

LINGKUNGAN: PEMAHAMAN, MASALAH, DAN SOLUSI

**Salma Samputri
Daawia
Bambang Suhartawan
Nurvita Cundaningsih
I Wayan Budiarsa Suyasa
Isran Asnawi
Sudiro
Eris Nur Dirman
Yosef Adicita
Waode Azfari Azis
Nurlita Pertiwi**



GET PRESS INDONESIA

LINGKUNGAN: PEMAHAMAN, MASALAH, DAN SOLUSI

Penulis :

Salma Samputri
Daawia
Bambang Suhartawan
Nurvita Cundaningsih
I Wayan Budiarsa Suyasa
Isran Asnawi
Sudiro
Eris Nur Dirman
Yosef Adicita
Waode Azfari Azis
Nurlita Pertiwi

ISBN :

Editor : Mila Sari, S.ST., M.Si

Rantika Maida Sahara, S.Tr.Kes

Penyunting : Aulia Syaharani, 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, September 2023

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 Lingkungan: Pemahaman, Masalah, Dan Solusi ini.

Buku ini membahas Pengantar lingkungan, Ekologi dan Ekosistem, Pencemaran Lingkungan, Perubahan Iklim, Sumber Daya Air, Energi dan Pembangunan Berkelanjutan, Limbah dan Daur Ulang, Lingkungan Perkotaan, Tanggung Jawab Sosial dan Etika Lingkungan, Pendidikan Lingkungan, Solusi dan Aksi untuk Lingkungan yang Lebih Baik.

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, September 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENGANTAR LINGKUNGAN	1
1.1 Pengertian Lingkungan	1
1.2 Hakikat lingkungan	7
1.3 Lingkungan sehat dan tidak sehat.....	13
DAFTAR PUSTAKA	22
BAB 2 EKOLOGI DAN EKOSISTEM.....	23
2.1 Pengertian Ekologi dan Ekosistem	23
2.2 Tahap-Tahap Utama dan Komponen Ekosistem.....	25
2.3 Aliran Energi dalam Ekosistem	27
2.4 Rantai Makanan	30
2.5 Jaring-jaring Makanan	32
2.6 Tingkat Trofik	35
2.7 Piramida Makanan	37
2.7.1 Piramida Populasi	37
2.7.2 Piramida Energi.....	38
2.7.3 Piramida Biomasa	39
2.8 Dampak Kegiatan Manusia Terhadap Keseimbangan Ekosistem	41
2.8.1 Hilangnya Habitat.....	41
2.8.2 Polusi	41
2.8.3 Spesies Invasif.....	42
2.8.4 Eksploitasi Sumber Daya Alam secara Berlebihan.....	42
2.8.5 Perubahan Iklim Global	43
DAFTAR PUSTAKA	45
BAB 3 PENCEMARAN LINGKUNGAN.....	47
3.1 Pendahuluan	47

3.1.1 Pencemaran Fisika.....	48
3.1.2 Pencemaran Kimia.....	48
3.1.3 Pencemaran Biologi	48
3.2 Pencemaran Air	49
3.2.1 Bahan Pencemar (polutan) air.....	50
3.2.2 Aspek Kimia dan Fisika Pencemaran Air	50
3.2.3 Aspek Biokimia Pencemaran Air	56
3.3 Pencemaran Udara	57
3.3.1 Komposisi Udara Atmosfer	58
3.3.2 Pencemar Udara dan Sumbernya.....	59
3.4 Pencemaran Tanah.....	62
3.4.1 Limbah Domestik	63
3.4.2 Limbah Industri	64
3.4.3 Limbah Pertanian.....	64
3.5 Pencemaran Radioaktif.....	65
3.5.1 Limbah radiasi	66
3.5.2 Pengujian dan pembuatan senjata nuklir	67
3.5.3 Ledakan nuklir.....	67
DAFTAR PUSTAKA	69
BAB 4 PERUBAHAN IKLIM	71
4.1 Kilas Balik dan Pemahaman tentang Perubahan Iklim	71
4.2 Dampak Perubahan Iklim	76
4.2.1 Bencana Alam dan Konsekuensi Sosio-Ekonomi Perubahan Iklim	78
4.2.2 Dampak Bagi Agrikultur	79
4.2.3 Dampak Perubahan Iklim terhadap Keanekaragaman Hayati.....	81
4.2.4 Dampak Perubahan Iklim terhadap Sektor Kehutanan	82
4.3 Konvensi Perubahan Iklim	83
4.4 Strategi untuk Menghadapi dan Mengurangi Dampak Perubahan Iklim	85

DAFTAR PUSTAKA	89
BAB 5 SUMBERDAYA AIR	93
5.1 Pendahuluan	93
5.2 Air Tanah	94
5.3 Konservasi Mata Air	99
5.4 Penentuan Daerah Imbuhan Air Tanah	102
5.4.1 Pendekatan Isotop ^{18}O dan ^2H dalam Penentuan Area Imbuhan	102
5.4.2 Pendekatan Pengideraan Jauh dalam Penentuan Area Imbuhan	117
DAFTAR PUSTAKA	119
BAB 6 ENERGI DAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN	121
6.1 Sumber Daya Energi Terbarukan	121
6.2 Jenis dan Potensi Sumber Daya Energi Terbarukan	122
6.2.1 Energi Matahari	122
6.2.2 Energi Angin	123
6.2.3 Energi Air	125
6.2.4 Energi Panas Bumi	126
6.2.5 Biomassa	127
6.2.6 Hidrogen	134
6.2.7 Energi Laut	135
6.3 Dampak Sosial, Ekonomi, dan Lingkungan	136
6.4 Sumber Energi dan Pembangunan Berkelanjutan	138
DAFTAR PUSTAKA	140
BAB 7 LIMBAH DAN DAUR ULANG	143
7.1 Pengertian Limbah	143
7.2 Jenis limbah, Karakteristik dan Komposisi	143
7.3 Dampak Limbah Terhadap Lingkungan	148
7.4 Konsep Pengolahan Limbah	150
7.5 Daur Ulang Limbah	151
DAFTAR PUSTAKA	156

BAB 8 LINGKUNGAN: PEMAHAMAN, MASALAH, DAN SOLUSI LINGKUNGAN PERKOTAAN	161
8.1 Pendahuluan.....	161
8.2 Definisi Lingkungan Perkotaan	162
8.3 Konsep Lingkungan Perkotaan	162
8.4 Tantangan Pertumbuhan Populasi	164
8.5 Polusi dan Kualitas Udara	165
8.6 Krisis Air Bersih.....	166
8.7 Keanekaragaman Hayati dan Ruang Terbuka Hijau	167
8.8 Dampak Perubahan Iklim	168
8.9 Peran Pendekatan Berkelanjutan	170
8.10 Pendidikan dan Kesadaran Lingkungan	170
8.11 Pendekatan Berkelanjutan dalam Pengembangan Lingkungan Perkotaan	173
8.12 Pentingnya Ruang Terbuka Hijau.....	175
8.13 Pemanfaatan Teknologi untuk Solusi Lingkungan Perkotaan	176
8.14 Peran Masyarakat dalam Pelestarian Lingkungan Perkotaan	178
8.15 Sasaran Menuju Lingkungan Perkotaan yang Lebih Baik	180
DAFTAR PUSTAKA	181
BAB 9 TANGGUNG JAWAB SOSIAL DAN ETIKA LINGKUNGAN.....	185
9.1 Definisi dan Aspek Tanggung Jawab Sosial dan Etika Lingkungan	187
9.1.1 Pengertian tanggung jawab sosial dan etika lingkungan secara umum	187
9.1.2 Keterkaitan antara tanggung jawab sosial dan etika lingkungan dalam konteks modern..	190

9.1.3 Aspek-aspek utama dari tanggung jawab sosial perusahaan dan tanggung jawab sosial individu.....	192
9.2 Peran dan Manfaat Tanggung Jawab Sosial	195
9.2.1 Peran tanggung jawab sosial dalam pembangunan berkelanjutan	195
9.2.2 Manfaat bagi Perusahaan dalam Menerapkan Tanggung Jawab Sosial	198
9.2.3 Manfaat bagi Masyarakat dan Lingkungan dari Adopsi Tanggung Jawab Sosial	200
9.3 Etika Lingkungan dan Perlindungan Lingkungan ..	203
9.3.1 Pengertian Etika Lingkungan dan Prinsip-Prinsip Utamanya.....	203
9.3.2 Pentingnya Etika Lingkungan dalam Mengambil Keputusan yang Berdampak pada Lingkungan	204
9.3.3 Upaya Perlindungan Lingkungan Melalui Penerapan Etika Lingkungan.....	204
9.4 Prinsip-Prinsip Tanggung Jawab Sosial dan Etika Lingkungan.....	205
9.4.1 Prinsip-Prinsip Utama dalam Tanggung Jawab Sosial Perusahaan	205
9.4.2 Prinsip-Prinsip Utama dalam Tanggung Jawab Sosial Individu terhadap Lingkungan.....	206
9.4.3 Studi Kasus Perusahaan yang Berhasil Menerapkan Prinsip-Prinsip ini dan Hasil yang Dicapai	207
9.5 Tantangan dan Hambatan dalam Menerapkan Tanggung Jawab Sosial dan Etika Lingkungan	208
9.5.1 Tantangan dalam Mengimplementasikan Tanggung Jawab Sosial Perusahaan	208
9.5.2 Kendala Etika Lingkungan dalam Memperjuangkan Perlindungan Lingkungan ...	209

9.5.3 Strategi dan Solusi untuk Mengatasi Tantangan dan Hambatan ini	209
9.6 Penerapan Tanggung Jawab Sosial dan Etika Lingkungan dalam Skala Global	211
9.7 Pendekatan Pemerintah dalam Mendorong Tanggung Jawab Sosial dan Etika Lingkungan	213
9.8 Kesimpulan	215
DAFTAR PUSTAKA	217
BAB 10 PENDIDIKAN LINGKUNGAN.....	219
10.1 Pendahuluan.....	219
10.2 Pengertian Pendidikan Lingkungan	221
10.3 Sasaran Pendidikan Lingkungan	223
10.4 Tujuan Pendidikan Lingkungan	224
10.5 Prinsip-Prinsip Pendidikan Lingkungan.....	233
10.6 Pendidikan lingkungan adalah sebuah kebutuhan.....	235
DAFTAR PUSTAKA	244
BAB 11 SOLUSI DAN AKSI UNTUK LINGKUNGAN YANG LEBIH BAIK	247
11.1 Manusia dan Lingkungan Hidup	247
11.2 Solusi Peningkatan Kualitas Lingkungan Hidup ..	249
11.2.1 Solusi Teknis	250
11.2.2 Solusi Sosial.....	255
11.2.3 Solusi Kebijakan	259
11.3 Penutup	261
DAFTAR PUSTAKA	262
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Aliran energi satu arah yang melewati ekosistem.....	29
Gambar 2.2. Contoh rantai makanan.....	31
Gambar 2.3. Diagram Jaring-Jaring Makanan.....	35
Gambar 2.4. Tingkat trofik yang menunjukkan energi kimia dalam makanan mengalir dalam ekosistem.....	36
Gambar 2.5. Contoh Piramida Populasi atau jumlah individu	38
Gambar 2.6. Contoh Piramida energi	39
Gambar 2.7. Contoh Piramida Biomasa.....	40
Gambar 2.8. Contoh Piramida Biomasa terbalik pada ekosistem perairan laut.....	40
Gambar 3.1. Pencemaran Air.....	49
Gambar 3.2. Perubahan bentuk posfor.....	55
Gambar 3.3. Polutan Udara	58
Gambar 3.4. Tumpukan sampah domestic.....	63
Gambar 3.5. Limbah Industri	64
Gambar 3.6. Limbah Pertanian.....	65
Gambar 3.7. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).....	66
Gambar 3.8. Ledakan Nuklir	68
Gambar 4.1. Total emisi gas rumah kaca (metric ton per orang)	76
Gambar 4.2. Emisi gas rumah kaca berdasarkan sektor.....	77
Gambar 4.3. Deskripsi skematis tentang dampak potensial perubahan iklim pada sektor pertanian dan langkah-langkah mitigasi dan adaptasi yang sesuai untuk mengatasi dampaknya.	80

