kebisingan adalah bunyi yang tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan. Tingkat kebisingan adalah ukuran energi bunyi yang dinyatakan dalam satuan Desibel disingkat dB (KemenLH, 1996).

Pada baku mutu kebisingan kuantitas bising dinyatakan dalam satuan desibel (dB), baik menggunakan pembobot/skala A, B, dan C (dBA, dBB, dan dBC). Besaran dB diperlukan karena range suara yang mampu didengar telinga manusia sangat lebar, yaitu dari 2×10^{-5} Pa sampai sekitar 102 Pa, atau dengan kata lain rangenya

sekitar 10 juta (Zaman, 2012). Skala A digunakan karena merupakan respons yang paling cocok dengan telinga manusia (peka terhadap frekuensi tinggi). Skala B dan C untuk evaluasi kebisingan mesin, dan cocok untuk kebisingan frekuensi rendah.

6.2 Sumber kebisingan

Berdasar asal sumber suara, maka kebisingan dapat dibagi menjadi 3 macam, yaitu (Wardhana, 1995):

1. Kebisingan impulsif, dimana sumber suara datang secara terus-menerus namun terpotong-potong. Sebagai contoh suara palu yang dipukulkan.
2. Kebisingan kontinyu, yaitu sumber suara yang ada terus-menerus dalam jangka waktu yang lama. Contohnya adalah suara mesin yang dihidupkan secara konstan.
3. Kebisingan semi kontinyu, dimana suara yang berasal datang hanya sekejap, hilang, lalu memiliki kemungkinan datang lagi. Contohnya adalah suara kendaraan yang melintas.

Salah satu sumber kebisingan adalah sarang burung walet. Rekaman suara burung walet dimainkan untuk menarik burung walet ke sarang buatan. Tingkat kebisingan dari rekaman ini bisa mencapai 76 desibel (dB), lebih tinggi dari batas normal 65 desibel (Wikipedia, 2024).

Kebisingan adalah suatu fenomena yang umum terjadi dalam kehidupan sehari-hari, baik di perkotaan maupun pedesaan. Dalam upaya menjaga kesehatan dan kenyamanan masyarakat, indeks kualitas kebisingan menjadi instrumen penting dalam mengukur dan mengelola dampak kebisingan. Artikel ini akan membahas secara lengkap mengenai indeks kualitas kebisingan, perannya dalam pengelolaan lingkungan, dan dampaknya terhadap kesehatan manusia.

6.3 Definisi Indeks Kualitas Kebisingan

Indeks kualitas kebisingan (*Noise Quality Index*) adalah parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat kebisingan suatu area atau lingkungan. Indeks ini mencakup berbagai faktor, seperti intensitas suara, frekuensi, dan durasi kebisingan.

Pemahaman mendalam terhadap indeks ini sangat penting untuk mendapatkan gambaran yang akurat mengenai tingkat kebisingan di suatu wilayah.

6.4 Metode Pengukuran Indeks Kualitas Kebisingan

Metode pengukuran kebisingan melibatkan penggunaan alat pengukur suara, seperti dosimeter suara dan sound level meter.

Dosimeter seperti pengukur tingkat suara sound level meter, hanya saja dosimeter menyimpan pengukuran tingkat suara dan mengintegrasikan pengukuran dari waktu ke waktu, memberikan pembacaan paparan kebisingan rata-rata untuk jangka waktu tertentu, misalnya 8 jam kerja sehari (Rahmah, 2023).

Data yang diperoleh dari pengukuran ini kemudian diolah untuk menghasilkan nilai indeks kualitas kebisingan. Pentingnya metode yang akurat dalam pengukuran ini adalah kunci untuk memahami sejauh mana kebisingan dapat memengaruhi lingkungan dan kesehatan manusia.

6.5 Peran Indeks Kualitas Kebisingan dalam Pengelolaan Lingkungan

Indeks kualitas kebisingan berperan penting dalam pengelolaan lingkungan. Informasi yang diberikan oleh indeks ini dapat membantu perencanaan tata ruang, pembangunan infrastruktur, dan kebijakan lingkungan. Dengan mempertimbangkan indeks kualitas kebisingan, dapat diambil langkah-langkah untuk mengurangi dampak negatif kebisingan terhadap lingkungan sekitar.

6.6 Dampak Kebisingan Terhadap Kesehatan Manusia

Kebisingan yang berlebihan dapat memiliki dampak negatif terhadap kesehatan manusia. Indeks kualitas kebisingan memberikan informasi yang diperlukan untuk mengevaluasi risiko kesehatan yang mungkin timbul akibat kebisingan, seperti gangguan pendengaran, masalah kesehatan mental (stres, gangguan tidur), dan

masalah kesehatan lainnya, termasuk dampak kebisingan pada tekanan darah dan risiko penyakit kardiovaskular. Oleh karena itu, pengelolaan kebisingan yang efektif juga berkontribusi pada perlindungan kesehatan masyarakat.



Gambar 6.2. Ilustrasi gangguan kebisingan pada pendengaran
Sumber: <https://helohehat.com/tht/telinga/gendang-telinga-pecah-bisa-sembuh/>

6.7 Baku Tingkat Kebisingan dan Perbandingan Indeks Kualitas Kebisingan di Berbagai Lingkungan

Baku tingkat kebisingan adalah batas maksimal tingkat kebisingan yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan dari usaha atau kegiatan sehingga tidak menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan (KemenLH, 1996).

Berikut ini akan dibahas perbandingan indeks kualitas kebisingan di berbagai lingkungan, termasuk lingkungan perkotaan, pedesaan, dan industri. Perbandingan ini penting untuk memahami

variasi kebisingan dan merancang strategi pengelolaan yang sesuai dengan karakteristik setiap lingkungan.

Tabel 6.1. Baku Tingkat Kebisingan sesuai KepMenLH No. 48 Tahun 1996

Peruntukan Kawasan/ Lingkungan Kegiatan	Tingkat kebisingan DB (A)
a. Peruntukan kawasan	
1. Perumahan dan pemukiman	55
2. Perdagangan dan Jasa	70
3. Perkantoran dan Perdagangan	65
4. Ruang Terbuka Hijau	50
5. Industri	70
6. Pemerintahan dan Fasilitas Umum	60
7. Rekreasi	70
8. Khusus:	
- Bandar udara ^{*)}	
- Stasiun Kereta Api ^{*)}	
- Pelabuhan Laut	70
- Cagar Budaya	60
b. Lingkungan Kegiatan	
1. Rumah Sakit atau sejenisnya	55
2. Sekolah atau sejenisnya	55
3. tempat ibadah atau sejenisnya	55

Keterangan :

^{*)}disesuaikan dengan ketentuan Menteri Perhubungan

Indeks kualitas kebisingan adalah alat yang sangat berharga dalam memahami, mengukur, dan mengelola dampak kebisingan. Melalui pemahaman yang mendalam terhadap indeks ini, dapat diambil langkah-langkah yang efektif dalam menjaga kesehatan dan kenyamanan masyarakat. Oleh karena itu, pemahaman terhadap indeks kualitas kebisingan menjadi landasan penting dalam menyusun buku bahan ajar untuk mata kuliah terkait (*Indeks Kualitas Kebisingan*, 2024).

6.8 Standar dan Regulasi Terkait Indeks Kualitas Kebisingan

Penting untuk memahami standar dan regulasi yang berkaitan dengan indeks kualitas kebisingan. Banyak negara memiliki pedoman tertentu yang menentukan batas maksimal kebisingan yang diperbolehkan di berbagai lingkungan. Menyelidiki standar ini membantu dalam mengevaluasi tingkat kebisingan yang dapat diterima dan memastikan bahwa langkah-langkah pengelolaan yang diambil sesuai dengan peraturan yang berlaku.

6.9 Teknologi dan Inovasi dalam Pengukuran Kebisingan

Perkembangan teknologi memberikan kontribusi signifikan dalam pengukuran kebisingan. Penggunaan sensor pintar, analisis data yang canggih, dan sistem pemantauan *real-time* dapat meningkatkan akurasi pengukuran dan memberikan informasi yang lebih detail. Pembahasan mengenai teknologi-teknologi ini menjadi relevan dalam konteks indeks kualitas kebisingan modern.

6.10 Pengaruh Kebisingan pada Fauna dan Flora

Selain dampak terhadap manusia, kebisingan juga dapat memengaruhi fauna dan flora di suatu wilayah. Peningkatan kebisingan dapat mengganggu perilaku hewan, seperti migrasi dan perkembangbiakan. Oleh karena itu, perlu diperhatikan aspek ekologi dan dampak kebisingan terhadap biodiversitas.

6.11 Pengelolaan Kebisingan di Pusat Kota dan Perkembangan Urbanisasi

Lingkungan perkotaan seringkali menghadapi tantangan lebih besar terkait kebisingan dibandingkan dengan pedesaan. Pengelolaan kebisingan di pusat kota melibatkan koordinasi antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat. Buku bahan ajar dapat menyajikan strategi pengelolaan khusus untuk mengatasi tantangan ini, mencakup perencanaan tata ruang, penggunaan teknologi inovatif, dan partisipasi masyarakat.

6.13 Bagaimana Proses Menghitung Indeks Kualitas Kebisingan?

Penghitungan indeks kualitas kebisingan melibatkan beberapa langkah penting. Metode yang umum digunakan adalah mengukur tingkat kebisingan pada berbagai frekuensi dan durasi.

Berikut adalah langkah-langkah umum dalam menghitung indeks kualitas kebisingan (*Indeks Kualitas Kebisingan*, 2024):

1. Pengukuran Tingkat Kebisingan: Gunakan alat pengukur suara, seperti sound level meter, untuk mengukur tingkat kebisingan di berbagai lokasi dan waktu. Ambil sampel suara pada frekuensi yang berbeda dan catat hasil pengukuran.



Gambar 6.3. Contoh Alat pengukur tingkat suara/ Sound Level Meter.

Sumber:

https://id.wikipedia.org/wiki/Polusi_suara#/media/Berkas:Schallpegelmesser_RS_104.jpg



Gambar 6.4. Contoh Alat pengukur kebisingan/ dosimeter.
Sumber: <https://darmasakti.com/jual/tenmars-st-130-noise-dose-meter-data-logger>

2. Pemberian Bobot pada Frekuensi: Beberapa frekuensi mungkin memiliki dampak yang lebih signifikan terhadap manusia dan lingkungan. Oleh karena itu, pada langkah ini, berikan bobot pada masing-masing frekuensi berdasarkan tingkat dampaknya terhadap kesehatan dan lingkungan.
3. Penyesuaian Durasi: Kebisingan yang berlangsung dalam waktu yang lama mungkin memiliki dampak yang berbeda dibandingkan dengan kebisingan yang bersifat sementara. Oleh karena itu, penyesuaian durasi perlu dilakukan dengan memberikan bobot pada tingkat kebisingan berdasarkan durasinya.

4. Perhitungan Indeks: Gabungkan semua data dan bobot yang telah dihitung untuk menghasilkan nilai akhir indeks kualitas kebisingan. Langkah ini dapat melibatkan perhitungan statistik tertentu, seperti rata-rata tertimbang.