Gambar 4.4. Dampak sektoral perubahan iklim beserta langkah-langkah adaptasi dan mitigasi.....	86
Gambar 5.1. Ilustrasi hidrologi di kawasan karst	99
Gambar 5.2. Siklus Hidrolisa	107
Gambar 5.3. Fraksionasi Isotop yang Menggambarkan Pola Pergeseran Jumlah Isotop Deuterium dan Oksigen-18 di dalam Air	109
Gambar 5.4. Fraksinasi isotop D dan ^{18}O air hujan dalam siklus hidrologi.....	110
Gambar 5.5. Hubungan antara ^{18}O dan 2H dari air hujan berdasarkan sumber data network.....	111
Gambar 5.6. Global Meteorik Water Line	113
Gambar 6.1. Metode pembuatan bio-briket	128
Gambar 6.2. Tahapan biokimia produksi biogas	130
Gambar 6.3. Reaksi fermentasi etanol.....	132
Gambar 6.4. Reaksi transesterifikasi biodiesel	133
Gambar 6.5. Ilustrasi prinsip kerja HFC.....	135
Gambar 7.1. Limbah Cair.....	144
Gambar 7.2. Limbah Gas.....	145
Gambar 7.3. Limbah Padat	146
Gambar 8.1. Polusi Udara di Jakarta	166
Gambar 8.2. Krisis Air Bersih.....	167
Gambar 8.3. Ruang Terbuka Hijau	168
Gambar 11.1. Faktor penentu keberhasilan biremediasi.....	253
Gambar 11.2. Teknik Remediasi Tanah dengan Cara Desorpsi Termal.....	254
Gambar 11.3. Proses Cuci Lahan (<i>Soil Washing</i>)	255
Gambar 11.4. Teori Psikologi Lingkungan diadaptasi dari.....	256

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Komposisi udara kering	58
Tabel 4.1. Ringkasan Gas Rumah Kaca.....	75
Tabel 5.1. Aplikasi Isotop Alam pada Studi Airtanah	104

BAB 1

PENGANTAR LINGKUNGAN

Oleh Salma Samputri

1.1 Pengertian Lingkungan

Manusia sebagai individu merupakan entitas sosial yang tidak dapat menjalani aktivitas atau eksistensi secara terpisah di bumi. Mereka harus berhubungan dengan makhluk hidup lainnya, termasuk tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme. Hubungan dengan makhluk-makhluk ini tidak sekadar interaksi tanpa keterkaitan, melainkan menjadi bagian yang tak terpisahkan dari kehidupan manusia. Keberadaan tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme memiliki peran yang sangat penting dalam memastikan kelangsungan hidup manusia. Hal ini bisa diperlihatkan dengan asumsi bahwa ketiadaan tumbuhan dan hewan akan mengakibatkan kesulitan dalam memperoleh oksigen dan sumber makanan. Namun, dalam konteks sebaliknya, meskipun manusia tidak ada, makhluk-makhluk tersebut masih mampu mempertahankan eksistensi mereka, sebagaimana yang terjadi dalam sejarah bumi sebelum kehadiran manusia. Konsep tentang dominasi manusia yang mendominasi perlu diperbaharui. Manusia menyadari bahwa untuk mempertahankan kelangsungan hidup, mereka perlu menjaga keseimbangan dengan makhluk hidup lainnya, bukan sebaliknya. Hal ini menunjukkan pentingnya memiliki sikap rendah hati. Kelangsungan hidup tidak hanya bergantung pada peran manusia, melainkan juga dipengaruhi oleh faktor-faktor alam lainnya, yang membuat kondisi kehidupan sangatlah rapuh. Manusia, tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme bersama-sama berbagi ruang di planet ini. Di lingkungan ini,

tak hanya keberadaan makhluk hidup yang terlibat, tetapi juga unsur-unsur tak hidup seperti berbagai jenis gas di atmosfer, air dalam berbagai fase seperti gas, cair, dan padat, serta tanah dan batuan. Wilayah di mana organisme hidup berinteraksi dengan komponen tak hidup ini dikenal sebagai lingkungan mereka.

Lingkungan memang mencakup segala hal di sekitar kita yang dapat berpengaruh pada kondisi kehidupan kita. Lingkungan adalah Kesatuan Ruang Lingkungan tidak hanya mencakup aspek fisik, seperti udara, air, dan suhu, tetapi juga berhubungan dengan aspek sosial, ekonomi, dan budaya dalam suatu wilayah. Kualitas udara dan air memiliki dampak langsung terhadap kesehatan manusia. Udara yang bersih dan air yang baik dapat menjaga kesehatan kita, sementara udara dan air yang tercemar dapat menyebabkan penyakit. Faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Kehidupan: Faktor-faktor seperti suhu udara, kualitas udara, kualitas dan kuantitas air, serta elemen-elemen fisik lainnya dapat secara langsung maupun tidak langsung memengaruhi kesejahteraan manusia dan makhluk hidup lainnya. Lingkungan memiliki batasan-batasan yang dapat ditentukan oleh faktor-faktor alam, ekonomi, politik, dan sosial. Lingkungan fisik tidak hanya terbatas pada ruang yang dihuni oleh makhluk hidup, tetapi juga mencakup komponen di luar angkasa seperti matahari dan bintang. Manusia memiliki peran penting dalam membentuk dan mempengaruhi lingkungan. Perilaku manusia, seperti polusi, deforestasi, dan penggunaan sumber daya alam, dapat memiliki dampak besar terhadap keberlanjutan lingkungan. Undang-Undang tentang Pengelolaan dan Perlindungan Lingkungan Hidup, seperti Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 di Indonesia, mengatur cara mengelola dan melindungi lingkungan agar kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya tetap terjaga. Pemahaman akan pentingnya

lingkungan dan bagaimana kita dapat berinteraksi secara berkelanjutan dengan lingkungan adalah kunci untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan mendukung kehidupan yang lebih baik bagi semua makhluk di planet ini.. Dalam Undang-undang tentang Pengelolaan dan Perlindungan Lingkungan Hidup, khususnya Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009, disebutkan bahwa lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, kekuatan, keadaan, dan makhluk hidup termasuk manusia, dan perilakunya mempengaruhi kelangsungan kehidupan. dan kebahagiaan. manusia dan makhluk hidup lainnya.

Mengenai perbedaan antara istilah "lingkungan" dan "ekosistem," serta pentingnya memahami konsep ini dengan baik. Memang benar, banyak orang sering kali menyamakan kedua istilah ini, padahal keduanya memiliki makna yang berbeda. Lingkungan mengacu pada semua unsur fisik, kimia, biologis, sosial, dan budaya di sekitar kita yang mempengaruhi kehidupan dan interaksi kita sehari-hari. Lingkungan mencakup segala hal mulai dari elemen fisik seperti udara, air, tanah, hingga komponen sosial seperti budaya, kebijakan, dan interaksi manusia. lingkungan juga mencakup aspek-aspek yang tidak tercakup dalam konsep ekosistem, seperti norma sosial, nilai budaya, dan peraturan hukum. Sedangkan ekosistem di sisi lain, adalah suatu unit yang lebih terfokus dan terbatas dalam lingkupnya. Ini adalah sistem kompleks yang terdiri dari makhluk hidup (komunitas biotik) dan lingkungan fisik non-hidup (komponen abiotik) di mana interaksi berlangsung. Dalam ekosistem, ada aliran energi, siklus materi, dan interaksi kompleks antara organisme dan lingkungan mereka. Ekosistem dapat berupa hutan, danau, padang rumput, gurun, dan banyak jenis habitat lainnya. Tentu saja, dalam pandangan manusia, pandangan emosional dan nilai-nilai juga mempengaruhi cara kita melihat lingkungan dan ekosistem.

Bangkai hewan dan puing-puing dalam ekosistem alami merupakan bagian dari siklus alami dan dapat memberikan nutrisi untuk organisme lain dalam rantai makanan. Namun, saat ini di dalam lingkungan manusia, faktor-faktor seperti kesehatan dan estetika sering kali membuat kita merasa perlu untuk mengelola dan membersihkan area tersebut. Pemahaman yang jelas tentang perbedaan antara lingkungan dan ekosistem penting untuk memperlakukan keduanya dengan bijaksana dan bertanggung jawab.

Botkin dan Keller (2007) menyatakan bahwa ilmu lingkungan adalah seperangkat pengetahuan yang mencoba memberi pemahaman tentang bagaimana kehidupan dipertahankan di bumi, hal apa yang menyebabkan lingkungan menimbulkan masalah dan bagaimana mencari solusi memecahkan masalah tersebut. Menurut mereka, banyak disiplin ilmu (ilmu) yang penting dan mendukung bagi ilmu lingkungan, yaitu ekologi (cabang ilmu biologi), hidrologi (cabang ilmu yang mempelajari tentang air), geologi, meteorologi, klimatologi, ilmu tanah dan ilmu kelautan (oseanologi). Botkin dan Keller juga menyatakan ilmu non yang bersifat non ilmiah seperti filsafat dan ekonomi juga mendukung ilmu lingkungan. Sementara itu, Raven dan Berg (2004) berpendapat bahwa ilmu lingkungan merupakan studi interdisipliner tentang hubungan antara manusia dengan organisme lain dan lingkungan fisik tak hidup. Menurut mereka, ilmu lingkungan menggunakan dan menggabungkan disiplin ilmu biologi (terutama ekologi), geografi, kimia, geologi, fisika, ekonomi, sosiologi (terutama demografi), antropologi budaya, pengelolaan sumber daya alam, pertanian, teknik, hukum, politik dan etika. Sejalan dengan itu Miller (2002) menyatakan bahwa ilmu lingkungan adalah ilmu interdisipliner yang menggunakan konsep dan informasi dari ilmu alam seperti ekologi, biologi, kimia dan geologi dan dari

ilmu ilmu sosial seperti ekonomi, politik dan etika, dengan tujuan dari ilmu lingkungan adalah : 1) membantu kita memahami cara kerja bumi, 2) bagaimana kita memengaruhi sistem pendukung kehidupan (lingkungan), dan 3) menyarankan dan mengevaluasi solusi untuk masalah lingkungan yang kita hadapi.

Pernyataan Raven dan Berg (2004) tidak begitu memberikan pemahaman yang jelas terkait kea rah mana sebenarnya ilmu lingkungan ditujukan. Adapun menurut Miller (2002) dan penjelasan Botkin dan Keller (2007) dengan tegas menyebutkan bahwa ilmu lingkungan ditujukan dan diperuntukkan untuk memenuhi 3 tujuan utama. Meskipun ketiga penjelasan yang dikemukakan bahwa prinsip asal ilmu lingkungan berbeda, namun perbedan tersebut tidak bersifat mendalam. Kembali pada pengertian lingkungan itu sendiri yang pada dasarnya memang adalah disiplin ilmu yang terbangun dan memiliki aspek ilmu lain di dalamnya karena ruang lingkup lingkunga yang cukup luas dan segala sesuatu yang mempengaruhi cara hidup maupun keberlangsungan hidup adalah termasuk lingkungan, disebutkan komponen non fisik itu sendiri, baik ilmu alam maupun ilmu sosial. Dengan demikian, bidang penerapan ilmu lingkungan sangat luas. Studi tentang kualitas fisik, kimia dan biologi, air, udara dan tanah adalah bagian dari ilmu lingkungan. Studi tentang jenis ekosistem dan dampak aktivitas manusia terhadap ekosistem juga termasuk ke dalam ruang lingkup dan pembahasan dalam ilmu lingkungan itu. Sederhanya semua unsur dan komponen yang menyusun maupun mendukung keberlangsungan hidup baik itu aspek fisik dan non fisik, biotik dan abiotik, abstrak dan nyata, bias dikategorikan ke dalam ilmu lingkungan

Dikarenakan ilmu lingkungan merangkup dan mencakup serta merupakan kesatuan dari berbagai prinsip-

prinsip ilmu, maka setiap tokoh maupun pemerhati lingkungan dengan background tertentu mampu menjelaskan salah satu ataupun lebih ilmu yang membangun atau mencakup ilmu lingkungan. Contoh orang yang fokus atau disiplin ilmunya adalah kesehatan, maka mereka dapat mengkaji bagaimana timbal balik lingkungan dengan kualitas kesehatan manusia, ataupun bagaimana cara merawat lingkungan agar tetap menjadi habitat yang sehat, misalnya mempelajari tentang dampak polusi terhadap kesehatan ataupun dampak pengelolaan sampah terhadap kesehatan. Hal tersebut mampu didukung dengan ilmuwan atau tokoh yang berlatar belakang teknik maupun transportasi, mereka dapat mengkaji atau memberikan solusi bagaimana struktur ataupun cara penggunaan mesin atau kendaraan yang tidak banyak menimbulkan dampak polusi untuk lingkungan. Juga misalnya bagaimana teknik pengelolaan pabrik yang tepat agar tidak merusak lingkungan. Dengan dikuasainya salah satu disiplin ilmu yang dapat berpengaruh terhadap lingkungan, maka manusia sendirilah yang memegang kebijakan dalam mengelola lingkungan tersebut. Karena itulah lingkungan disebutkan juga bagaimana manusia berinteraksi dan mempengaruhi kehidupan itu sendiri. Selain merawat dan melestarikan lingkungan, perlu juga diperhatikan hubungan pengelolaan lingkungan dengan sektor-sektor, yang tentu saja harus memiliki aturan di dalamnya, sehingga lahirlah bidang hukum lingkungan.

Cara berfikir, filsafat, dan agama juga termasuk ke dalam ilmu lingkungan yang bersifat non fisik, karena dalam kegiatan yang dilakukan berpengaruh terhadap lingkungan. Misalnya bagaimana pola pikir seseorang, bagaimana hubungannya dengan manusia, Tuhan dan alam itu sendiri, di mana hal ini termasuk ke dalam cabang filsafat yaitu etika lingkungan. Namun, ada beberapa pendapat yang mengatakan aspek sosial dan fisik

adalah hal yang berbeda, di mana kedua aspek tersebut dapat dikatakan ilmu lingkungan, ataupun beridir sendiri sebagai satunkesatuan (Miller, 2002).

1.2 Hakikat lingkungan

Manusia dapat dikatakan hidup dan menjalani aktivitas di dua lingkungan, yang pertama adalah dengan lingkungan fisik di sekitar yang tidak dpat berkomunikasi secara langsung namun ada timbal balik dan keterikatan antar keduanya, misalnya hewan, tanaman, udara, air dan sebagainya. Manusia tidak mampu melakukan pertukaran pesan atau komunikasi dengan aspek tersebut namun tetap bergantung, bahkan menjadi ketergantungan primer karena papan, pangan, dan sandang berpengaruh terhadap kehidupan manusia. Lingkugan kedua yang dimaksud adalah pada posisi manuia sebagai makhluk sosial, yaitu di lingkungan sosial mereka. Manusia tidak dapat hidup sendiri di atas lingkungan dengan aspek fisik yang disebutkan di atas, mereka tetap membutuhkan interaksi dan ketergantungan dalam menjalani hidup. Misalnya dianalogikan lingkungan tidk dapat berjalan dengan individu saja namun harus ada sekelompok masyarakat di dalamnya dalam hal nya bagaimana mereka memanfaatkan sumber daya yang ada di lingkungan bersama-sama, mislanya kita tidak bisa makan tanpa adanya petani, kita tidak bisa berpindah dari suatu daerah ke daerah lain tanpa adanya orang yang membawa transportasi. Manusia memiliki kemampuan untuk sekedar melestarikan, menginovasi, dan merubah lingkungan sekitarnya, maupun bagaimana mereka mengatur cara mereka bersosialisai atau lingkungan sosialnya.

Terstruktur dan tersusun adalah penciri dari ilmu lingkungan, berate terdiri dari beberapa disiplin ilmu, misalnya biologi yang membahas segala seluk beluk kehidupan mulai dari yang terkecil sel hinggal yang terbesar ekosistem

kemudian bioma dan biosfer, ekonomi dalam manusia bertransaksi atau memenuhi kebutuhan mereka, sosiologi tentang cara bersosialisasi hingga mencakup ilmu politik secara terbuka dan pastinya komprehensif. Memiliki perbedaan mencolok dengan ilmu yang lain, ilmu lingkungan yang mencakup banyak aspek kadang dalam pengkajiannya fokus pada bidang ilmu tertentu. Ditujukan untuk mencari pengetahuan yang bersifat relevan dan valid, inovatif, serta terpercaya dalam mempelajari ilmu lingkungan dan timbal baliknya terhadap aktivitas manusia. Jika kita paham tentang ilmu lingkungan akan mempengaruhi cara bersikap kita terhadap lingkungan.

Ilmu lingkungan merupakan ilmu lingkungan yang terstruktur tentang kondisi yang ideal untuk manusia tempati atau tinggal. Ilmu lingkungan memiliki prinsip keteraturan dan universal, artinya meliputi banyak ilmu pengetahuan yang terintegrasi. Tidak seperti ilmu pengetahuan lainnya yang bersifat sangat terfokus. Pengetahuan tentang lingkungan membuat kita sadar bagaimana kita harusnya bertindak terhadap lingkungan tinggal kita. Oleh karena itu kita harus menguasai ilmu lingkungan agar dapat hidup ideal dan berdampak secara baik dengan alam sekitar.

Banyak orang berasumsi bahwa ekologi dan lingkungan adalah hal yang sama adalah hal yang tidak tepat, karena keduanya memiliki perbedaan. Memang ekologi adalah ilmu yang mempelajari lingkungan, maupun dari cabang ilmu ekologi kita dapat menerapkan aplikasi ilmu lingkungan. Ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik lingkungan dan komponen di dalamnya itulah yang disebut ekologi. Sebenarnya, pada awalnya ekologi adalah cabang ilmu Biologi, namun karena para ilmuwan ingin membatasi ruang lingkup ekologi sebatas pada hubungan timbal balik lingkungan, maka ekologi dipisahkan menjadi cabang ilmu tertentu. Dengan

banyaknya persamaan dan terfokusnya ekologi pada bidang lingkungan, maka semakin banyak persepsi yang mengemukakan bahwa keduanya adalah hal yang sama

Sejak dahulu saat Indonesia dijajah Belanda sudah ada aturan pelestarian lingkungan. Carl Reinwadt diutus oleh Raja William 1, untuk membuat cagar pelestarian alam dengan membentuk Kebun Raya Bogor. Kemudian, Melcinor Treub, direktur Land Plantetuin mendirikan Kebun Raya Cibodas. Kemudian Pemerintah Hindia Belanda pada sekitar 1921 mengumumkan Ujung Kulon adalah cagar alam dalam upaya melestarikan badak Jawa. Kemudian, pada tahun 1923, untuk melindungi suku asli dari pengaruh-pengaruh eksternal (peradaban Barat), dibentuknya cagar alam Lorentz (Jepson dan Whittaker, 2002).

Dengan demikian alam yang konsisten dan ideal atau dikatakan seimbang bukan dilihat pada tidak berubahnya struktur lingkungan maupun ekosistem. Ekosistem bersifat tidak tetap dan mampu berubah dengan cepat. Ekosistem hewan dan tumbuhan dapat berubah sewaktu-waktu karena kondisi lingkungan yang sekitarnya terus berubah-ubah, misalnya sumber makanannya ataupun perubahan suhu yang berbeda membuat mereka bermigrasi atau beradaptasi kembali namun terjadi perubahan di dalamnya. Ekosistem mampu memperbaiki kondisinya sendiri dan itu bersifat musiman tergantung iklim dan suhu. Lingkungan dan lingkungan hidup adalah istilah yang sering disamakan, namun pada dasarnya memiliki perbedaan, lingkungan hidup adalah ketika suatu wilayah atau tempat terdapat unsur, komponen, aspek dan interaksi di dalamnya baik yang fisik maupun non fisik dan terjadi timbal balik di dalamnya, sedangkan lingkungan adalah hal universal yang mencakup semua baik dari lingkungan yang tak ada aktivitas sosial di dalamnya maupun sebaliknya.

Pengertian lingkungan hidup menurut Peraturan Daerah Nomor 8 Tahun 2011 tentang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup disebutkan dalam Pasal 1 ayat (13), lingkungan hidup adalah kesatuan ruang atau wilayah dengan segala benda, daya dan keadaan, serta makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, mempengaruhi alam itu sendiri, kelangsungan hidup, dan kesejahteraan manusia serta makhluk lainnya yang berada pada lingkungan tersebut. Kesatuan tempat maupun wilayah berarti semua yang disebutkan di atas terletak bersatu dalam ruang dan atau tempat membentuk suatu sistem, sistem inilah yang disebut dengan lingkungan. Dengan begitu di dalam lingkungan ini, karena merupakan kesatuan ruang dan penyatuan komponen yang ada di dalamnya, setiap makhluk hidup ataupun organisme langsung atau tidak langsung saling mempengaruhi. Lingkungan juga memiliki arti yang berbeda dari ekologi, ekologi dan daya tampung lingkungan. Namun ketiga yang terakhir ini tidak lepas dari konsep environment atau lingkungan sekitar.

Lingkungan atau habitat adalah totalitas benda, kekuatan dan kondisi, termasuk manusia dan segala aktivitasnya, yang hadir dalam ruang di mana manusia berada dan berpengaruh terhadap keberadaan, kebahagiaan, dan kesejahteraannya. Kesejahteraan manusia dan makhluk hidup lainnya. Sedangkan menurut Otto Soemarwoto, lingkungan hidup adalah ruang yang ditempati oleh makhluk hidup dengan benda hidup dan benda mati. Lingkungan hidup sebagai karunia dan rahmat Tuhan Yang Maha Esa kepada rakyat dan bangsa Indonesia merupakan ruang hidup dalam segala aspek dan dimensinya sesuai dengan visi nusantara. Memanfaatkan sumber daya alam untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat sebagaimana diatur dalam Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945 dan untuk mencapai

kebahagiaan hidup. Dengan pembangunan berkelanjutan yang berwawasan lingkungan, berdasarkan kebijakan nasional yang terpadu dan menyeluruh dengan memperhatikan kebutuhan generasi sekarang dan mendatang. Oleh karena itu, diperlukan penerapan pengelolaan lingkungan yang serasi, sinkron, dan seimbang untuk membantu pelaksanaan pembangunan berkelanjutan dari segi lingkungan. Lebih jelasnya L.L. Bernard mengusulkan untuk membagi lingkungan menjadi 4 (empat) bagian utama, yaitu sebagai berikut.

1. Lingkungan fisik atau anorganik, yaitu lingkungan yang meliputi gaya kosmik dan fisiogeografis seperti laut, tanah, udara, radiasi dan sebagainya
2. Lingkungan biologi atau organik, segala sesuatu yang bersifat biotik atau hidup berupa mikroorganisme, parasit, hewan, tumbuhan, lingkungan prenatal juga termasuk di sini, dan juga tahapan maupun proses biologis, salah satu contohnya pertumbuhan, fotosintesis, reproduksi, dan sebagainya.
3. Lingkungan atau ruang lingkup sosial, dikelompokkan kedalam tiga bagian, meliputi:
 - a. Lingkungan fisiososial yaitu mencakup kebudayaan materiil (alat), seperti peralatan senjata, mesin, gedung, dan lain-lain.
 - b. Lingkungan biososial, yaitu manusia ataupun makhluk hidup serta interaksinya terhadap sesamanya dan tumbuhan beserta hewan domestik dan semua bahan yang digunakan manusia yang berasal dari sumber organik.
 - c. Lingkungan psikososial atau ruang lingkup dalam bersosialisasi yang mencakup aspek fisik, yaitu yang berhubungan dengan tabiat batin manusia seperti sikap, pandangan, keinginan, dan keyakinan. Hal ini

terlihat melalui kebiasaan, agama, ideologi, bahasa, dan lain-lain.