6.14 Indeks Kualitas Kebisingan yang Umum Digunakan

Beberapa indeks kualitas kebisingan umum yang digunakan antara lain (*Indeks Kualitas Kebisingan*, 2024):

1. L Day-Night (Ldn): Mengukur kebisingan selama 24 jam, dengan penyesuaian bobot untuk kebisingan malam hari yang umumnya dianggap lebih mengganggu.
2. L Evening-Night (Leq): Mengukur kebisingan selama periode tertentu pada malam hari, dengan penyesuaian bobot untuk kebisingan pada malam hari.
3. Day-Night Average Sound Level (Ldn): Merupakan rata-rata tertimbang dari tingkat kebisingan selama 24 jam, dengan penyesuaian bobot yang lebih tinggi pada malam hari.

6.15 Metoda Pengukuran, Perhitungan Dan Evaluasi Tingkat Kebisingan Lingkungan (KemenLH, 1996)

6.15.1 Metoda Pengukuran

Pengukuran tingkat kebisingan dapat dilakukan dengan dua cara :

1. Cara Sederhana
Dengan sebuah *Sound Level Meter* biasa diukur tingkat tekanan bunyi dB (A) selama 10 (sepuluh) menit untuk tiap pengukuran. Pembacaan dilakukan setiap 5 (lima) detik.
2. Cara Langsung
Dengan sebuah *Integrating Sound Level Meter* yang mempunyai fasilitas pengukuran L_{TM5} , yaitu L_{eq} dengan waktu ukur setiap 5 detik, dilakukan pengukuran selama 10 (sepuluh) menit.

Waktu pengukuran dilakukan selama aktifitas 24 jam (L_{SM}) dengan cara pada siang hari tingkat aktifitas yang paling tinggi selama 16 jam (L_S) pada selang waktu 06.00 – 22.00 dan aktifitas malam hari selama 8 jam (L_M) pada selang 22.00 – 06.00.

Setiap pengukuran harus dapat mewakili selang waktu tertentu dengan menetapkan paling sedikit 4 waktu pengukuran pada siang hari dan pada malam hari paling sedikit 3 waktu pengukuran, sebagai contoh :

- L1 diambil pada jam 07.00 mewakili jam 06.00 – 09.00
- L2 diambil pada jam 10.00 mewakili jam 09.00 – 11.00
- L3 diambil pada jam 15.00 mewakili jam 14.00 – 17.00
- L4 diambil pada jam 20.00 mewakili jam 17.00 – 22.00
- L5 diambil pada jam 23.00 mewakili jam 22.00 – 24.00
- L6 diambil pada jam 01.00 mewakili jam 24.00 – 03.00
- L7 diambil pada jam 04.00 mewakili jam 03.00 – 06.00

Keterangan :

- L_{eq} = Equivalent Continuous Noise Level atau Tingkat Kebisingan Sinambung Setara ialah nilai tingkat kebisingan dari kebisingan yang berubah ubah (fluktuatif) selama waktu tertentu, yang setara dengan tingkat kebisingan dari kebisingan ajeg (steady) pada selang waktu yang sama. Satuannya adalah dB (A).
- $L_{TMS} = L_{eq}$ dengan waktu sampling tiap 5 detik $L_S = L_{eq}$ selama siang hari
- $L_M = L_{eq}$ selama malam hari
- $L_{SM} = L_{eq}$ selama siang dan malam hari

6.15.2 Metoda Perhitungan

(dari contoh)

L_S dihitung sebagai berikut :

$$L_S = 10 \log 1/16 \{T1.10^{0.1.L1} + \dots + T4.10^{0.1.L4}\} \text{ dB (A)}$$

L_M dihitung sebagai berikut :

$$L_M = 10 \log 1/8 \{T5.10^{0.1.L5} + \dots + T7.10^{0.1.L7}\} \text{ dB (A)}$$

Untuk mengetahui apakah kebisingan sudah melampaui tingkat kebisingan maka perlu dicari nilai L_{SM} dari pengukuran lapangan.

L_{SM} dihitung dengan rumus :

$$L_{SM} = 10 \log 1/24 \{16.10^{0.1L} S + \dots + 8.10^{0.1(L+5)} M\} \text{ dB (A)}$$

6.15.3 Metoda Evaluasi

Nilai L_{SM} yang dihitung dibandingkan dengan nilai baku tingkat kebisingan yang ditetapkan dengan toleransi + 3 dB (A)

6.16 Menghitung Indeks Kualitas Kebisingan Dan Contoh Perhitungannya (*Indeks Kualitas Kebisingan, 2024*)

Indeks Kualitas Kebisingan umumnya dihitung dengan merangkum tingkat kebisingan dalam periode waktu tertentu dengan mempertimbangkan faktor bobot untuk berbagai frekuensi dan durasi.

Salah satu rumus yang umum digunakan adalah L_q :

$$L_q = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N 10^{(L_i/10)} \right)$$

Di mana:

- L_q adalah indeks kualitas kebisingan.
- T adalah durasi pengukuran dalam detik.
- N adalah jumlah interval waktu pengukuran.
- L_i adalah tingkat kebisingan pada interval waktu ke- i dalam desibel.

Di mana:

- L_q adalah indeks kualitas kebisingan.
- T adalah durasi pengukuran dalam detik.
- N adalah jumlah interval waktu pengukuran.
- L_i adalah tingkat kebisingan pada interval waktu ke- i dalam desibel.

6.16.1 Contoh Perhitungan Indeks Kualitas Kebisingan:

Misalkan kita memiliki data pengukuran tingkat kebisingan di suatu wilayah atau proyek konstruksi yang dilakukan dalam interval waktu 10 detik sebagai berikut: $L_1=70\text{dB}$, $L_2=75\text{dB}$, $L_3=68\text{dB}$, $L_4=72\text{dB}$, $L_5=78\text{dB}$

Dan durasi pengukuran $T=50$ detik.

Contoh Perhitungan:

Misalkan kita memiliki data pengukuran tingkat kebisingan dalam interval waktu 10 detik sebagai berikut:

$$L_1 = 70 \text{ dB}, L_2 = 75 \text{ dB}, L_3 = 68 \text{ dB}, L_4 = 72 \text{ dB}, L_5 = 78 \text{ dB}$$

Dan durasi pengukuran $T = 50$ detik.

$$L_q = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{50} \cdot (10^{(70/10)} + 10^{(75/10)} + 10^{(68/10)} + 10^{(72/10)} + 10^{(78/10)}) \right)$$

$$L_q \approx 73.8 \text{ dB}$$

Jadi, indeks kualitas kebisingan (L_q) untuk pengukuran tersebut adalah sekitar 73.8 dB. Nilai ini memberikan gambaran umum tentang tingkat kebisingan selama periode waktu tertentu dan dapat digunakan untuk membandingkan atau menilai dampak kebisingan tersebut pada lingkungan atau kesehatan manusia.

6.16.2 Interpretasi Hasil Indeks Kualitas Kebisingan

Setelah indeks kualitas kebisingan dihitung, hasilnya perlu diinterpretasikan. Nilai-nilai tertentu mungkin memiliki konsekuensi tertentu sesuai dengan standar dan regulasi yang berlaku. Interpretasi hasil indeks juga memungkinkan pengambilan keputusan terkait tindakan yang perlu diambil untuk mengelola dan mengurangi kebisingan.

Penutup: Implikasi Praktis dan Tantangan dalam Penghitungan Indeks Kualitas Kebisingan

Pembahasan ini dapat diakhiri dengan merinci implikasi praktis dari hasil indeks kualitas kebisingan serta tantangan-tantangan yang mungkin dihadapi dalam implementasi dan penghitungan yang akurat. Ini memberikan kita landasan praktis yang diperlukan untuk berkontribusi dalam pengelolaan kebisingan di masa depan.

6.17 Peran Teknologi Sensor dan IoT dalam Pengukuran Kebisingan

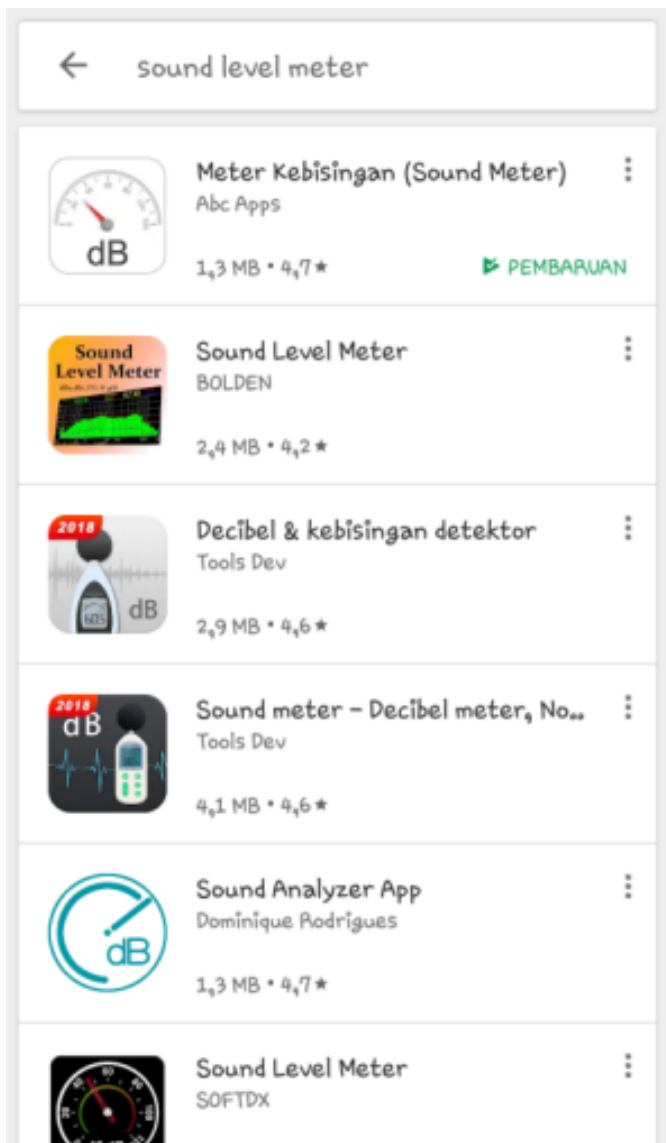
Seiring berkembangnya teknologi, penggunaan sensor dan Internet of Things (IoT) semakin umum dalam pengukuran kebisingan. Penghitungan indeks kualitas kebisingan dapat diperkuat dengan penggunaan model matematis dan perangkat lunak khusus. Model ini dapat membantu memprediksi dampak kebisingan di masa depan, mengidentifikasi pola-pola tertentu, dan merencanakan langkah-langkah pengelolaan kebisingan yang lebih efektif. Sensor kebisingan yang terhubung secara digital memungkinkan pengumpulan data yang real-time dan akurat (*Indeks Kualitas Kebisingan*, 2024).

6.17.1 Aplikasi Sound Level Meter

Pada handphone berbasis android, terdapat beberapa aplikasi Sound Level Meter yang bisa digunakan sebagai salah satu alternatif survei tingkat kebisingan. Teknologi ini memperbaiki ketelitian pengukuran dan memberikan pemahaman yang lebih mendalam terhadap pola kebisingan.