4. Lingkungan komposit, yaitu rusmg lingkup ysng dibust dsn distrukturkan secara institusional, berupa lembaga-lembaga masyarakat, baik yang terdapat di daerah kota atau desa

Ilmu lingkungan adalah ilmu terperinci yang menyatukan beberapa prinsip dan konsep untuk memperoleh pemahaman mendalam dan valid. Lingkungan sangat luas dan untuk faktor-faktor di dalamnya sangat dipengaruhi oleh keadaan benda di dalamnya. Hewan, mikroorganisme, manusia dan tumbuhan memiliki tempat tersendiri namun saling bergantung. Selain hal yang bersifat biotik juga mencakup hal-hal abiotik seperti udara, tanah, air, batuan, mineral hingga atmosfer untuk cakupan yang lebih luas.

Hubungan timbaal balik antara lingkungan dan makhluk hidup meenunjukkan bahwa di dlamnya terjadi interaksi secara terus menerus. Keduanya saling mempengaruhi dan saling ketergantungan. Dalam hal ini bidang ilmu ekologi lah yang mepelajari hubungan timbal balik tersebut. Kepedulian dan uapaya melestarikannya adalah tindakan manusia atau organisme yang sadar akan lingkungan. Manusia hidup di lingkungan mempunyai berbagai visi dan arah. Manusia berlomba-lomba dan berusaha utntuk mencari kesejahteraan dan kebahagiaan hidup mereka. Manusia adalah organisme yang mendominasi pemanfaatan sumber daya alam atau memiliki habitat yang kendalina berada di kontril mereka sendiri. Habitat terbagi menjadi tiga lingkungan yaitu lingkungan alam, lingkungan sosial dan lingkungan buatan.

1. Lingkungan alam adalah segala suatu yang ada di alam dan diciptakan oleh Tuhan yang maha kuasa Allah Swt. Lingkungan semua hal yang sifatnya alamiah dan segala

sesuatu yang terbentuk tanpa adanya campur tangan manusia diantaranya meliputi kondisi geografis, iklim dan curah hujan, suhu, siklus air, tanah, hewan, udara tumbuhan dan sumber daya alam (hutan, air, tanah, batu-batuan, dan lain-lain). Lingkungan alam yang bersifat alami, adapun lingkungan buatan adalah lingkungan yang terbentuk karena campur tangan manusia.

2. Lingkungan sosial merupakan ruang lingkup maupun wilayah tempat berlangsungnya interaksi sosial antar berbagai kelompok, beserta pranata, simbol, dan norma, serta terkait dengan lingkungan alam dan lingkungan binaan/buatan.
3. Lingkungan buatan adalah lingkungan yang sengaja diperuntukkan atau diciptakan manusia untuk tujuan-tujuan tertentu dan untuk alternatif mempermudah kehidupan atau aktivitas sehari-hari, di samping mempermudah dalam memanfaatkan lingkungan alami misalnya bendungan, pabrik, pasar, sawah, tambak, perkebunan, penghijauan, pembangkit tenaga listrik, dan lain-lain.

1.3 Lingkungan sehat dan tidak sehat

Kesehatan merupakan hal yang mesti didapatkan dan dirasakan setiap organisme dan merupakan indikator sejahtera atau tidaknya kehidupan manusia. Usaha yang mestinya dicanangkan untuk meningkatkan kesehatan adalah menjaga lingkungan hidup, karena dalam kehidupan kita dihadapkan pada kondisi lingkungan yang kita tempati. Maka lingkungan hidup adalah kondisi fisik dimana semua aspek di dalamnya berpengaruh terhadap kualitas hidup. Seperti kualitas air, kualitas udara, sanitasi hingga pengelolaan sampah.

Unsur atau komponen hidup atau bersifat biotik adalah segala sesuatu yang bersifat fisik dan hidup, seperti hewan, tumbuhan, dan mikroorganisme kecil yang berfungsi sebagai dekomposer dalam lingkungan. Komponen biotik adalah komponen yang secara aktif memiliki sumbangsi atau peran besar dalam keberlangsungan kehidupan. Adapun komponen abiotik adalah komponen tak hidup tetapi sangat dibutuhkan oleh komponen biotik untuk menjalani kehidupan, bahkan beberapa di antaranya atau semua komponen abiotik menjadi kebutuhan primer bagi komponen biotik, contohnya yang sangat vital yaitu udara dan air, dan beberapa hal lainnya seperti tanah, dan batuan merupakan komponen penyusun lingkungan tempat kita bermukim. Penyatuan dan interaksi dan saling keterkaitan untuk menciptakan lingkungan yang layak huni menjadikan lingkungan itu adalah hal yang berpengaruh besar terhadap kehidupan manusia.

Menjaga dan merawat keberlangsungan lingkungan agar tetap dalam kondisi yang optimal memiliki peran yang sangat vital bagi kita semua dan individu-individu lainnya. Dalam usaha tersebut, apabila kita memiliki kesadaran untuk membentuk lingkungan yang mengedepankan kesehatan, maka dapat dipastikan bahwa cita-cita ini dapat tercapai. Konsep kesehatan dapat diartikan sebagai keadaan di mana tubuh berada dalam kondisi yang ideal dan bebas dari penyakit, meliputi segala aspek yang sederhana maupun kompleks dalam kehidupan sehari-hari. Aspek kesehatan juga melibatkan keseimbangan emosional dan kesehatan mental. Namun, mencapai kondisi kesehatan tersebut tidaklah mudah karena banyak faktor yang saling terhubung satu sama lain. Penting untuk mengenali tanda-tanda lingkungan yang mendukung kesehatan dan yang tidak, mengingat bahwa lingkungan memegang peranan kunci dalam kesejahteraan manusia. Definisi lingkungan mencakup situasi di sekitar tempat tinggal,

dan bahkan meluas hingga lingkungan perdesaan. Mewujudkan lingkungan yang mendukung kesehatan memerlukan kerjasama bersama. Keberadaan lingkungan yang mendukung kesehatan memiliki dampak yang signifikan terhadap pencapaian kesehatan, ketenangan, dan kenyamanan, serta berperan dalam mencegah dampak buruk seperti polusi udara. Di sisi lain, lingkungan yang tidak sehat akan berdampak negatif terhadap tumbuh kembang anak-anak yang hidup di dalamnya. Selain itu, lingkungan yang tidak sehat juga akan membuat para penghuni merasa tidak betah tinggal di sana. Lingkungan yang sehat cocok untuk digunakan sebagai tempat bermain anak atau tempat tinggal anak. Jika lingkungan rumah tidak sehat, maka dapat mempengaruhi kesehatan anak dan mempengaruhi tumbuh kembang anak. Dibutuhkan upaya dan upaya untuk menciptakan lingkungan yang sehat. Berikut adalah ciri-ciri lingkungan yang sehat:

1. Udara

Ciri utama yang mencolok dari lingkungan yang memiliki kualitas baik adalah keadaan udaranya. Kesehatan lingkungan dapat diartikan melalui kondisi udaranya. Apabila udara di sekitarnya bersih, segar, dan suhu udaranya sejuk, itu menunjukkan bahwa lingkungan tersebut dalam keadaan yang sehat. Udara yang bersih tidak akan menghambat pernapasan, tetapi sebaliknya, udara yang segar dan bersih memiliki efek menenangkan pada pernapasan. Dari segi visual, udara yang tidak tercemar tidak memiliki warna yang mencolok. Akan tetapi, gas-gas pencemar akan menyebabkan perubahan warna menjadi putih atau hitam pada udara. Perubahan warna udara ini disebabkan oleh tingkat polusi di sekitar lingkungan.

2. Pembuangan sampah

Keadaan lingkungan yang baik juga dapat diidentifikasi melalui ketersediaan sarana pengelolaan sampah yang dirancang untuk menampung berbagai jenis sampah dari warga sekitar, baik yang bersifat organik maupun anorganik. Dengan tersedianya fasilitas penampungan sampah ini, wilayah sekitar akan tetap terjaga kebersihannya. Saat lingkungan terjaga kebersihannya, risiko penyakit dan dampak pencemaran tanah dapat diminimalisir. Mengandalkan tempat penyimpanan sampah saja tidak mencukupi untuk merawat kebersihan lingkungan. Suatu lingkungan yang sehat memerlukan implementasi sistem pengelolaan sampah yang efisien. Sebagai contoh, pendekatan pemisahan antara sampah organik dan non-organik. Jika tidak diterapkan pengelolaan yang memadai, akibatnya akan terjadi penumpukan sampah di lokasi pembuangan, yang pada akhirnya berdampak pada terciptanya lingkungan yang tidak memenuhi standar kesehatan.

3. Adanya pengelompokan sampah

Salah satu indikasi lingkungan yang sehat adalah mengategorikan limbah berdasarkan karakteristiknya. Kebersihan lingkungan yang terjaga bermula di lingkungan domestik. Oleh karena itu, untuk menciptakan kebersihan lingkungan yang lebih baik, terutama bagi generasi muda, penting untuk mengklasifikasikan limbah berdasarkan sifatnya, termasuk yang dapat terurai secara alami dan yang tidak dapat terurai. Sisa-sisa daun, limbah kertas, serta sisa-sisa tumbuhan bisa dipisahkan dan ditempatkan di Tempat Pengolahan Akhir (TPA) organik. Sedangkan, bahan plastik seperti wadah makanan, sedotan, dan botol mineral, sebaiknya dimasukkan ke dalam tempat penyimpanan limbah non-organik. Saat ini, dalam lingkungan keluarga, praktik pemisahan limbah

berdasarkan karakteristiknya masih kurang umum, dan sering kali limbah non-organik dan organik dicampur dalam satu tempat. Akibatnya, proses daur ulang di TPA akan menjadi sulit ketika sampah sudah terkumpul.

4. Saluran air

Salah satu indikator lain yang dapat menunjukkan lingkungan itu bersih atau tidak adalah masih adanya saluran air yang bersih seperti sungai yang mengalir. Tentu saja saluran air maupun sungai yang dimaksud di sini adalah saluran yang belum tercemar, ciri-cirinya adalah tidak berwarna, tidak memiliki rasa, dan tidak berbau.

5. Terlengkapinya sarana kakus yang baik

Infrastruktur sanitasi yang efektif menjadi keharusan agar lingkungan air tawar tetap sehat dan terjaga. Meskipun kini sebagian besar rumah telah terhubung dengan sistem saluran air bersih dan limbah, masih terdapat sejumlah komunitas, terutama di daerah pedesaan, yang belum memiliki akses terhadap fasilitas sanitasi seperti toilet. Terdapat berbagai faktor yang menghambat ketersediaan toilet bagi masyarakat ini. Tantangan finansial dalam membangun toilet seringkali membuat penduduk memilih opsi toilet komunal di sepanjang sungai. Pendekatan ini, jika diterapkan secara berkelanjutan, dapat berkontribusi pada pemeliharaan kebersihan lingkungan secara keseluruhan.

6. Banyaknya tumbuhan hijau

Suatu tanda khas dari lingkungan yang sehat adalah adanya beragam tanaman hijau yang tersebar di sekitarnya. Kebersihan lingkungan mencakup kondisi di mana kelangkaan kekeringan tidak terjadi, sehingga panorama alam yang terlihat di wilayah tersebut tetap memancarkan warna hijau yang melimpah. Setiap tempat

tinggal memiliki peluang untuk menanam pepohonan, sehingga setiap rumah memiliki kebun yang tertata rapi dan terjaga. Tumbuhan yang tumbuh subur juga berperan dalam menghasilkan udara yang bersih. Sebagaimana yang telah kita pahami, kualitas udara yang tidak tercemar menjadi salah satu indikasi utama dari lingkungan yang terjaga dan sehat.