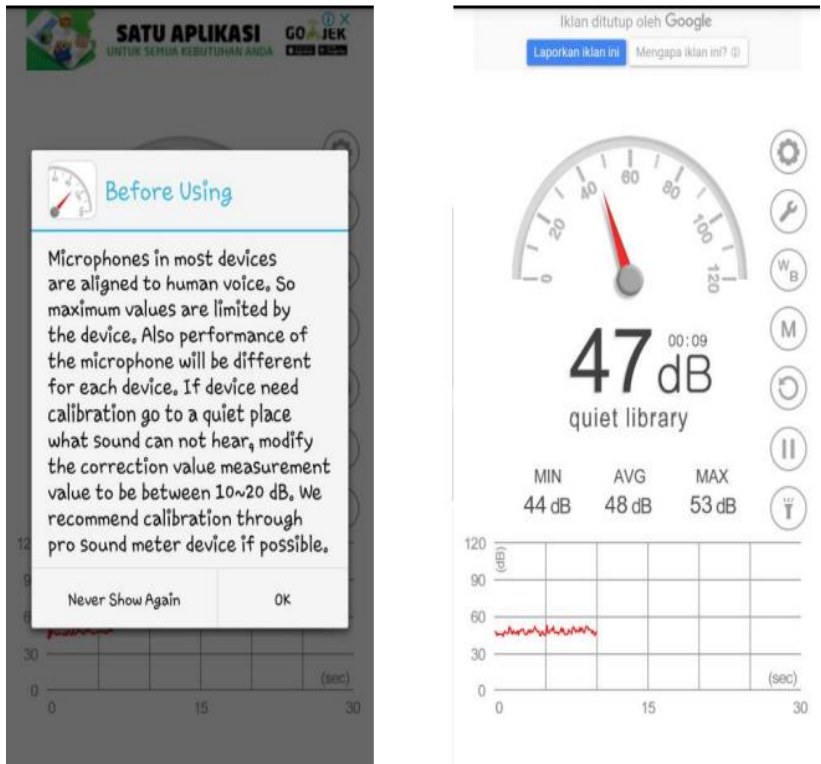
Berikut adalah langkah-langkah penggunaan aplikasi Sound Level Meter pada handphone android (*Aplikasi Sound Level Meter*, 2023):

1. Buka Playstore lalu masukkan kata “Sound Level Meter” pada halaman pencarian.



Gambar 6.5. Pencarian Sound Level Meter pada Playstore.

2. Setelah aplikasi terinstal pada handphone, buka aplikasi Sound Level Meter kemudian akan muncul tampilan berikut:



Gambar 6.6. Tampilan pada Aplikasi Sound Level Meter.

3. Ketuk simbol pengaturan.



Gambar 6.7. Simbol Pengaturan pada Sound Level Meter.

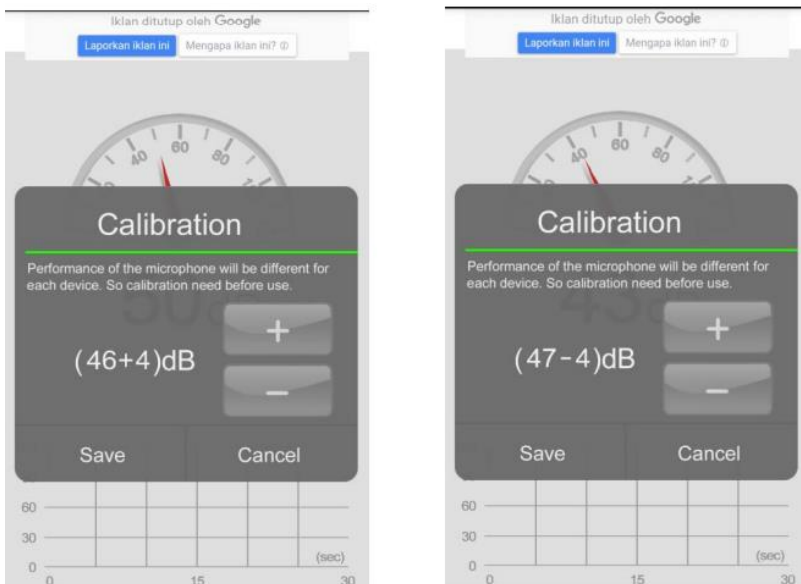
4. Pada pengaturan akan muncul tampilan untuk mengkalibrasi aplikasi tersebut.



Gambar 6.8. Tampilan Kalibrasi pada Aplikasi Sound Level Meter.

5. Kalibrasi bisa dilakukan dengan menambah atau mengurangi desibel yang tertera pada layar. Penambahan atau pengurangan desibel pada aplikasi tergantung pada alat Sound Level Meter yang digunakan. Caranya adalah alat

Sound Level Meter diletakkan bersebelahan dengan handphone. Ketika angka yang ditunjukkan pada layar handphone berbeda dengan yang ditunjukkan pada alat Sound Level Meter, maka kalibrasi dilakukan dengan menambah atau mengurangi desibel pada aplikasi hingga menunjukkan angka desibel yang sama pada alat Sound Level Meter.



Gambar 6.9. Kalibrasi Aplikasi Sound Level Meter.

6. Setelah kalibrasi selesai dilakukan, ketuk save untuk menyimpan.
7. Aplikasi siap digunakan untuk survei tingkat kebisingan.

6.18 Laboratorium Pengukuran Kebisingan (PUSARPEDAL, 2023)

Di Indonesia telah terdapat unit laboratorium khusus/resmi yang bertanggung jawab dalam pelaksanaan pengkajian dan pengukuran tingkat kebisingan, terutama yang berhubungan dengan masalah lingkungan. Laboratorium itu bernama Laboratorium

Kebisingan dan Getaran PUSARPEDAL milik Kementerian Lingkungan Hidup RI yang berlokasi di Kawasan PUSPIPTEK Gedung 201 PUSARPEDAL, Jl. Raya Puspitek Serpong-Tangerang, 15310, Banten, Telp. (021) 7563114 (hunting), 756 0983, Fax: (021) 756 3115. Email: pusarpedal@menlh.go.id

Laboratorium ini telah dilengkapi dan didukung oleh sarana, prasarana yang cukup memadai, serta personil yang sudah terlatih baik di dalam maupun di luar negeri. Laboratorium Kebisingan dan Getaran PUSARPEDAL ini sudah terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) untuk 11 parameter. Adapun kompetensi / kemampuan Laboratorium Kebisingan dan Getaran yang telah terakreditasi KAN adalah sebagai berikut (PUSARPEDAL, 2023):

1. Pengukuran tingkat kebisingan lingkungan.
2. Kebisingan tenaga kerja.
3. Penentuan *sound power* dari sumber suara.
4. Penentuan *sound power* dari sumber suara metode *sound intensity*.
5. Pengukuran emisi kebisingan kendaraan bermotor statis.
6. Pengukuran tingkat getaran lingkungan.
7. *Noise Criteria*/ akustik ruangan.
8. *Noise mapping*/ *noise level contour*.
9. Pengukuran emisi kebisingan kendaraan bermotor dinamis roda 2.
10. Pengukuran emisi kebisingan kendaraan bermotor dinamis roda 4 atau lebih.
11. Penentuan *Sound Reduction* dengan teknik scanning *Sound Intensity*.

6.19 Hubungan antara Indeks Kualitas Kebisingan dengan Kualitas Hidup

Penting untuk membahas hubungan antara indeks kualitas kebisingan dengan kualitas hidup masyarakat. Dengan merinci dampak kebisingan pada kesehatan fisik dan mental, buku bahan ajar dapat mengilustrasikan bagaimana indeks kualitas kebisingan bukan hanya sekadar angka, tetapi juga representasi dari kondisi lingkungan yang memengaruhi kesejahteraan masyarakat.

6.20 Peran Pemerintah dan Keterlibatan

Masyarakat dalam Pengelolaan Kebisingan

Peran pemerintah dalam pembuatan kebijakan dan keterlibatan masyarakat dalam upaya pengelolaan kebisingan sangatlah penting. Adanya regulasi yang jelas dan penerapan yang ketat dapat memastikan bahwa indeks kualitas kebisingan mencerminkan standar keselamatan dan kesehatan yang diperlukan. Pengetahuan dan kesadaran masyarakat tentang dampak kebisingan, serta partisipasi mereka dalam pengukuran dan pengelolaan kebisingan, dapat meningkatkan efektivitas program-program pengurangan kebisingan. Oleh karena itu, buku bahan ajar dapat mencakup modul yang memberikan panduan kepada kita tentang pentingnya membangun kesadaran individu maupun publik dan tanggung jawabnya terhadap lingkungan serta bagaimana melibatkan masyarakat dalam upaya pengelolaan kebisingan. Kita yang telah memahami indeks kualitas kebisingan dapat berkontribusi dalam merancang solusi berkelanjutan untuk mengatasi masalah kebisingan, menciptakan lingkungan yang lebih sehat dan nyaman untuk semua.

6.21 Penelitian dan Inovasi Terbaru dalam

Pengelolaan Kebisingan

Terdapat banyak penelitian dan inovasi terbaru dalam pengelolaan kebisingan. Ini termasuk pengembangan teknologi baru, metode pengukuran yang lebih canggih, dan pendekatan inovatif dalam mitigasi dampak kebisingan.

6.22 Kesimpulan Akhir: Membawa Pengetahuan ke Tindakan

Melalui pemahaman yang mendalam terhadap penghitungan indeks kualitas kebisingan dan berbagai aspek terkait, seperti teknologi, peraturan, dan partisipasi masyarakat, kita dapat membawa pengetahuan tsb ke dunia nyata. Dengan mengenali peran kita dalam pengelolaan kebisingan, kita dapat menjadi agen perubahan yang berdampak positif pada ekosistem lingkungan dan kesehatan manusia. Pemahaman yang komprehensif dan terperinci

akan membekali kita dengan keterampilan dan pengetahuan yang diperlukan untuk berkontribusi mengatasi tantangan kebisingan di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aplikasi Sound Level Meter*. 2023. Available at: <https://e-journal.uaaj.ac.id/16235/4/TS153903.pdf> (Accessed: 1 January 2024).
- Indeks Kualitas Kebisingan*. 2024. Available at: <https://chat.openai.com/c/2f1b25cc-cc29-401b-8a1d-ef650d20962b> (Accessed: 10 January 2024).
- KemenLH. 1996. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 48 Tahun 1996 Tentang Baku Tingkat Kebisingan*. Available at: [https://ppkl.menlhk.go.id/website/filebox/723/190930165749Kepmen LH 48 Tahun 1996.pdf](https://ppkl.menlhk.go.id/website/filebox/723/190930165749Kepmen%20LH%2048%20Tahun%201996.pdf) (Accessed: 1 January 2024).
- PUSARPEDAL, K. 2023. *Laboratium Kebisingan dan Getaran*. Available at: http://perpustakaan.menlhk.go.id/pustaka/images/docs/LABORATIUM_kebisingan_&_getaran.pdf (Accessed: 1 January 2024).
- Rahmah, M.D. 2023. *Pengukuran kebisingan*. Jakarta.
- Wardhana, W.A. 1995. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- Wikipedia. 2024. *Polusi suara*. Available at: https://id.wikipedia.org/wiki/Polusi_suara (Accessed: 1 January 2024).
- Zaman, B.S. 2012. *Buku Ajar Pengelolaan Kualitas Lingkungan*. 1st edn, UPT UNDIP Press Semarang. 1st edn. Semarang: UPT Undip Press Semarang. Available at: http://eprints.undip.ac.id/38806/1/Pengelolaan_Kualitas_Lingkungan.pdf.