Selain lingkungan yang mendukung kesehatan, terdapat juga konsep lingkungan yang tidak memenuhi standar sehat. Tanda-tanda lingkungan yang tidak sehat berkebalikan dengan karakteristik lingkungan yang mendukung kesehatan. Kondisi lingkungan yang tidak sehat memiliki dampak negatif terhadap pertumbuhan dan perkembangan anak serta kesejahteraan individu yang tinggal di wilayah tersebut. Faktanya, kesehatan individu pada akhirnya akan terpengaruh oleh kondisi lingkungan yang tidak memenuhi standar kesehatan. Di bawah ini tercantum beberapa indikator lingkungan yang tidak sehat yang perlu diwaspadai:

1. Kualitas udara buruk

Ciri pertama dari lingkungan yang tidak atau kurang begitu sehat adalah keadaan udara di sekitarnya. Tanda lingkungan yang tidak sehat dapat dikenali dari mutu udaranya yang tidak baik. Kualitas udara yang jelek dapat terlihat dari warna udara yang berubah menjadi putih atau hitam karena dampak polusi. Tidak hanya itu, indikasi kualitas udara yang buruk juga dapat dikenali dari udara yang tidak segar dan memiliki aroma yang tidak enak. Terutama daerah pinggir jalan kota sekitar wilayah industri memiliki kemungkinan besar memiliki kualitas udara yang kurang baik akibat terpapar polutan. Adapun dampak yang ditimbulkan dari pencemaran udara ini dapat berdampak negatif pada kesehatan penduduk yang

tinggal di daerah tersebut, terutama yang berhubungan dengan gangguan pernapasan seperti asma. Anak-anak yang menghirup udara yang terkontaminasi ini berisiko mengalami infeksi pada saluran pernapasan paru-paru, serta meningkatnya kemungkinan terkena infeksi saluran pernapasan lainnya.

2. Tidak memiliki tempat sampah

Hal lain yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang sehat hingga dapat menimbulkan penyakit adalah tidak adanya tempat pembuangan sampah, limbah maupun sisa-sisa kotoran dari aktivitas manusia, sampah yang tidak dibuang pada tempatnya selain dapat mempengaruhi kualitas udara juga dapat mempengaruhi kualitas air apabila sampah tersebut dibuang di saluran air maupun di sungai.

3. Tidak ada tempat akhir pembuangan sampah

Ciri tambahan dari suatu lingkungan yang kurang sehat adalah ketiadaan lokasi yang jelas untuk menghilangkan limbah, sehingga banyak individu yang kebingungan mengenai cara membuang tumpukan sampah yang mereka miliki. Konsekuensinya, tumpukan sampah tersebut akan terus terakumulasi di wadahnya selama periode berhari-hari bahkan berminggu-minggu. Akumulasi limbah ini juga berkontribusi terhadap ketidaksehatan lingkungan karena menarik kehadiran lalat serta beraneka ragam hewan pembawa penyakit. Aroma tidak sedap dari timbunan sampah ini juga memberikan ketidaknyamanan bagi penduduk tempat tersebut.

4. Tidak ada pengelolaan limbah sampah

Hal lain yang menjadikan lingkungan tidak sehat tidak adanya pengelolaan atau pengaaturan dan pengelompokan sampah, misalnya sampah yang dapat terurai maupun yang tidak dapat terurai, ataupun yang bisa direcycle maupun

yang tidak dapat. Tidak adanya pengelolaan sampah yang baik dan benar dapat membuat kita keliru dalam pembuangan terakhir sampah juga membuat lingkungan menjadi tidak sehat.

5. Tidak tersedianya saluran air

Gejala lingkungan yang kurang sehat melibatkan kondisi dimana sistem drainase pada rumah-rumah tidak beroperasi dengan optimal, mengakibatkan sulitnya melaksanakan kebersihan diri dan sekitar dengan efisien. Keadaan ini berpotensi menciptakan lingkungan yang tidak sehat karena warga harus mencari cara alternatif, seperti membersihkan diri di sekitar aliran sungai. Di samping itu, keadaan sungai yang terkontaminasi juga turut berperan dalam pencemaran lingkungan secara keseluruhan. Karena alasan tersebut, esensialnya keberadaan sistem saluran air yang berkualitas dan terjaga tidak bisa diabaikan dalam upaya menjaga lingkungan tetap bersih dan sehat.

6. Sarana kakus tidak ada

Tidak adanya kakus atau sarana jamban rumah tangga membuat orang terpaksa harus buang air besar di sungai dan sangat berdampak pada kualitas aliran dan saluran air

7. Saluran limbah tidak tersedia

Pada masa kini, mayoritas warga di wilayah permukiman belum memiliki sarana pengelolaan sampah yang memadai. Banyak di antara mereka yang membuang limbah rumah tangga ke aliran sungai. Praktik tersebut berpotensi mengakibatkan kondisi lingkungan yang tidak sehat, karena melimpahnya sampah yang terbuang ke sungai bisa mengakibatkan timbulnya bau yang tak sedap dan kualitas udara yang tidak optimal bagi sistem pernafasan.

8. Gersang

Salah satu di antara banyaakny penyebab lingkungan tidak sehat adalah tidak adanya tanaman atau pohon yang tumbuh daerah tersebut atau daerah tersebut gersang, karena akan mengakibatkan suhu terlalu panas dan kekurangan udara bersih serta membuktikan bahwa daerah tersebut memang tidak sehat, karena bahkan pohon tidak mampu tumbuh dengan baik

9. Banyaknya hewan kotor berkeliaran

Keberadaan hewan di lingkungan yang tidak bersih seringkali menjadi hal yang umum padalingkungan yang kotor. Hewan cenderung menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan kotor karena mereka harus mencari makan dalam lingkungan tersebut. Ada risiko bagi manusia yang secara tidak sengaja mengonsumsi makanan atau minuman yang telah bersentuhan dengan hewan-hewan ini atau bahkan mengonsumsi secara langsung hewan ini, karena dapat menyebabkan berbagai tingkatan penyakit. Beberapa penyakit yang bisa muncul akibat interaksi dengan hewan-hewan yang hidup di lingkungan kotor meliputi gangguan pencernaan, demam berdarah, muntaber, diare dan masih banyak lagi..

10. Terlihat kumuh

Ciri yang paling menggambarkan lingkungan yang tidak sehat yaitu sampah banyak berserakan, bnyak lalat di mana-mana, bau tidak sedap hingga banyaknya pencemaran pada saluran airnya dan menyebabkan daerah tersebut terlihat kumuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Botkin, D. B. og Keller, EA. 2007. *Environmental Science. Earth as a Living Planet*.
- Hasmawaty, A. R. 2015. *Pengetahuan Lingkungan (Udara-Air-Tanah)*. Palembang: Dian Rakyat.
- Jepson, P., & Whittaker, R. J. 2002. Histories of protected areas: Internationalisation of conservationist values and their adoption in the Netherlands Indies (Indonesia). *Environment and history*, 8(2), 129-172.
- Bernard, L. L. 1925. A classification of environments. *American Journal of Sociology*, 31(3), 318-332.
- Miller, A. 2002. *Subset selection in regression*. CRC Press.
- Peraturan Daerah No. 8 Tahun 2011 tentang Lingkungan Hidup.
- Raven, P. H., & Berg, L. R. 2004. *Study Guide to Accompany Environment* [by Peter H. Raven, Linda R. Berg]. Wiley.
- Soemarwoto, O. 1994. *Ekologi Lingkungan dan Pembangunan*. Jakarta: Djambatan.
- Undang-Undang Republik Indonesia No. 32 Tahun 2009 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Wihardjo, R. S. D., & Rahmayanti, H. 2021. *Pendidikan Lingkungan Hidup*. Penerbit NEM.

BAB 2

EKOLOGI DAN EKOSISTEM

Oleh Daawia

2.1 Pengertian Ekologi dan Ekosistem

Ekologi berasal dari kata Yunani yaitu *oikos* artinya rumah dan *logos* artinya ilmu. Ekologi adalah cabang dari ilmu Biologi yang mempelajari hubungan timbal balik organisme atau makhluk hidup dengan lingkungannya. Beberapa ahli ekologi mendefinisikan pengertian ekologi lebih spesifik menurut versinya masing-masing. Ernst Haeckel mendefinisikan Ekologi sebagai ilmu pengetahuan komprehensif tentang hubungan organisme terhadap lingkungan hidupnya. Menurut E.P Odum Ekologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang struktur dan fungsi alam. G. Tyler Miller menyatakan Ekologi adalah ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara organisme dengan organisme lain serta lingkungannya. Charles Elton seorang ahli ekologi mendefinisikan ekologi sebagai ilmu yang mempelajari sejarah alam yang menggambarkan relung ekologi sebagai kedudukan fungsional suatu organisme dalam komunitasnya. Menurut Cambell dan Reece menyatakan Ekologi adalah ilmu pengetahuan tentang hubungan antara organisme dan lingkungannya atau ilmu yang mempelajari pengaruh faktor lingkungan terhadap jasad hidup. Secara harafiah, ekologi mempelajari organisme-organisme dirumahnya. Otto Soemarwoto seorang ahli lingkungan Indonesia mendefinisikan ekologi sebagai ilmu tentang interaksi timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungan sekitarnya.

Ekologi mempelajari hubungan timbal balik makhluk hidup pada berbagai level atau tingkatan mulai dari level individu, populasi, komunitas, ekosistem hingga biosfer. Tujuan utama para ahli ekologi adalah untuk memahami proses kehidupan, adaptasi dan habitat, interaksi dan keanekaragaman makhluk hidup.

Ekologi memiliki dua cabang yaitu Autekologi dan Sinekologi. Autekologi adalah studi hubungan timbal balik suatu jenis organisme dengan lingkungannya. Autekologi disebut juga ekologi populasi. Sedangkan Sinekologi adalah studi kelompok organisme pada spesies yang berbeda yang berinteraksi membentuk suatu komunitas.

Sedangkan istilah Ekosistem diperkenalkan pertama kali oleh ahli ekologi dari Inggris A.G. Tansley pada tahun 1935. Ekosistem mewakili unit fungsional dasar ekologi yang terdiri dari komunitas makhluk hidup yang berhubungan dan berinteraksi dengan lingkungan yang tidak hidup (abiotik). Sehingga komunitas biotik dan lingkungan abiotiknya mewakili suatu ekosistem. Tasley mendefinisikan ekosistem sebagai komunitas biotik dan lingkungan abiotik yang keduanya tak dapat dipisahkan dan berinteraksi satu sama lain. Odum mendefinisikan ekosistem sebagai unit dasar ekologi yang meliputi organisme hidup dan lingkungan tidak hidup (abiotik) yang mempengaruhi satu sama lain dan keberadaannya penting untuk menjaga kehidupan (Odum 1971). Mathavan (1974) memberikan definisi ekosistem sebagai keseluruhan organisme hidup, lingkungan dan proses interaksi antara beragam komponen dalam sistem.

Konsep interaksi faktor biotik dan abiotik dalam ekosistem akan mudah dipahami dengan ilustrasi bahwa hewan tidak akan dapat membuat makanannya sendiri, kehidupan hewan sangat bergantung pada tumbuhan baik secara langsung maupun tidak langsung. Tumbuhan tidak

dapat mensintesis makanannya sendiri, tumbuhan dalam mensintesis makanannya sangat bergantung pada lingkungannya yang membutuhkan cahaya matahari, air, karbondioksida garam-garam mineral, juga bahan organik dan anorganik lainnya yang terkandung di dalam tanah.

Faktor abiotik dalam ekosistem terbagi 3 yaitu (1) unsur dan senyawa anorganik (2) Senyawa organik dan (3) faktor fisik. Unsur dan senyawa anorganik adalah unsur hara yang penting bagi kehidupan tumbuhan seperti air, seng, besi, karbon, magnesium, fosfor dan nitrogen. Senyawa organik seperti karbohidrat, lemak dan protein berfungsi mengikat komponen biotik dan abiotik. Saat senyawa organik terurai maka akan menjadi humus atau unsur hara. Faktor fisik meliputi iklim, suhu, kelembaban, dan curah hujan.

2.2 Tahap-Tahap Utama dan Komponen Ekosistem

Tahap-tahap utama untuk beroperasinya suatu ekosistem adalah (1) Penerimaan energi, (2) Produksi makanan organik oleh produsen (3) Konsumsi materi organik oleh konsumen (4) Dekomposisi materi organik menjadi senyawa anorganik (5) Transformasi senyawa-senyawa tersebut menjadi senyawa yang dibutuhkan oleh produsen.

Dalam beroperasinya suatu ekosistem tidak hanya tahap produksi, perkembangan, dan kematian makhluk hidup tetapi juga dipengaruhi oleh komponen lingkungan abiotik dari suatu habitat (Odum & Barret, 2005).

Odum (1963) membagi ekosistem menjadi dua komponen yaitu komponen Autotrof dan komponen Heterotrof. Komponen Autotrof terdiri dari tumbuhan hijau yang menfiksasi energi sinar matahari dan melalui proses fotosintesis mengubah substansi anorganik sederhana menjadi senyawa organik (karbohidrat). Komponen heterotrof terdiri dari hewan dan decomposer (mikroorganisme seperti bakteri

dan jamur) yang menggunakan dan merombak substansi atau senyawa kompleks menjadi senyawa anorganik sederhana.

McIntosh (1987) membagi ekosistem menjadi 4 komponen yaitu (1) Komponen Abiotik (2) Produsen (3) Konsumen dan (4) Dekomposer). Komponen-komponen ekosistem tersebut dihubungkan oleh satu alur aliran energi dari sinar matahari dan siklus materi.

Komponen Abiotik dalam suatu ekosistem termasuk zat anorganik dasar seperti air, karbondioksida, oksigen, nitrogen, kalsium, phosphate, karbonat, nitrat dan sebagainya. Unsur-unsur tersebut tersedia bebas di alam atau dalam bentuk senyawa yang larut dalam air atau terkandung di dalam tanah. Beberapa diantara zat-zat tersebut merupakan hasil dari aksi mikroorganisme merombak tubuh hewan dan tanaman yang telah mati.

Produsen adalah organisme autotrof yaitu tumbuhan hijau yang mampu membuat makanannya sendiri dari senyawa anorganik. Di dalam suatu ekosistem produsen mungkin diwakili oleh tumbuhan mikroskopik (fitoplanton) dan alga atau tumbuhan air yang mengapung pada perairan dangkal. Fitoplanton menyebar pada seluruh kolam atau danau sedalam cahaya yang mampu penetrasi. Contoh lain dari produsen adalah rumput yang tumbuh pada padang rumput, pohon yang tumbuh di hutan, tanaman yang mengapung pada kolam atau danau.

Konsumen adalah organisme heterotrof atau fagotrof yang memakan atau mengkonsumsi produsen secara langsung atau tidak langsung. Herbivora atau organisme yang memakan tumbuhan (produsen) disebut sebagai konsumen primer di dalam ekosistem. Rusa dan kelinci adalah konsumen primer di hutan sedangkan protozoa, krustasea, dan moluska adalah konsumen primer pada kolam atau danau yang memakan alga. Serangga dan hewan ruminansia adalah konsumen primer

pada ekosistem terrestrial. Hewan karnivora dan omnivora disebut sebagai konsumen sekunder yang memakan hewan herbivora. Beberapa contoh konsumen sekunder adalah anjing, kucing, serigala, Rubah (Fox). Konsumen tersier adalah hewan-hewan yang memakan konsumen sekunder contohnya seperti singa dan harimau.

Pengurai atau dekomposer adalah mikroorganisme seperti bakteri dan jamur yang berperan dalam menguraikan hewan atau tumbuhan yang telah mati menjadi senyawa yang lebih sederhana yang dibebaskan ke atmosfer atau ke dalam tanah yang digunakan oleh produsen untuk mensintesa makanannya.

2.3 Aliran Energi dalam Ekosistem

Aliran energi adalah pemindahan energi dari satu bentuk ke bentuk energi yang lainnya yang dimulai dari sinar matahari lalu ke produsen, konsumen primer (herbivora), konsumen tingkat tinggi (karnivora) hingga pengurai. Aliran energi juga berarti pemindahan energi dari satu tingkatan trofik ke tingkat trofik berikutnya. Dalam proses pemindahan tersebut selalu terjadi pengurangan jumlah energi pada setiap tingkat trofik.

Dalam suatu ekosistem organisme saling berinteraksi dengan organisme lain juga berinteraksi dengan lingkungan fisik disekitarnya. Faktor biotik dan abiotik dalam ekosistem terhubung melalui aliran energi dan materi. Aliran energi dalam ekosistem adalah satu arah dimana sumber utama energi berasal dari sinar matahari. Tumbuhan hijau sebagai produsen menangkap energi sinar matahari dan menggunakannya untuk mensintesis karbohidrat dengan bahan dasar karbondioksida dan air melalui proses fotosintesis. Karbon dari karbondioksida akan membentuk karbohidrat, lemak dan protein yang merupakan bahan bakar kehidupan.

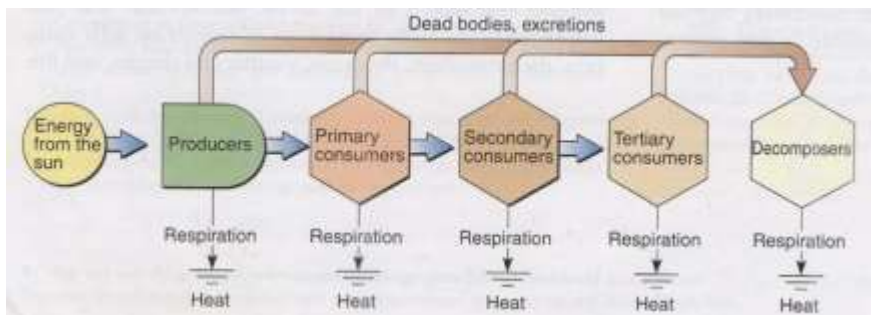
Dalam ekosistem energi mengalir melalui rantai makanan dimana energi dari makanan dan melewati satu organisme ke organisme berikutnya secara berurutan. Dari tumbuhan (produsen) yang menangkap energi dari sinar matahari lalu ke herbivora dan karnivora. Proses tersebut terjadi dalam rantai makanan dan jaring-jaring makanan agar organisme mendapatkan energi dan menggunakannya untuk membangun jaringan tubuhnya dan beraktivitas.

Energi dari sinar matahari mengalir satu arah atau linier melalui jaring-jaring makanan. Starr & Tagart (1998) membagi jaring-jaring makanan menjadi dua jenis yaitu *grazing food web* dan *detrital food web*. Pada *grazing food web* energi mengalir dari tumbuhan hijau yang melakukan fotosintesis (produsen) ke herbivora dan serangkaian karnivora. Sebaliknya *detrital food web* energi mengalir dari sinar matahari ke produsen (tumbuhan hijau) lalu ke detritivor dan dekomposer. Jumlah energi yang mengalir melalui jaring-jaring makanan berbeda antar ekosistem bahkan berbeda pada musim yang berbeda. Energi meninggalkan ekosistem melalui panas yang dibebaskan saat terjadi proses metabolisme dalam tubuh setiap organisme. Jaringan dari tumbuhan merupakan dasar bagi *grazing food web* sedangkan sisa dan sampah dari produsen dan konsumen merupakan bahan dasar dari *detrital food web*.

Keberadaan makhluk hidup di planet bumi ini sangat tergantung pada aliran energi dan sirkulasi materi dalam ekosistem. Energi sangat vital dibutuhkan oleh setiap kehidupan organisme dan untuk aktivitasnya. Dan sumber utama energi adalah matahari. Energi matahari memasuki planet bumi dalam bentuk cahaya matahari. Sekitar 57 % dari energi matahari diserap oleh atmosfer dan tersebar acak di ruang angkasa. Sekitar 36 % energi matahari digunakan untuk menghangatkan perairan dan daratan juga juga untuk

penguapan air. Hanya sekitar 8 % dari energi matahari ditangkap oleh tumbuhan. Dari 8 % tersebut, 80-85 % diserap oleh tumbuhan dan sekitar 50 % digunakan untuk fotosintesis (Odum & Barrett, 2005).

Konsumen primer atau herbivora mengambil energi kimia dari tumbuhan dan sebagian besar dibebaskan dalam bentuk panas saat respirasi dan panas ini dibebaskan keluar dari ekosistem. Hanya sebagian kecil energi yang diikat dalam bentuk energi kimia dalam protoplasma. Proses yang sama juga diulang pada konsumen sekunder yang umumnya adalah karnifora. Energi ditansfer dari satu trofik ke level trofik selanjutnya dan sebagian besar energi dilepaskan dalam bentuk panas dan tidak akan kembali ke ekosistem.



Gambar 2.1. Aliran energi satu arah yang melewati ekosistem (Solomon et al. 1999).

Gambar 2.1 mengilustrasikan aliran energi satu arah dimana energi matahari memasuki ekosistem. Energi cahaya matahari ditangkap oleh produsen (tumbuhan) dan melalui proses fotosintesis energi cahaya matahari diubah menjadi energi kimia (karbohidrat). Selanjutnya energi mengalir melalui proses rantai makanan dan jaring-jaring makanan. Tumbuhan dimakan oleh konsumen primer lalu konsumen primer dimakan oleh konsumen sekunder lalu konsumen

sekunder dimakan oleh konsumen tersier. Produsen dan konsumen primer, sekunder dan tersier menggunakan energi yang diterimanya untuk proses metabolisme dan saat respirasi sebagian energi tersebut dibebaskan melalui panas. Hal ini menyebabkan transfer energi dalam ekosistem tidak efisien karena sebagian energi digunakan untuk metabolisme dan sebagian lagi dibebaskan dalam bentuk panas saat respirasi sehingga transfer energi ke tingkat trofik selanjutnya sangat sedikit seperti digambarkan pada gambar 1.

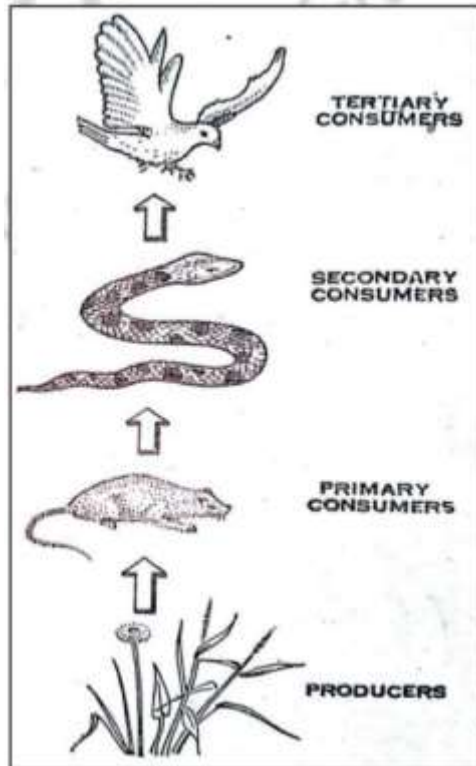
Jadi aliran energi dalam ekosistem dimulai dari pancaran energi sinar matahari yang kemudian ditangkap oleh tumbuhan hijau (produsen) dan diubah (produsen) menjadi energi kimia dalam bentuk senyawa-senyawa organik seperti karbohidrat, lemak dan protein. Senyawa organik tersebut dimakan oleh konsumen dan terjadi perpindahan energi dari produsen ke konsumen. Senyawa organik (energi kimia) digunakan untuk pertumbuhan dan perkembangan organisme. Jadi aliran energi dalam ekosistem berlangsung pada peristiwa rantai makanan, jaring-jaring makanan dan piramida ekologi serta tingkat trofik.

2.4 Rantai Makanan

Aliran energi dalam ekosistem dapat dilihat pada peristiwa rantai makanan dan jaring-jaring makanan. Berbagai jenis organisme dalam ekosistem seperti tumbuhan, hewan, pengurai (*decomposer*) dihubungkan satu sama lain oleh persyaratan nutrisi mereka. Individu-individu dihubungkan satu sama lain melalui rantai makanan, sehingga rantai makanan dapat didefinisikan sebagai kelompok organisme dimana terjadi transfer energi makanan melalui suatu seri yang berulang memakan atau dimakan (Egerton, 2007).