BAB 7

INDEKS KUALITAS BIOLOGI (FLORA DAN FAUNA)

Oleh Daawia

7.1 Pendahuluan

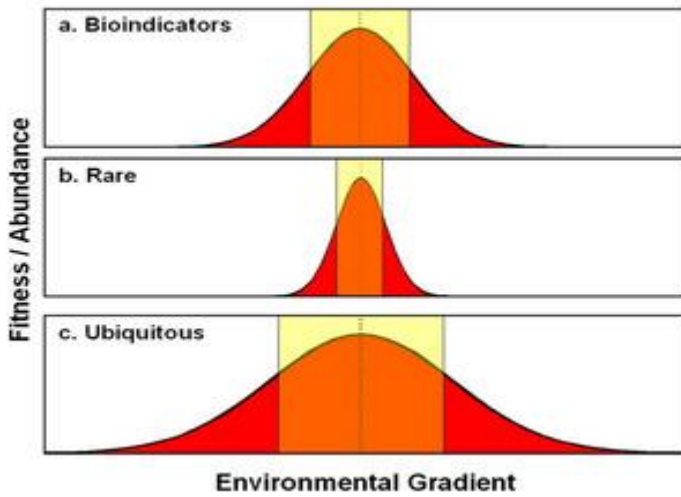
Kegiatan manusia (*anthropogenic activities*) telah mengubah ekosistem secara global yang mempengaruhi komposisi komunitas dan bahkan dapat menyebabkan punahnya keanekaragaman hayati. Aktivitas manusia mengubah habitat alami dan dengan demikian mempengaruhi keanekaragaman hayati (Dirzo, et.al., 2014). Ekosistem air tawar termasuk yang paling terkena dampak dan menghadapi penurunan keanekaragaman hayati yang drastis akibat tekanan antropogenik (Dudgeon, 2019). Untuk menghitung perubahan keanekaragaman hayati dan struktur komunitas, monitoring spesies sangat penting (Brauman, at.al. 2020). Selama beberapa dekade, para ahli ekologi telah membangun pemahaman tentang daya tanggap kelompok taksonomi tertentu terhadap tekanan berdasarkan kumpulan kerusakan komunitas dan perubahan di dalamnya (Karr, 1991). Pengetahuan ekologis tentang spesies memungkinkan interpretasi pola keanekaragaman hayati untuk menilai tekanan lingkungan dan dampaknya terhadap ekosistem. Biomonitoring rutin sering kali mengklasifikasikan keadaan ekosistem melalui indeks biotik atau indeks biologi yang secara ringkas merangkum informasi kumpulan spesies, memungkinkan perbandingan dengan keadaan alami atau sistem referensi (Borja, et.al., 2012; Pawlowski, et.al., 2020). Indeks Biologi tersebut didasarkan pada biologi indikator.

7.2 Apa itu Indikator Biologi atau Bioindikator?

Indikator Biologi adalah kelompok makhluk hidup yang kehadirannya atau perilakunya di alam berkorelasi dengan kondisi lingkungan. Sebagai contoh yang dapat digunakan sebagai indikator

biologi pada suatu badan perairan adalah phitoplanton, zooplankton, bentos dan nekton. Indikator Biologi adalah makhluk hidup seperti mikroba, hewan, tumbuhan yang dapat digunakan sebagai alat yang potensial untuk memonitor perubahan positif maupun negatif pada kesehatan lingkungan dan kemungkinan dampaknya terhadap kesehatan manusia (Azzazy, 2020). Indikator Biologi atau bioindikator digunakan untuk memonitor kesehatan dan stabilitas lingkungan, habitat, komunitas atau ekosistem yang dimanifestasikan melalui keanekaragaman hayati yang diamati pada area tertentu (Parmar et al., 2016). Bioindikator menyediakan informasi status habitat atau ekosistem yang berhubungan kehadiran, ketidakhadiran, aktivitas, morfologi, fisiologi atau perilaku (Gerhardt, 2002; Pulleman et al., 2012). Menurut Holt & Miller (2010) istilah “bioindikator” digunakan sebagai istilah kolektif yang mengacu pada semua istilah yang berhubungan dengan deteksi respons biotik atau respon organisme terhadap tekanan lingkungan. Dalam hal ini terdapat tiga fungsi utama bioindicator yaitu pertama memantau perubahan fisik dan kimia lingkungan, kedua memantau proses ekologi dan ketiga memantau keanekaragaman hayati.

Karena dampak kerusakan lingkungan makin meningkat yang berpengaruh pada kesehatan manusia, maka mendorong pengembangan dan penerapan bioindikator, mengingat makin berkurang dan hilangnya jasa ekosistem (misalnya udara bersih, air minum, penyerbuk tanaman). Kumpulan spesies toleran terhadap kondisi kimia, fisik, dan biologis dalam kisaran terbatas atau tertentu, yang dapat kita gunakan untuk mengevaluasi kualitas kesehatan lingkungan.



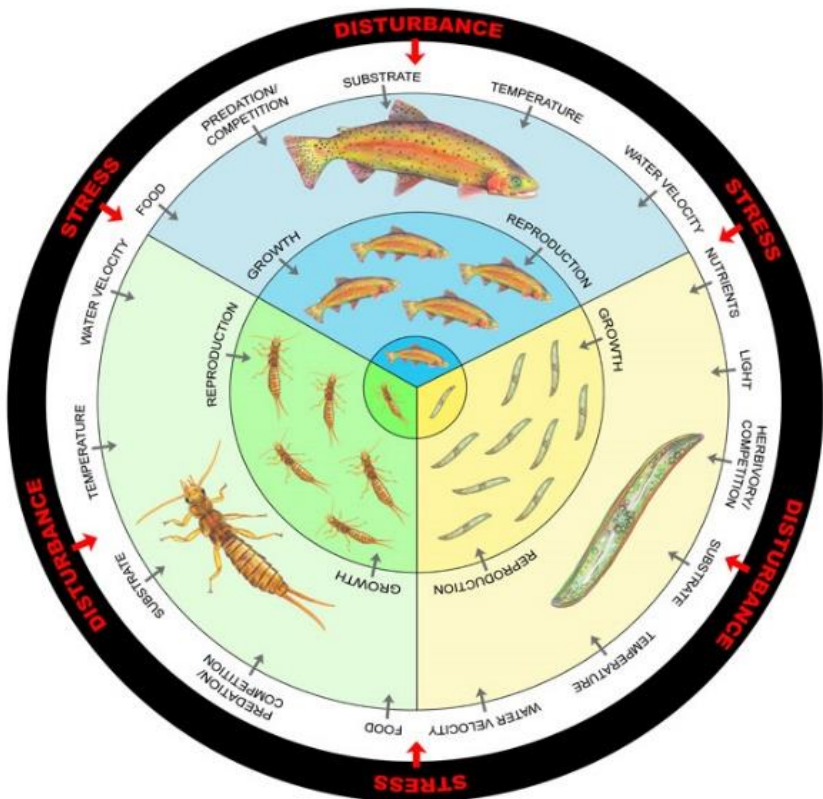
Gambar 7.1. Perbandingan toleransi lingkungan oleh a. spesies bioindicator, b. spesies langka (rare spesies) dan c. spesies umum (ubiquitous) (Holt & Miller, 2010).

Penggunaan bioindicator untuk menilai kerusakan atau kesehatan ekosistem atau lingkungan telah dimulai sejak tahun 1960-an. Seiring perkembangan waktu organisme yang dimasukan sebagai bioindikator semakin banyak yang meliputi takson utama untuk menilai tidak hanya lingkungan perairan tetapi juga daratan.

Menurut Holt & Miller (2010) bioindikator tidak hanya meliputi organisme tertentu tetapi juga meliputi spesies, komunitas dan proses biologis. Bioindikator ini bermanfaat untuk memberikan penilaian kualitas lingkungan dan perubahan dalam ekosistem seiring waktu. Perubahan ekosistem atau lingkungan dapat terjadi secara alami seperti kekeringan tetapi lebih sering disebabkan oleh tekanan lingkungan akibat kegiatan manusia (antropogenik) sehingga stress antropogenik menjadi fokus utama dalam penelitian bioindikator. Contoh tekanan antropogenik seperti polusi udara, air, tanah atau kerusakan habitat akibat konversi lahan hutan menjadi lahan pertanian, pemukiman atau peruntukan lainnya.

Namun menurut Holt & Miller (2010), tidak semua makhluk hidup, komunitas atau proses biologis dapat berfungsi sebagai bioindikator yang berhasil mengingat faktor-faktor seperti suhu, cahaya, persaingan dlam komunitas bervariasi antar lingkungan.

Populasi makhluk hidup mengembangkan strategi untuk memaksimalkan pertumbuhan dan reproduksi dalam kondisi dan rentang faktor lingkungan tertentu. Pada kondisi lingkungan yang tidak optimal mungkin berdampak negatif secara fisiologi maupun perilaku terhadap suatu atau sekelompok individu yang ditunjukkan dengan berkurangnya kebugaran (fitness) secara keseluruhan seperti yang ditunjukkan pada (Gbr.1). Berkurangnya kebugaran dan daya reproduksi dapat mengganggu dinamika populasi dan mengubah struktur dan komposisi komunitas secara keseluruhan (Gbr.2). Spesies bioindikator secara efektif dapat memberikan gambaran kondisi lingkungan karena toleransinya yang moderat terhadap perubahan variabilitas lingkungan seperti yang ditunjukkan pada gambar (Gbr.1). Sebaliknya, spesies langka (rare species) biasanya jumlahnya terbatas dan jarang ditemukan memiliki toleransi yang sempit dan terlalu sensitif terhadap perubahan lingkungan, sehingga tidak dapat mencerminkan kondisi lingkungan atau respons biotik secara umum. Demikian pula dengan spesies umum (ubiquitous species) yang penyebarannya umum dan gampang ditemukan memiliki toleransi yang sangat luas sehingga kurang sensitif jika terjadi perubahan lingkungan. Namun penggunaan bioindikator tidak hanya meliputi satu spesies dengan toleransi lingkungan yang terbatas namun seluruh komunitas dapat digunakan yang mencakup berbagai toleransi lingkungan, dapat berfungsi sebagai bioindikator dan mewakili berbagai sumber data untuk menilai kondisi lingkungan dalam pendekatan “indeks biotik” atau “multimetri”. Sebagai contoh komunitas kupu-kupu yang terdiri dari berbagai spesies dapat digunakan untuk menilai kondisi suatu habitat dengan menghitung indeks keragaman spesiesnya. Komunitas capung yang hidup di dekat badan-badan perairan seperti sungai atau danau indeks keragamannya dapat digunakan untuk menilai kualitas lingkungan perairan.



Gambar 7.2. Diagram level hirarki organisme pada ekosistem yang berespon terhadap gangguan aktivitas antropogenik (Holt & Miller, 2010).

Pada Gbr. 7.2. Lingkaran putih variabel lingkungan seperti temperatur, arus air (*velocity*), cahaya, nutrisi, kompetisi herbivora, substrat, kompetisi predasi merupakan faktor-faktor yang dapat berubah secara langsung jika terjadi gangguan atau tekanan (stress). Perubahan-perubahan ini selanjutnya dapat mempengaruhi organisme pada tingkat individu, populasi, maupun komunitas secara keseluruhan. Lingkaran berwarna paling luar menggambarkan organisme individu seperti ikan trout, *Pteronarcys salmonfly*, *Phaedoactylum diatom*. Lingkaran berwarna pada bagian tengah melambangkan kondisi populasi ketiga organisme tersebut. Sedangkan lingkaran berwarna paling dalam mengilustrasikan

bagaimana komunitas tempat ketiga spesies hidup berdampingan. Tekanan dan gangguan juga stres dapat berpengaruh positif atau negatif terhadap sumber daya energi seperti makanan dan cahaya, interaksi biotik seperti kompetisi herbivora dan kompetisi predasi, dan faktor fisik seperti kecepatan air, substrat atau lingkungan kimia seperti nutrisi. Perubahan lingkungan akibat tekanan lingkungan dan stress dapat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan reproduksi suatu organisme, sehingga berpengaruh terhadap ukuran dan produktivitas populasi serta interaksi dengan spesies lain dalam komunitas.

Selain itu, proses biologis dalam diri individu dapat berperan sebagai bioindikator. Misalnya, ikan trout yang menghuni aliran air dingin pada bagian Barat Amerika Serikat. Kebanyakan individu ikan trout memiliki toleransi termal pada suhu $20^{\circ}\text{--}25^{\circ}\text{C}$; dengan demikian, sensitivitas suhu ikan trout tersebut dapat digunakan sebagai bioindikator suhu air.

Kegiatan manusia seperti penebangan pohon-pohon dan pembakaran hutan adalah merupakan contoh gangguan yang disebabkan oleh aktifitas antropogenik yang dapat menyebabkan peningkatan suhu air pada aliran sungai dan dapat dideteksi oleh ikan trout pada berbagai skala biologis (Gbr. 2). Respons secara langsung dari hewan seperti ikan trout terhadap peningkatan suhu lingkungan akibat tekanan antropogenik dapat terjadi pada tingkat sel. Secara khusus, sintesis protein kejutan panas (hsp) meningkat untuk melindungi fungsi penting seluler dari tekanan suhu. Peneliti dapat mengukur tingkat hsp untuk mengetahui tekanan termal pada ikan trout dan dapat mengetahui bagaimana lingkungan telah berubah. Jika stres termal atau peningkatan suhu terus berlanjut dapat terjadi perubahan fisiologis pada level individu dan dapat terjadi perubahan perilaku dan selanjutnya mengakibatkan penurunan pertumbuhan dan perkembangan. Pada kejadian yang ekstrim, peningkatan suhu yang besar dan kontinyu dapat menyebabkan penurunan jumlah populasi dan bahkan dapat menimbulkan kepunahan lokal.

7.3 Mengapa Bioindikator Lebih Baik Dibandingkan Metode Konvensional?

Secara konvensional para ilmuwan melakukan pengujian parameter kimia (polutan) maupun parameter fisik seperti temperatur, cahaya, salinitas, nutrisi untuk menilai dampak perubahan yang disebabkan oleh tekanan atau gangguan lingkungan. Namun sering dengan perkembangan para ilmuwan menggunakan bioindikator dengan menggunakan organisme tertentu untuk menilai dampak gangguan lingkungan atau polutan.

Penggunaan bioindikator berbeda dengan pengukuran kualitas lingkungan secara konvensional atau tradisional yang memiliki berbagai keuntungan. Pertama bioindikator dapat memberikan informasi masa lalu, saat ini dan masa depan sesuai dengan masa hidup suatu organisme dalam sistem tertentu. Sebaliknya pengukuran konvensional yang berdasarkan parameter kimia dan fisika hanya menggambarkan kondisi saat pengambilan sampel. Selain itu kontaminan dapat terjadi pada konsentrasi yang sangat rendah yang mungkin tidak dapat terdeteksi pada saat pengukuran sampel tetapi berpengaruh pada organisme.

Kedua mengukur parameter kimia dan fisik lingkungan memerlukan teknologi dan analisis yang rumit dengan biaya yang mahal apalagi untuk mendeteksi untuk mendeteksi konsentrasi polutan yang rendah. Setelah teridentifikasi, para ilmuwan harus mampu menghubungkan dan memprediksi potensi bahaya biologis dengan sejumlah kecil kontaminan terhadap biota pada suatu ekosistem, padahal kaitan tersebut sebagian besar masih belum diketahui. Sedangkan menggunakan bioindicator relative lebih mudah dan murah dan kisaran toleransi bioindikator dapat memberikan gambaran tingkat dan konsentrasi polutan yang bermakna dan berpengaruh secara biologis, tidak peduli seberapa kecil konsentrasi polutan.

Keuntungan lain dari penggunaan bioindikator adalah kemampuannya untuk menunjukkan efek biotik tidak langsung dari suatu polutan ditengah keterbatasan pengukuran parameter kimiaawi dan fisik tidak dapat dilakukan akibat keterbatasan dana dan teknologi. Disamping itu pengukuran parameter fisik maupun kimia tidak secara akurat mencerminkan dampak suatu polutan terhadap

mahluk hidup. Juga penurunan keanekaragaman spesies atau bagaimana pertumbuhan dan reproduksi spesies lain mungkin menurun akibat eksklusi kompetitif sehingga penggunaan bioindikator sangat diperlukan .

Efek kontaminan tidak langsung sangat sulit diperoleh dengan hanya bergantung pada pengukuran parameter kimia atau fisik terutama jika dihubungkan dengan kasus bioakumulasi. Sebagai contoh logam maupun kontaminan DDT, terakumulasi dalam tubuh organisme dan menyebabkan konsentrasi logam dan DDT meningkat melalui jarring-jaring makanan. Semakin meningkat letak tingkat trofik suatu organisme maka semakin tinggi pula konsentrasi polutan di dalam tubuhnya misalnya kita bias bandingkan konsentrasi akumulasi polutan pada herbivora, karnivora, omnivora dan top predator. Oleh karena itu, tingkat kontaminan pada tingkat trofik kurang terwakili dan kurang akurat dengan hanya menggunakan pengukuran parameter fisik atau kimia.

Mengingat banyaknya zat polutan dan faktor yang harus dipantau pada lingkungan, para ilmuwan mengerti bahwa biota yang hidup pada suatu ekosistem adalah alat prediksi terbaik mengenai bagaimana ekosistem merespons terhadap stres atau gangguan lingkungan. Meskipun pemanfaatan respon seluruh spesies atau komunitas dalam ekosistem juga dapat memberikan permasalahan dapat muncul khususnya pada habitat tertentu sehingga sangat perlu menggunakan bioindikator. Sebagai contoh pada hutan hujan tropis memiliki sekitar 300 spesies pohon per hektar dan menghitung respons semua spesies dan meneliti respon masing-masing spesies terhadap suatu gangguan lingkungan atau polutan jelas tidak realistis. Selain itu, respon terhadap gangguan atau stress menjadi tidak jelas karena dapat dikaburkan oleh banyaknya respons spesies yang berbeda misalnya beberapa spesies dapat meningkat populasinya sementara spesies lainnya menurun populasinya. Sehingga untuk mengatasi masalah tersebut gangguan, para ilmuwan hanya berkonsentrasi pada satu set biota atau spesies tunggal yang merupakan indikator biologi. Pendekatan dengan menggunakan biologi indikator yang dipersempit menjadikan pemantauan lebih relevan secara biologis dan hemat hemat biaya.

Selain itu, masalah umum dalam pengukuran kimia dan fisika adalah bahwa pengukuran tersebut menyederhanakan respons rumit yang melekat pada habitat yang kaya akan spesies ini. Bioindikator bergantung pada seluk-beluk ekosistem yang rumit dan menggunakan respons yang representatif atau gabungan untuk menyampaikan gambaran dinamis tentang kondisi lingkungan.

7.4 Karakteristik Bioindikator yang Ideal

Mengingat banyaknya spesies yaitu sekitar 1,7 juta spesies yang saat ini terdokumentasi dan terdiskripsi di planet Bumi, bagaimana kita memilih satu saja sebagai bioindikator? Tidak ada satu spesies yang dapat mewakili dan mampu menunjukkan respon secara memadai setiap jenis gangguan atau tekanan lingkungan. Para ahli ekologi telah menentukan menetapkan serangkaian kriteria yang harus dimiliki oleh suatu spesies atau kelompok taxon tertentu agar dapat dianggap sebagai bioindikator yang ideal seperti yang ditunjukkan pada tabel 7.1. (Holt & Miller, 2010).

Tabel 7.1. Karakteristik bioindikator yang baik

Karakteristik Umum Spesies Indikator	Karakteristik Spesifik Spesies Indikator
Kemampuan Biondikator yang baik	1) Memberikan respon yang terukur (sensitif terhadap gangguan atau stres namun tidak mengalami kematian, juga mampu mengakumulasi polutan langsung dari lingkungannya). 2) Respon mencerminkan respon seluruh populasi/komunitas/ekosistem. 3) Merespon secara proporsional sejalan dengan tingkat kontaminasi atau degradasi
Melimpah dan Umum	1) Kepadatan populasi lokal yang memadai sehingga spesies langka tidak dapat dijadikan

Karakteristik Umum Spesies Indikator	Karakteristik Spesifik Spesies Indikator
	sebagai bioindicator karena kepadatannya tidak memadai) 2) Relatif stabil meskipun terdapat variabilitas iklim 3) Umum, termasuk distribusi dalam wilayah pertanyaan
Telah dipelajari atau diteliti dengan baik	1) Ekologi dan sejarah kehidupan dipahami dengan baik 2) Secara taksonomi terdokumentasi dengan baik dan stabil 3) Gampang dan murah untuk dilakukan survei
Penting secara ekonomi/komersial	1) Spesies sudah dipanen untuk tujuan lain 2) Masyarakat memiliki ketertarikan atau kesadaran terhadap spesies tersebut

7.5 Contoh Spesies Indikator

Sesuai dengan karakter spesies bioindikator pada tabel 1. Maka para ilmuan sudah menetapkan dan menggunakan spesies-spesies indikator yang dapat digunakan untuk menilai perubahan jangka panjang dalam kesehatan lingkungan dengan mudah, hemat dan efisien. Mempelajari spesies indikator yang sama di setiap ekosistem membantu peneliti membandingkan data dengan lebih mudah untuk menemukan perubahan kecil pada faktor-faktor lingkungan seperti suhu dan kerusakan habitat atau karena terjadinya polusi. Berikut ini adalah 10 contoh spesies indikator menurut Rhode, 2022 :

1. Lumut kerak (Lichen)

Lumut kerak (Lichen) merupakan gabungan dari jamur dan alga yang hidup bersama (simbiosis mutualisme) yang saling menguntungkan. Jamur menyediakan nutrisi dan sebagai tempat hidup alga sebaliknya alga mampu

berfotosintesis dan menghasilkan gula untuk mendukung kehidupan jamur.

Lichen digunakan sebagai bioindikator pencemaran udara karena kepekaannya terhadap polusi udara. Kematian lichen yang sangat sensitif terhadap polusi udara seperti konsentrasi nitrogen yang berlebihan pada atmosfer atau sebaliknya peningkatan jumlah spesies lichen pada daerah tertentu dapat dijadikan peringatan dini kualitas udara yang menurun atau memburuk.