Rantai makanan juga menunjukkan bagaimana organisme dihubungkan satu sama lain melalui makanan yang mereka

makan. Setiap tingkat rantai makanan mewakili tingkat trofik yang berbeda. Rantai makanan diperkenalkan pertama kali oleh Charles Elton yang juga memperkenalkan jaring-jaring makanan.



Gambar 2.2. Contoh rantai makanan (Egerton, 2007).

Setiap rantai makanan terdiri dari diagram deskriptif berupa serangkaian anak panah yang masing-masing menunjuk dari satu spesies ke spesies lainnya yang mewakili aliran energi makanan dari satu jenis organisme yang memberi makan organisme lainnya. Jumlah step dalam rantai makanan sebanyak 4 atau 5 step dan setiap step dan sebagian besar

energi yang ditransfer hilang dibebaskan sebagai panas (Egerton 2007) seperti ditunjukkan gambar 2.2.

Ada 3 jenis rantai makanan yaitu (1) Rantai makanan Predator, (2) Rantai Makanan Parasitik dan (3) Rantai Makanan Saprofitik.

1. Rantai Makanan Predator

Rantai makanan predator berawal dari herbivora atau hewan pemakan tumbuhan dimangsa oleh predator kecil dan akhirnya predator kecil dimangsa oleh predator yang lebih besar. Herbivora merupakan konsemen primer yang berperan sebagai tingkat trofik kedua dan predator sebagai konsumen sekunder dan tersier. Ukuran predator meningkat pada setiap tingkat rantai makanan. Predator pada tingkat pertama lebih kecil dibandingkam predator tingkat kedua. Predator adalah hewan yang memakan hewan lain sedangkan hewan yang dimakan predator disebut mangsa atau *prey*.

2. Rantai Makanan Parasitik

Rantai makanan parasitik juga berawal dari herbivora namun energi ditransfer dari organisme yang lebih besar kepada organisme yang lebih kecil untuk memenuhi persyaratan makanan dari inang kepada parasit.

3. Rantai Makanan Saprofitik

Rantai makanan saprofitik menunjukkan transfer energi dari materi organik yang telah mati dari tumbuhan atau hewan kepada mikroorganisma.

2.5 Jaring-jaring Makanan

Jaring-jaring makanan adalah alat konseptual penting untuk menggambarkan hubungan makan dan dimakan antar spesies dalam suatu komunitas, juga mengungkap interaksi

spesies dan struktur komunitas dan berguna untuk memahami dinamika transfer energi dalam suatu ekosistem.

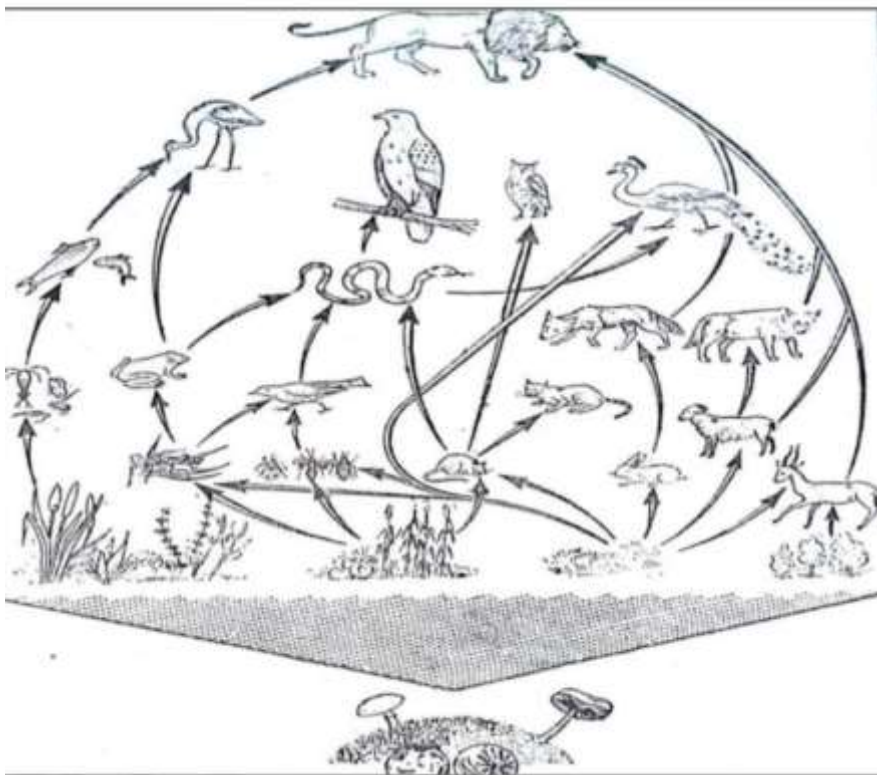
Jaring-jaring makanan adalah konsep ekologi yang penting yang menggambarkan hubungan memakan dan dimakan dalam suatu komunitas (Smith & Smith 2009). Jaring-jaring makanan juga menggambarkan transfer energi makanan dari sumbernya yaitu tumbuhan melalui herbivora ke karnivora (Krebs 2009). Biasanya jaring-jaring makanan terdiri dari sejumlah rantai makanan yang terhubung satu sama lain.

Kenyataannya rantai makanan tidak terisolasi secara terpisah-pisah melainkan terhubung satu sama lain. Sebagai contoh manusia dan banyak organisme lainnya pada saat yang bersamaan adalah sebagai herbivora dan karnivora sehingga menduduki tingkat trofik yang berbeda-beda dalam rantai makanan. Juga ada beberapa karnivora yang memiliki berbagai tipe mangsa (prey) yang saling tumpang tindih. Hubungan trofik antar organisme dalam ekosistem jarang dalam bentuk rantai makanan yang sederhana tetapi membentuk jaringan yang sangat rumit. Lebih jauh berbagai tipe rantai makanan berinteraksi satu sama lain.

Pola yang saling terkait dari beberapa rantai makanan membentuk jaring-jaring makanan. Sehingga Jaring-jaring makanan didefinisikan sebagai suatu hubungan dimana predator memakan beberapa tipe makanan dan setiap jenis makanan dimakan oleh berbagai organisme yang berbeda dan merupakan hasil interaksi antara berbagai jenis rantai makanan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 (Egerton, 2007).

Jaring-jaring makanan menawarkan alat penting untuk menyelidiki interaksi ekologis yang menentukan aliran energi dan hubungan predator-mangsa (Cain et al. 2008). Gagasan untuk menerapkan rantai makanan pada ekologi dan menganalisis konsekuensinya pertama kali diajukan oleh

Charles Elton (Krebs 2009). Pada tahun 1927 Charles Elton mengakui bahwa panjang rantai makanan ini terbatas pada 4 atau 5 rantai dan setiap rantai tidak terisolasi tapi terhubung bersama membentuk jaring-jaring makanan. Interaksi memakan dan dimakan yang diwakili oleh jaring-jaring makanan juga memiliki efek yang mendalam pada kekayaan spesies dalam komunitas serta produktivitas dan stabilitas ekosistem (Ricklefs 2008).



Gambar 2.3. Diagram Jaring-Jaring Makanan (Egerton, 2007).

2.6 Tingkat Trofik

Tingkat trofik suatu organisme adalah posisi yang didudukinya pada jaring-jaring makanan. Tingkat trofik juga menunjukkan jumlah tingkat yang ditempati suatu organisme mulai dari awal jaring-jaring makanan. Jaring-jaring makanan mulai dari tingkat 1 yaitu produsen primer seperti tumbuhan dan bergerak menuju herbivora pada tingkat ke-2, karnivora pada tingkat ke-3 atau tingkat selanjutnya dan biasanya diakhiri dengan top predator pada tingkat 4 dan 5 seperti yang ditunjukkan gambar 4. Alur sepanjang rantai makanan dapat membentuk satu alur yang linier atau membentuk jaring-jaring makanan. Komunitas dengan keragaman organisme yang tinggi akan membentuk tingkat trofik yang kompleks.

Kata trofik (trophe) berasal dari kata Yunani yang berarti makanan. Konsep tingkat trofik diperkenalkan oleh Raymond Lindeman pada tahun 1942. Jaring-jaring makanan menggambarkan ekosistem sedang tingkat trofik menggambarkan posisi organisme dalam jaring-jaring makanan. Tingkat trofik tidak selalu sederhana karena satu organisme menempati lebih dari satu tingkat trofik. Sebagai contoh beberapa jenis karnivora juga memakan tanaman dan beberapa tanaman adalah karnivora. Karnivora besar mungkin memakan karnivora kecil dan herbivora. Bobcat makan kelinci dan singa gunung makan bobcat dan kelinci. Hewan juga dapat memakan satu sama lain. Kebiasaan makan hewan muda berubah seiring menuju dewasa dan sebagai konsekwensi juga terjadi perubahan tingkat trofik.



Gambar 2.4. Tingkat trofik yang menunjukkan energi kimia dalam makanan mengalir dalam ekosistem (Solomon et. al 1999)

Gambar 2.4 adalah contoh tingkat trofik yang menjelaskan aliran energi kimia yang terkandung dalam makanan mengalir dalam ekosistem. Tingkat trofik membantu kita menyederhanakan jaring-jaring makanan yang kompleks

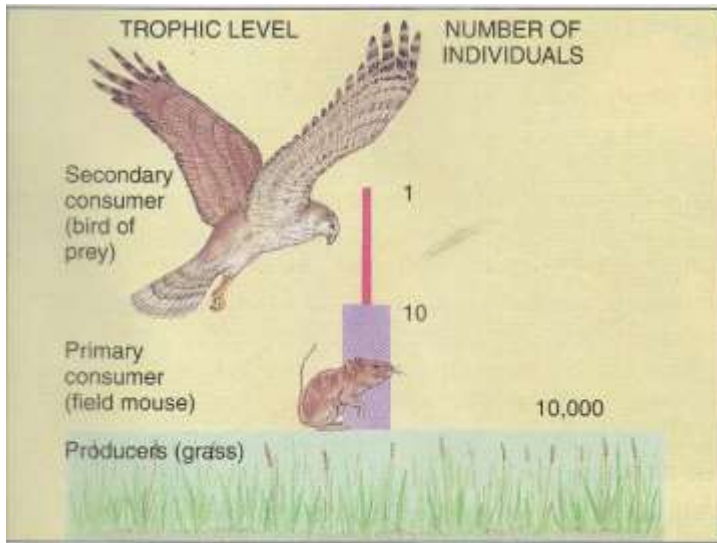
dengan mengelompokkan organisme berdasarkan posisinya dalam jaring-jaring makanan.

2.7 Piramida Makanan

Piramida makanan atau disebut juga piramida ekologi mewakili struktur trofik juga fungsi trofik dalam ekosistem. Piramida makanan menggambarkan hubungan antar organisme pada setiap tingkat trofik. Hubungan dan interaksi organisme pada setiap tingkat trofik digambarkan dalam bentuk piramida atau kerucut. Ada 3 macam Piramida makanan yaitu (1) Piramida Populasi, (2) Piramida energi dan (3) Piramida Biomasa.

2.7.1 Piramida Populasi

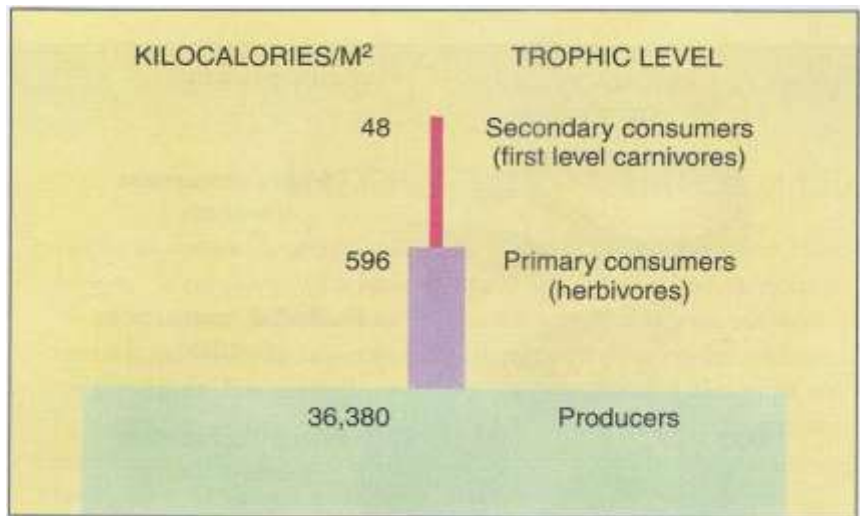
Piramida populasi menunjukkan jumlah organisme pada setiap tingkat trofik pada suatu ekosistem. Umumnya jumlah populasi makin menurun seiring naiknya tingkat trofik seperti diilustrasikan pada gambar 2.5. Jumlah populasi rumput (produsen) 10.000 individu, sedangkan jumlah herbivora (tikus) 10 individu dan predator (burung) pemakan tikus hanya 1 individu.