Gambar 7.3. Lumut Hati (Licken) (Rhode, 2022)

2. Burung Hantu Tutul (*Strix occidentalis*)

Pada tahun 1990 burung Hantu tutul terdaftar sebagai spesies terancam di Amerika Serikat. Spesies ini terancam punah akibat tekanan lingkunganyang merusak habitatnya seperti penebangan pohon, pembangunan tempat rekreasi dan juga serangan penyakit. Burung Hantu Tutul tidak membangun sarangnya sendiri tetapi sangat bergantung pada keberadaan hutan-hutan tua. Mereka menggunakan rongga pada pohon-pohon tua atau menggunakan pucuk pohon yang patah untuk bersarang.

Tekanan dari penebangan, pembangunan, rekreasi, dan serangan penyakit telah membuat burung hantu tutul tidak memiliki tempat bersarang. BurungHantu tutul dianggap sebagai bioindikator karena penurunan populasinya berhubungan dengan semakin menurunnya

populasi dan kualitas hutan kayu keras di wilayah yang merupakan habiatatnya. Pada tahun 1999, San Francisco Bay Area Network mulai memonitor burung Hantu Tutul sebagai cara untuk memperkirakan kesehatan ekologis habitat sarang mereka dan spesies ini dianggap sebagai spesies indikator.



Gambar 7.4. Burung Hantu Tutul (Rhode, 2022)

3. Lalat Capung (*Mayfly*)

Lalat capung dewasa hidupnya singkat dan terbang disekitar badan air seperti sungai atau danau. Masa pradewasa (nimfe) hidup di dasar sungai. Lalat capung digunakan sebagai bioindikator untuk memantau kualitas air karena eksistensinya dan keberagaman spesiesnya menjadi standar kualitas perairan.

Lalat Capung merupakan mata rantai penting penyusun jaring-jaring makanan (*food web*) pada ekosistem air tawar. Lalat Capung merupan sumber makanan bagi invertebrate lain, ikan, burung dan lain sebagainya. Lalat Capung sangat rentan terhadap kerusakan lingkungan dan sangat sensitive terhadap polusi air sehingga tepat untuk menjadi bioindikator. Sebagian besar spesies lalat capung hidup pada habitat dengan permukaan dasar yang lebih keras sehingga pencemaran dan pengendapan sedimen pada dasar sungai atau danau menjadi salah satu penyebab penurunan populasi lalat capung. Kehadiran lalat capung pada suatu ekosistem perairan berarti pertanda airnya belum terpolusi.



Gambar 7.5. Lalat Capung (Mayfly) (Rhode, 2022)

4. Salmon

Ikan salmon terdapat di Samudra Atlantik yaitu satu spesies yaitu *Salmon salar*, sementara di Samudra Pasifika da beberapa spesies antara lain *Oncorhynchus garbusca*, *O. keta*, *O. nerka*, *O. kisutch*, *O. tshawytscha* dan *O. rhodurus*. Betina ikan Salmon bertelur dan menetasakan telurnya di air tawar kemudian mereka bergerak menuju laut setelah bertelur dan kembali ke air tawar untuk bertelur pada musim bertelur berikutnya. Jika mereka tidak dapat bergerak bebas antara air tawar dan dan air laut mereka tidak dapat bertahan hidup dan akan mati serta populasinya terancam.

Tekanan antropogenik telah menyebabkan kerusakan habitat ikan salmon sehingga populasinya terus menurun secara signifikan diseluruh dunia. Para peneliti di Pacific Northwest mengaitkan kematian populasi salmon coho dengan polusi air hujan dari daerah perkotaan di sekitar habitat pemijahan ikan salmon. Perubahan populasi salmon dapat digunakan untuk menunjukkan penurunan habitat dan kualitas air, serta adanya penyakit sehingga salmon menjadi salah satu indikator spesies kualitas perairan .



Gambar 7.6. Salmon(Rhode, 2022)

5. Mars Periwinkles (Periwinkle Rawa)

Periwinkle rawa adalah siput hidup pada rawa asin mereka memakan alga yang tumbuh pada rumput disekitar rawa asin. Siput tersebut hidup mengikuti pasang surut rawa asin, turun mencari makan saat air surut dan kembali memanjat batang rumput saat permukaan air naik. Periwinkle rawa sangat sensitif terhadap gangguan lingkungan seperti polusi dan sering digunakan sebagai spesies indikator untuk menilai kualitas i kesehatan ekosistem rawa.

Para peneliti di sepanjang Gulf Coast Amerika Serikat menggunakan periwinkle rawa untuk menunjukkan bagaimana pengaruh minyak dari tumpahan minyak mempengaruhi garis pantai lahan basah pesisir dan memperkirakan bahwa penurunan jumlah siput tersebut kemungkinan besar akan mempengaruhi fungsi ekosistem penting lainnya ekosistem rawa tersebut. Siput ini juga mengonsumsi rumput rawa cordgrass, yang sangat penting bagi ekosistem rawa. Jika populasi predator periwinkle rawa menurun, hal ini dapat berdampak negatif terhadap kesehatan rumput rawa seiring dengan meningkatnya jumlah penggembalaan mereka.



Gambar 7.7. Periwinkle Rawa(Rhode, 2022)

6. Berang-Berang (River Otter)

Berang-berang sungai menduduki predator puncak pada jaring-jaring makanan pada ekosistem perairan. Racun yang mencemari lingkungan perairan dengan cepat sampai kepada berang-berang melalui ikan dan invertebrata yang dimakannya. Karena terjadi penumpukan racun pada tingkat trofik rantai makanan maka pada tubuh berang-berang sungai akan terjadi penumpukan racun yang lebih besar dibandingkan dengan hewan lain yang hidup pada ekosistem yang sama. Berang-berang akan menunjukkan tanda-tanda paparan racun sebelum tumbuhan atau hewan lain sehingga patut dijadikan indikator kesehatan ekosistem perairan.

Ilmuwan Kanada menggunakan rambut berang-berang sungai untuk menguji kadar merkuri yang mencemari danau dan menunjukkan bahwa berang-berang sungai dapat menjadi spesies indikator yang berharga untuk menguji kesehatan habitat laut maupun air tawar.



Gambar 7.8. Berang-berang (Rhode, 2022)

7. Salamander

Salamander dijadikan sebagai salah satu spesies indikator kualitas lingkungan karena memiliki kulit yang sangat permeabel sehingga harus tetap lembab agar dapat bertahan hidup. Hal ini membuat mereka sangat rentan terhadap polusi dan kekeringan. Penurunan kesehatan Salamander atau berkurangnya jumlah populasi salamander merupakan peringatan perubahan kualitas negatif tempat hidup mereka.

Peneliti yang dilakuka oleh Dinas Kehutanan Amerika menggunakan dua spesies Salamander untuk menunjukkan pemulihan kualitas ekosistem hutan yang semula telah ditebang. Populasi salamander bertambah seiring bertambahnya usia dan bertambahnya populasi pohon-pohon di hutan.



Gambar 7.9. Salamander (Rhode, 2022)

8. *Escherichia coli*

E. coli adalah sejenis bakteri yang biasa ditemukan pada kotoran hewan berdarah panas yang mencemari badan-badan air seperti sungai, danau, kolam ataupun air laut. Bakteri *E. coli* dan coliform lainnya merupakan organisme yang ideal untuk menunjukkan adanya pencemaran perairan karena bakteri berkembang biak dengan cepat, dapat ditemukan di mana-mana, dan cepat berubah jika terdapat pemicu stres lingkungan. *E. coli* dan bakteri coliform digunakan sebagai spesies indikator kualitas perairan. Kehadirannya dalam sampel air menunjukkan sumber air tersebut sudah terkontaminasi tinja atau kotoran manusia atau hewan sehingga tidak aman digunakan untuk memenuhi kebutuhan air sehari-hari sebelum diolah.



Gambar 7.10. Koloni Bakter *E. coli* (Rhode, 2022)

9. Kelelawar

Kelelawar digunakan sebagai salah satu spesies indikator kesehatan lingkungan karena sangat sensitif terhadap perubahan kualitas lingkungan. Kelelawar sangat penting perannya dalam ekosistem yaitu membantu penyerbukan (pollinator), penyebar biji, juga sebagai pemakan serangga. Kelelawar sangat terkena dampak akibat kerusakan habitat hilangnya habitat atau fragmentasi habitat. Kelelawar telah digunakan oleh para peneliti untuk mempelajari polusi logam berat, kekeringan, dan perubahan lingkungan akibat kegiatan pertanian.

Kelelawar telah dipelajari sebagai spesies indikator kerusakan lingkungan dan sangat hemat biaya dengan penggunaan kamera jebakan, survei akustik, dan pengumpulan rambut. Para peneliti di Taman Nasional Yellowstone menggunakan kelelawar untuk mempelajari perubahan iklim dan penyakit menular pada populasi kelelawar.



Gambar 7.11. Kelelawar (Rhode, 2022)

10. Kupu-kupu Raja (*Danaus plexippus*)

Jumlah populasi kupu-kupu raja (*Monarch butterfly*) telah menurun tajam sejak 25 tahun terakhir. Penurunan populasi tersebut diduga akibat kerusakan habitat, penyemprotan pestisida dan dampak dari pemanasan global. Kupu-kupu raja bermigrasi sangat jauh dari Kanada ke Meksiko yang merupakan spesies indikator yang baik untuk mengetahui kualitas lingkungan Benua Amerika Utara. Seorang peneliti dari Cornell University percaya bahwa penurunan populasi kupu-kupu raja tidak disebabkan oleh satu faktor, namun merupakan indikator penting adanya masalah lingkungan yang lebih sistemik.



Gambar 7.12. Kupu-kupu Raja (*Danaus plexippus*) (Rhode, 2022)

7.6 Jenis-Jenis Indeks Biologi

Indeks biologi biasanya merujuk pada kumpulan data atau daftar yang mencatat dan mengidentifikasi spesies tumbuhan (flora) dan hewan (fauna) dalam suatu wilayah atau ekosistem tertentu. Indeks ini dapat digunakan untuk berbagai tujuan, termasuk penelitian ilmiah, konservasi, manajemen sumber daya alam, dan pemantauan lingkungan. Indeks flora dan fauna ini membantu ilmuwan, peneliti, dan pengelola lingkungan untuk memahami dinamika ekosistem, mengidentifikasi perubahan yang mungkin terjadi, dan merancang strategi konservasi yang efektif. Setiap indeks memiliki kegunaan dan aplikasi spesifik tergantung pada tujuan penelitian atau pengelolaan yang diinginkan.

Indeks biologi adalah metode yang digunakan untuk mengukur kualitas lingkungan berdasarkan komunitas organisme hidup di dalamnya. Indeks ini memberikan gambaran langsung tentang keadaan ekosistem dan dapat digunakan sebagai indikator kualitas air, tanah, atau ekosistem lainnya. Beberapa contoh indeks biologi yang umum digunakan mencakup:

7.6.1 Indeks Benthik (Indeks Makrobentos):

Indeks Benthik, juga dikenal sebagai Indeks Makrobentos, adalah metode evaluasi kualitas air yang berfokus pada komunitas organisme hidup di dasar perairan. Makrobentos mengacu pada organisme makroskopis yang hidup di dalam atau di dekat substrat dasar perairan. Beberapa contoh makrobentos termasuk larva serangga air, kepiting, cacing, dan moluska.

Proses pengukuran menggunakan Indeks Benthik melibatkan pengambilan sampel dari dasar perairan, seperti sungai, dan mengidentifikasi serta menghitung jumlah dan jenis makroinvertebrata yang ditemukan. Berdasarkan komposisi dan kelimpahan makroinvertebrata, peneliti dapat menghitung nilai indeks yang mencerminkan kondisi kualitas air. Indeks ini memberikan informasi tentang keberagaman spesies, distribusi, dan kesehatan ekosistem di perairan tersebut. Sebagai contoh indeks benthik yang digunakan adalah Indeks Biologis Sungai (River Invertebrate Prediction and Classification System=RIVPACS). Indeks ini menggunakan data makroinvertebrata untuk memprediksi

kualitas air di sungai-sungai. Spesies makroinvertebrata diberi nilai toleransi berdasarkan kepekaan mereka terhadap pencemaran, dan hasilnya digunakan untuk mengukur kualitas air. Indeks lainnya adalah Indeks Makrobentos Benthik (Benthic Macroinvertebrate Index BMI). Indeks ini menilai kondisi kualitas air berdasarkan kelimpahan dan keberagaman makroinvertebrata benthik. Menggunakan kriteria seperti intoleransi terhadap pencemaran untuk menentukan nilai indeks.

Indeks Benthik berguna karena organisme yang hidup di dasar perairan memiliki siklus hidup yang panjang dan tergantung pada kondisi lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu, perubahan dalam komposisi makroinvertebrata benthik dapat memberikan indikasi tentang perubahan jangka panjang dalam kualitas air dan ekosistem perairan.

7.6.2 Indeks Kualitas Perairan (*Water Quality Index*):

Menggunakan data biologis, fisika, dan kimia untuk mengevaluasi kualitas air. Organisme air seperti plankton, ganggang, dan makroinvertebrata dapat memberikan indikasi tentang tingkat pencemaran atau perubahan dalam ekosistem air.

Indeks Kualitas Perairan (*Water Quality Index* atau WQI) adalah alat evaluasi yang mengintegrasikan data biologis, fisika, dan kimia untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang kualitas air suatu badan air. Ini membantu dalam menentukan sejauh mana air tersebut memenuhi standar kesehatan dan lingkungan. Beberapa poin penting terkait WQI melibatkan:

1. Integrasi Data Multidisiplin:

WQI menggabungkan informasi dari berbagai parameter seperti konsentrasi bahan kimia (misalnya, zat pencemar), sifat fisika air (misalnya, suhu, oksigen terlarut), dan data biologis (misalnya, kelimpahan plankton atau makroinvertebrata).

2. Pemilihan Parameter:

Parameter-parameter yang digunakan dapat bervariasi tergantung pada tujuan evaluasi, standar kualitas air yang berlaku, dan jenis badan air yang dinilai.

3. Organisme Air sebagai Indikator

informasi biologis seperti kelimpahan plankton, ganggang, dan makroinvertebrata digunakan sebagai indikator kualitas air. Perubahan dalam komunitas biologis dapat memberikan petunjuk tentang tingkat pencemaran atau perubahan ekosistem air.

4. Pemberian Bobot dan Skoring

Setiap parameter yang diukur diberi bobot sesuai dengan tingkat pentingnya terhadap kualitas air. Data kemudian di-skor dan diintegrasikan untuk menghasilkan nilai WQI.

5. Klasifikasi Kualitas Air Berdasarkan nilai WQI, air diklasifikasikan ke dalam kategori tertentu (misalnya, sangat baik, baik, sedang, buruk) untuk memudahkan interpretasi. Indeks Kualitas Perairan dapat digunakan oleh pemerintah, peneliti, dan pengelola lingkungan untuk memantau dan mengevaluasi keadaan kualitas air secara efisien. Ini membantu dalam pengambilan keputusan terkait manajemen sumber daya air dan upaya konservasi. Penting untuk diingat bahwa standar dan parameter yang digunakan dalam WQI dapat bervariasi di berbagai negara atau wilayah, tergantung pada regulasi dan kondisi lingkungan setempat.

7.6.3 Indeks Vegetasi Riparian

Melibatkan evaluasi komposisi dan kondisi vegetasi di sepanjang tepi sungai atau perairan. Vegetasi riparian dapat memberikan perlindungan habitat bagi banyak spesies dan dapat mencerminkan kesehatan ekosistem.

Indeks Vegetasi Riparian adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi kondisi dan keanekaragaman vegetasi di sepanjang tepi sungai atau perairan. Vegetasi riparian, atau vegetasi yang tumbuh di daerah tepi sungai, memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem air dan menyediakan habitat yang penting bagi berbagai spesies. Beberapa poin penting terkait dengan Indeks Vegetasi Riparian mencakup:

1. Evaluasi Komposisi Vegetasi

Indeks ini mencakup pemantauan dan analisis komposisi jenis-jenis tumbuhan yang tumbuh di daerah riparian. Jenis-jenis tumbuhan dan keragaman spesies dapat memberikan indikasi tentang keanekaragaman hayati dan kesehatan ekosistem.

2. Penilaian Kondisi Vegetasi

Selain komposisi jenis, evaluasi mencakup faktor-faktor seperti tinggi tanaman, kepadatan vegetasi, dan keberadaan spesies invasif. Kondisi vegetasi ini mencerminkan stabilitas dan fungsionalitas ekosistem riparian.

3. Fungsi Ekologis

Vegetasi riparian memiliki peran ekologis yang penting, termasuk menyediakan perlindungan habitat bagi berbagai spesies, mengurangi erosi tanah, dan mempengaruhi kualitas air. Indeks ini dapat membantu memahami sejauh mana vegetasi riparian memenuhi fungsi-fungsi ekologis ini.

4. Pemantauan Perubahan

Pemantauan reguler dapat membantu mendeteksi perubahan dalam komposisi dan kondisi vegetasi riparian seiring waktu. Perubahan tersebut dapat memberikan wawasan tentang tekanan lingkungan atau dampak aktivitas manusia.

5. Manajemen Habitat

Informasi dari indeks ini dapat digunakan untuk manajemen habitat yang mendukung keberlanjutan ekosistem riparian.

7.6.4 Indeks Kualitas Tanah (Soil Quality Index)

Melibatkan pengamatan terhadap organisme tanah seperti cacing, bakteri, dan fungi. Perubahan dalam kelimpahan dan keragaman organisme tanah dapat mencerminkan perubahan kualitas tanah.

Indeks Kualitas Tanah (*Soil Quality Index* atau SQI) adalah suatu pendekatan yang digunakan untuk mengevaluasi dan mengukur kualitas keseluruhan suatu tanah berdasarkan berbagai parameter fisik, kimia, dan biologi. Fokus pada komponen biologis

dalam indeks ini melibatkan pengamatan terhadap organisme tanah, seperti cacing tanah, bakteri, dan fungi. Beberapa aspek penting terkait SQI meliputi:

1. Organisme Tanah sebagai Indikator

Organisme tanah, seperti cacing tanah (*earthworms*), bakteri, dan fungi, memiliki peran penting dalam siklus nutrisi dan kesehatan tanah. Pemantauan kelimpahan dan keragaman organisme tanah dapat memberikan indikasi tentang kesehatan dan produktivitas tanah.

2. Diversitas Biologis Tanah

SQI dapat mencakup evaluasi keanekaragaman biologis tanah, yang mencerminkan kompleksitas ekosistem tanah. Diversitas organisme tanah juga dapat menunjukkan keberagaman fungsi ekosistem tanah.

3. Proses Ekologi Tanah

SQI dapat mencakup parameter-parameter yang menggambarkan proses ekologi tanah, seperti dekomposisi bahan organik, siklus unsur hara, dan keberlanjutan ketersediaan air.

4. Penilaian Struktur Tanah

Selain aspek biologis, SQI juga dapat melibatkan penilaian struktur fisik dan komposisi kimia tanah. Struktur tanah yang baik memainkan peran penting dalam infiltrasi air, aerasi, dan perakaran tanaman.

5. Pemantauan Perubahan

SQI dapat digunakan untuk memantau perubahan dalam waktu terkait dengan manajemen tanah dan praktik pertanian. Perubahan dalam SQI dapat memberikan petunjuk tentang dampak praktik pertanian atau perubahan lingkungan lainnya terhadap kualitas tanah.

Indeks Kualitas Tanah membantu dalam mengidentifikasi area-area yang memerlukan perbaikan atau manajemen khusus, serta memandu kebijakan pertanian dan praktik konservasi tanah yang berkelanjutan. SQI menyediakan kerangka kerja holistik yang memperhitungkan interaksi kompleks antara komponen

fisik, kimia, dan biologis tanah untuk memahami dan mengukur kualitas tanah secara menyeluruh.

7.6.5 Indeks Kesehatan Hutan

Melibatkan pemantauan komunitas tumbuhan, serangga, dan hewan di dalam hutan. Perubahan dalam struktur dan komposisi hutan dapat mencerminkan tekanan lingkungan atau perubahan iklim. Indeks Kesehatan Hutan adalah alat evaluasi yang digunakan untuk memantau dan mengukur kesehatan ekosistem hutan.

Indeks Kesehatan Hutan melibatkan pemantauan komunitas tumbuhan, serangga, dan hewan di dalam hutan, dan perubahan dalam struktur serta komposisi hutan dianggap sebagai indikator tekanan lingkungan atau perubahan iklim.

Beberapa poin penting terkait dengan Indeks Kesehatan Hutan melibatkan:

1. Pemantauan Komunitas Tumbuhan, Serangga, dan Hewan lainnya

Pengamatan komunitas biologis di hutan melibatkan pemantauan tumbuhan, serangga, mamalia, dan organisme lainnya. Perubahan dalam kelimpahan dan distribusi spesies dapat memberikan petunjuk tentang kesehatan dan dinamika ekosistem hutan.

2. Struktur dan Komposisi Hutan:

Pemantauan terhadap struktur hutan, seperti tinggi pohon, kepadatan hutan, dan jenis-jenis pohon yang dominan, merupakan bagian penting dari indeks ini. Perubahan dalam struktur dan komposisi dapat mencerminkan tekanan dari kegiatan manusia, penyakit, atau perubahan iklim.

3. Keseimbangan Ekosistem:

Indeks ini mencakup pemantauan keseimbangan ekosistem, termasuk relasi antar spesies dan fungsi-fungsi ekosistem seperti siklus nutrisi dan rantai makanan. Pemantauan keseimbangan ekosistem membantu memahami dampak perubahan terhadap keberlanjutan ekosistem hutan.

4. Respon terhadap Tekanan Lingkungan

Perubahan dalam komunitas biologis dan struktur hutan sering kali mencerminkan respon terhadap tekanan lingkungan, seperti deforestasi, polusi, atau perubahan iklim. Indeks Kesehatan Hutan dapat memberikan informasi awal tentang tekanan-tekanan tersebut.

5. Pemantauan Perubahan Iklim

Indeks Kesehatan Hutan dapat digunakan sebagai alat untuk memahami dampak perubahan iklim terhadap hutan, seperti perubahan suhu, curah hujan, atau peningkatan intensitas kebakaran hutan.

7.7 Perhitungan Indeks Kualitas Biologi

Berikut ini adalah contoh berbagai indeks kualitas biologi dan formula untuk menghitungnya:

1. Indeks Keanekaragaman Jenis (Shannon-Wiener)

Indeks Keanekaragaman Jenis (H') menggambarkan keadaan populasi organisme secara matematis agar mempermudah dalam menganalisis informasi jumlah individu masing-masing jenis pada suatu komunitas. Untuk itu dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan dari Shannon-Wiener (Krebs, 1989). Besarnya (H') dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i, \quad \text{dengan } P_i = \frac{n_i}{N}$$

Keterangan :

- H' = Indeks Keanekaragaman
- s = Jumlah spesies yang ditemukan
- P_i = Perbandingan proporsi ke – i
- n_i = Jumlah individu spesies ke – i
- N = Jumlah total individu

Dengan indikator:

- $H' < 1,5$ = tingkat keanekaragaman rendah
- $1,5 \leq H' \leq 3,5$ = tingkat keanekaragaman sedang

$H' > 3,5$ = tingkat keanekaragaman tinggi.

2. Indeks Dominansi Simpson

Indeks Dominansi Simpson dihitung dengan menggunakan rumus indeks dominansi dari Simpson (Odum, 1993). Besarnya Indeks Dominansi dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$D = \sum (n_i/N)^2$$

Keterangan :

D = Indeks Dominansi Simpson

n_i = Jumlah individu spesies ke - i

N = Jumlah total individu

Dengan kriteria:

Indeks dominansi berkisar antara 0 sampai 1, dimana semakin kecil nilai indeks dominansi maka menunjukkan bahwa tidak ada spesies yang mendominasi sebaliknya semakin besar dominansi maka menunjukkan ada spesies tertentu (Odum, 1993).

3. Indeks Kekayaan Jenis (Margalef)

Indeks Kekayaan Jenis merupakan ukuran keanekaragaman hayati yang paling sederhana karena hanya memperhitungkan perbedaan jumlah spesies pada suatu areal tertentu. Indeks Kekayaan Jenis (species richness) berfungsi untuk mengetahui kekayaan jenis setiap spesies dalam setiap komunitas yang dijumpai. Indeks kekayaan Margalef membagi jumlah spesies dengan fungsi logaritma natural yang berarti bahwa pertambahan kuantitas spesies berbanding terbalik dengan pertambahan kuantitas individu. Besarnya indeks kekayaan jenis Margalef dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$D_{mg} = (S-1) / \ln(N)$$

Keterangan :

D_{mg} = Indeks Kekayaan Jenis (Margalef)

S = Jumlah spesies yang ditemukan

N = Jumlah total individu

Dengan kriteria :

$D < 2,5$ menunjukkan tingkat kekayaan jenis yang rendah.

$1.5 > D > 4$ menunjukkan tingkat kekayaan jenis yang sedang.

$D > 4$ menunjukkan tingkat kekayaan jenis yang tinggi .

4. Indeks Kemerataan (E)

Indeks kemerataan merepresentasikan derajat kemerataan kekayaan atau kelimpahan individu antara spesies. Jika masing-masing jenis mempunyai kuantitas individu yang sama, maka komunitas meraih nilai kemerataan maksimal. Indeks Kemerataan (*Index of Evenness*) berfungsi untuk mengetahui kemerataan setiap jenis dalam setiap komunitas yang dijumpai. Besarnya indeks kemerataan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$E = H' / \ln S$$

Keterangan :

E = Indeks Kemerataan

H' = Jumlah Keaneragaman

ln = Logaritma natural

S = Jumlah spesie yang ditemukan

Dengan kriteria :

$e \leq 0.4$ kemerataan rendah

$0.4 < e < 0.6$ kemerataan sedang

$e \geq 0.6$ kemerataan tinggi

5. Indeks Kesamaan Jenis

Indeks kesamaan jenis digunakan untuk mengetahui kesamaan jenis mamalia yang ditemukan pada habitat yang berbeda. Besarnya Indeks Kesamaan Jenis dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Indeks kesamaan jenis} = \frac{c}{a+b+c}$$

Keterangan:

a = jumlah jenis yang hanya terdapat di komunitas A

b = jumlah jenis yang hanya ditemukan di komunitas B
 c = jumlah jenis yang ditemukan di komunitas A dan B

Nilai indikator untuk indeks kesamaan jenis (JI) adalah $JI = 1$. Apabila nilai $JI = 1$ berarti pada dua habitat yang dibandingkan terdapat kesamaan identik dalam hal jenis atau spesies yang ditemukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Azzazy, M. 2020. Plant bioindicators of pollution in Sadat City, Western Nile Delta, Egypt. *Plos One* 15(3).
- Borja, A, Dauer, DM, Gremare, A. 2012. The importance of setting targets and reference conditions in assessing marine ecosystem quality. *Ecological Indicators*. 12: 1–7.
- Brauman, KA, Garibaldi LA, Polasky S, Aumeeruddy-Thomas Y, Brancalion PHS, DeClerck F. 2020. Global trends in nature's contributions to people. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Dirzo, R, Young HS, Galetti M, Ceballos G, Isaac NJB, Collen B. 2014. Defaunation in the Anthropocene. *Science*. 345: 401–406.
- Dudgeon, D. 2019. Multiple threats imperil freshwater biodiversity in the Anthropocene. *Current Biology*. 29: 960–967.
- Gerhardt, A. .2002. Bioindicator Species and Their Use in Biomonitoring. *Environmental Monitoring—Vol. I—Bioindicator Species and Their Use in Biomonitoring, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*.
- Holt, E.A. Miller, S. W. 2010. Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental Impacts. *Nature Education Knowledge* 3(10):8
- Karr, J. 1991. Biological Integrity-A Long-Neglected Aspect of Water-Resource Management. *Ecological Applications*. 1: 66–84.
- Krebs, C. J. 1989. *Ecological methodology*. New York, NY: Harper and Row Publishers Inc., 654 p.
- Odum EP. 1993. *Ecology and our endangered life support systems*. 2nd ed. Sunderland (MA): Sinauer Associates.
- Parmar, T.K., Deepak Rawtani and Y. K. Agrawa. 2016. Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution. *Frontier in Life Science* VOL. 9, NO. 2, 110–118.
- Pawlowski, J, Apothe'loz-Perret-Gentil, L, Altermatt, F. 2020. Environmental DNA: What's behind the term? Clarifying the terminology and recommendations for its future use in biomonitoring. *Molecular Ecology*. 29: 4258–4264.

- Pulleman M, Creamer R, Hamer U, Helder J, Pelosi C, Pérès G, Rutgers, M. 2012. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services—an overview of European approaches. *Curr Opin Environ Sustain* 4(5):529–538.
- Rhode, E. 2022. What Is an Indicator Species? 10 Key Examples. <https://www.treehugger.com/indicator-species-definition-and-examples-5183761>

BIODATA PENULIS



Drs. Bambang Suhartawan, M.MT

Dosen Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Sains dan Teknologi Jayapura

Penulis lahir di Blitar tanggal 13 Pebruari 1964. Penulis adalah dosen tetap dengan status PNS-DPK pada Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Universitas Sains dan Teknologi Jayapura. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Kimia Jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Cenderawasih Jayapura pada tahun 1989. Pendidikan Pasca Sarjana diperoleh dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya jurusan Manajemen Teknik Lingkungan pada tahun 2002.

BIODATA PENULIS



Mila Sari, S.ST, M.Si

Dosen STIKES Dharma Landbouw Padang

Penulis dilahirkan di Pilubang, 13 Mei 1989. Penulis adalah dosen tetap pada STIKES Dharma Landbouw Padang. Menyelesaikan pendidikan D3 dan D4 pada Jurusan Kesehatan Lingkungan Politeknik Kesehatan Kemenkes Padang dan melanjutkan S2 pada Jurusan ilmu Lingkungan Universitas Negeri Padang. Penulis menekuni bidang ilmu lingkungan dan kesehatan lingkungan. Penulis dapat dihubungi melalui email : milasari111326@gmail.com atau nomor telepon 081374464054

BIODATA PENULIS



Risnawati Tanjung, SKM. M. Kes
Dosen Jurusan Kesehatan Lingkungan
Poltekkes Kemenkes Medan

Penulis lahir di Medan, pada tanggal 04 Mei 1975. Ketertarikan penulis pada ilmu kesehatan lingkungan dimulai pada tahun 1994 dan memilihnya sebagai peminatan di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sumatera Utara (USU). Pada tahun 2004 sampai dengan tahun 2006 penulis melanjutkan Pendidikan Program Pasca Sarjana (S2) ke Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta Peminatan Kesehatan Lingkungan. Karir sebagai Dosen dimulai sejak tahun 2001 di Propinsi Bengkulu dan Menjadi Dosen Tetap di Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Medan pada tahun 2009 sampai dengan sekarang. Penulis memiliki kepakaran di bidang kesehatan lingkungan khususnya terkait dengan Sanitasi Rumah Sakit, Sanitasi Industri dan K3, Sanitasi Pemukiman, Penyehatan Udara, Metodologi Penelitian. Penulis aktif melakukan kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat yang didanai oleh internal perguruan tinggi dan Kemenristek DIKTI. Beberapa hasil penelitian tersebut telah dipublikasikan pada Jurnal Internasional, Nasional dan Prosiding. Penulis memiliki harapan buku dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara serta dapat mengembangkan keilmuan kesehatan lingkungan.

BIODATA PENULIS



Dr. Tarzan Purnomo, M.Si.
Dosen Program Studi Biologi
Fakultas MIPA Universitas Negeri Surabaya

Dr. Tarzan Purnomo, M.Si., lahir di Mojokerto, Jawa Timur 5 Mei 1965. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Surabaya sejak 1992. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA IKIP Surabaya (1991), S2 Program Studi Biologi, Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta (1998), dan Program Doktor (S3) Lingkungan Pesisir dan Lautan, Program Pascasarjana Universitas Brawijaya Malang (2011). Mengikuti *Postdoctoral Programe* Marine Ecology di Victoria University of Wellington, New Zealand (2013). Penulis menekuni bidang Ekologi, Ekologi Perairan, Ekologi Laut, Biologi Perairan, Ilmu Lingkungan, Konservasi Sumber Daya Alam, Manajemen Ekosistem Perairan, serta Ekologi Pesisir dan Kelautan. Sejak 2023 sebagai Ketua Konsorsium Mitra Bahari (KMB) Regional Center Jawa Timur, dan Pengurus Himpunan Ahli Pengelolaan Pesisir Indonesia (HAPPI) Cabang Jawa Timur.

BIODATA PENULIS



Dra. Daawia M. Sc.

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas MIPA Universitas Cenderawasih

Penulis lahir di Bau-Bau Sulawesi Tenggara tanggal 4 Maret 1968 . Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi, FMIPA, Universitas Cenderawasih. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Biologi, FKIP, Universitas Cenderawasih dan melanjutkan S2 pada Jurusan Entomology, University of The Philippines Los Banos (UPLB). Bidang interest adalah Konservasi alam khususnya pelestarian kupu-kupu.