Gambar 2.5. Contoh Piramida Populasi atau jumlah individu (Solomon et.al 1999)

2.7.2 Piramida Energi

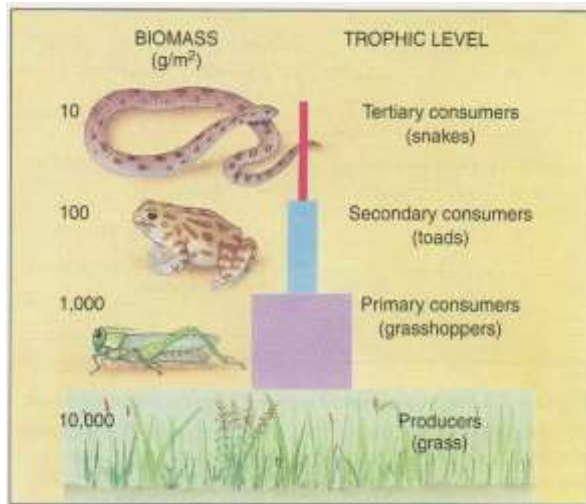
Piramida energi mengindikasikan jumlah energi dalam biomasa pada setiap tingkat trofik. Lebih sedikit energi yang mencapai tingkat trofik berikutnya karena energi pada tingkat trofik yang lebih rendah digunakan oleh organisme yang berada pada tingkat trofik tersebut untuk beraktifitas dan sebagian energi hilang sesuai dengan hukum Termodinamika.



Gambar 2.6. Contoh Piramida energi (Solomon et.al 1999)

2.7.3 Piramida Biomasa

Piramida biomasa mengilustrasikan total biomasa pada setiap tingkat trofik. Biomasa adalah total jumlah masa dari materi hidup yang menunjukkan jumlah energi yang diikat pada waktu tertentu. Unit untuk menghitung biomasa bervariasi yang dapat dihitung berdasarkan volume, berat kering atau berat basah. Umumnya piramida biomasa menggambarkan pengurangan progresif biomasa pada tingkat trofik berikutnya. Semakin tinggi tingkat trofik semakin berkurang biomasanya seperti yang ditunjukkan Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Contoh Piramida Biomasa

Piramida biomasa terbalik biasa ditemukan pada ekosistem air laut dimana produsen adalah alga bersel satu (Phytoplankton) yang memiliki siklus hidup yang pendek dan bereproduksi sangat cepat dimakan oleh sejumlah herbivora seperti zooplankton dan hewan laut lainnya yang tinggal di dasar laut yang memiliki biomasa lebih besar seperti ditunjukkan gambar 2.8.



Gambar 2.8. Contoh Piramida Biomasa terbalik pada ekosistem perairan laut.

2.8 Dampak Kegiatan Manusia Terhadap Keseimbangan Ekosistem

Kemajuan teknologi menyebabkan manusia lebih unggul dibandingkan spesies lainnya di planet Bumi. Dengan teknologi manusia mampu mengatasi tekanan daya dukung global atas batas jumlah individu yang dapat didukung oleh planet Bumi yang mengakibatkan terjadinya ledakan populasi manusia. Ledakan jumlah populasi manusia yang saat ini hampir mencapai 8 milyar menyebabkan manusia mengeksploitasi lebih banyak sumber daya yang memiliki implikasi signifikan bagi kesehatan ekosistem Bumi.

Berikut ini adalah 5 dampak antropogenik yang paling signifikan pada ekosistem yang ditimbulkan oleh kegiatan manusia.

2.8.1 Hilangnya Habitat

Hilangnya habitat terjadi melalui perubahan penggunaan lahan seperti hutan dikonversi menjadi lahan pertanian, pertambangan, pemukiman dan sebagainya. Pembukaan hutan menyebabkan hilangnya habitat berbagai satwa liar yang dapat mengakibatkan makin langkanya spesies satwa liar bahkan dapat berdampak kepada kepunahan spesies. Pembukaan hutan juga berdampak pada makin berkurangnya keanekaragaman spesies tumbuhan.

2.8.2 Polusi

Polusi terjadi ketika polutan (zat berbahaya) memasuki lingkungan perairan, darat dan udara. Contoh polutan adalah limbah zat-zat kimia berbahaya bagi lingkungan. Contoh limbah nitrogen dari pupuk kimia dapat menyebabkan pertumbuhan ganggang yang cepat di lautan. Ledakan ganggang tersebut menyebabkan persediaan oksigen berkurang di perairan sehingga menghasilkan zona mati yang tidak dapat mendukung kehidupan tumbuhan dan hewan perairan.

2.8.3 Spesies Invasif

Spesies invasif adalah spesies pendatang yang berasal dari tempat atau wilayah lain namun sudah mapan dilingkungan yang baru. Spesies infasif dipindahkan manusia dari tempat aslinya saat perjalanan atau karena perdagangan. Spesies invasif dapat memangsa spesies asli atau mengalahkan spesies asli dalam mendapatkan sumber daya. Spesies invasif biasanya tidak memiliki predator pada habitatnya yang baru sehingga populasi dapat terus bertambah dan mengganggu keseimbangan ekosistem yang ada.

2.8.4 Eksploitasi Sumber Daya Alam secara Berlebihan

Manusia sudah mengeksploitasi Sumber Daya Alam secara berlebihan untuk memenuhi kebutuhan makanan dan tempat tinggal bagi populasi manusia yang makin meningkat yang hingga saat ini telah mencapai 8 milyar. Sebagai contoh penangkapan ikan berlebihan dalam satu waktu dan tidak memberi kesempatan ikan untuk bereproduksi apalagi jika penangkapan menggunakan alat-alat yang tidak ramah lingkungan seperti racun dan pukat harimau. Contoh lain dari eksploitasi berlebihan adalah penebangan hutan yang sangat kaya dengan keanekaragaman hayati flora dan fauna menjadi lahan-lahan pertanian monokultur termasuk kegiatan konversi hutan menjadi perkebunan kelapa sawit di negara-negara Asia Tenggara termasuk Indonesia. Eksplorasi bahan bakar fosil juga dilakukan secara besar-besaran untuk memenuhi kebutuhan manusia akan bahan bakar fosil telah menyebabkan persediaan bahan bakar fosil di Bumi makin menipis sedangkan sumber daya ini tidak dapat digantikan begitu habis digunakan.

2.8.5 Perubahan Iklim Global

Perubahan iklim secara global disebabkan oleh banyak faktor namun terutama dikaitkan dengan aktivitas manusia menggunakan bahan bakar fosil yang sangat berpengaruh pada pemanasan global. Perubahan iklim menggambarkan pergeseran jangka panjang pola cuaca secara global yang memiliki dampak yang signifikan pada tingkat regional. Sebagai contoh beberapa negara yang semula memiliki iklim sedang (tidak begitu panas) saat ini memiliki iklim lebih panas dan curah hujan tahunan yang lebih sedikit. Perubahan iklim terjadi relatif cepat berhubungan dengan waktu geologis yang menyebabkan spesies yang tidak dapat beradaptasi dengan perubahan yang sangat cepat sehingga terancam kepunahan.

Perubahan yang terjadi dalam ekosistem yang terjadi secara alami terjadi selama rentang waktu ekologis dan geologis dalam waktu yang lama dan terjadi adaptasi dan evolusi makhluk hidup sebagai akibat seleksi alam. Perubahan-perubahan yang terjadi secara alami sebagai akibat dari suksesi juga diikuti oleh perubahan susunan spesies dalam komunitas. Ekosistem selalu memanfaatkan energi yang tersedia secara efisien dalam keterbatasan lingkungan fisik. Perubahan dapat disebabkan oleh faktor alami atau buatan yang menyebabkan penyesuaian spesies yang ada atau terciptanya spesies baru untuk mengisi relung ekologi baru dalam ekosistem. Pada level organisasi populasi dan komunitas, kontrol dihasilkan oleh banyaknya hubungan intraspesifik dan interspesifik (Odum & Barrett, 2005).

Terjadi banyak perubahan dalam ekosistem sebagai akibat dari kegiatan manusia (antropogenik) yang telah berdampak sangat signifikan terhadap keseimbangan ekosistem. Banyak rantai makanan dan jaring-jaring makanan yang terputus akibat penggunaan racun atau eksploitasi yang berlebihan yang berdampak pada piramida makanan dalam

ekosistem. Banyak spesies yang berperan sebagai top predator jumlahnya makin berkurang bahkan terancam kepunahan. Punahnya predator menyebabkan ledakan populasi prey atau mangsa yang menimbulkan masalah ketidakseimbangan ekosistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Cain, M. L., Bowman, W. D. & Hacker, S. D. 2008. *Ecology*. Sunderland MA: Sinauer Associate Inc.
- Egerton, F. N. 1973. *Changing concepts of the balance of nature*. Quarterly Review of Biology. 48: 322–350.
- Krebs, C. J. 2009. *Ecology* 6th ed. San Francisco CA: Pearson Benjamin Cummings.
- Mathavan, S. 1974. *Ecophysiological studies in chosen insects (Odonata: Anisoptera)*. Ph. D. thesis, Madurai University, Madurai.
- McIntosh, R.P. 1987. *The Background of Ecology: Concept and Theory*. Journal of Ecology. Vol. 75, No. 1 (Mar., 1987), pp. 281-283.
- Odum, E. P. 1963. *Primary and Secondary energy flow in relation to ecosystem structure*. Washington, D.C.: Proceedings of the Sixteenth International Congress of Zoology. 336-338.
- Odum, E.P. 1971. *Fundamental of Ecology*. W.B. Saunders Company, Philadelphia.
- Odum, E.P. & G. W. Barrett., 2005. *Fundamentals of ecology*. 5th Edition. Thomson Learning, United State.
- Ricklefs, R. E. 2008. *Disintegration of the ecological community: American Society of Naturalists Sewall Wright award winner address*. The American Naturalist, 172(6), 741-750.
- Smith, T. M. & Smith, R. L. 2009. *Elements of Ecology* 7th ed. San Francisco CA: Pearson Benjamin Cummings.
- Solomon, E.P, Berg, L.R and Martin, D.W. 1999. *Biologi* 5th Edition. Emily Barrosse Publisher.
- Starr, C. and R. Taggart. 1998. *Biology: The Unity and Diversity of Life*. Wadsworth Publisher.

BAB 3

PENCEMARAN LINGKUNGAN

Oleh Bambang Suhartawan

3.1 Pendahuluan

Pencemaran Lingkungan adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan/atau komponen lain di dalam Lingkungan Hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu Lingkungan Hidup yang telah ditetapkan (PP 22, 2021).

Guna menjamin kelangsungan dan kelestarian hidup manusia dan organisme lain di muka bumi ini, tidak lepas dari sebuah lingkungan hidup dimana mereka berada. Oleh sebab itu bahwa lingkungan hidup selalu menjadi bagian dalam kehidupannya. Setiap aktivitas manusia di muka bumi akan memberikan dampak terhadap lingkungannya, dan ini berpengaruh bagi kesehatan dan kelangsungan hidup manusia dan organisme lainnya. Kondisi seperti ini sudah barang tentu terjadi penurunan kualitas lingkungan hidup.

Dengan menghebatnya revolusi industri di abad – 19 yang lalu setiap negara berlomba menciptakan produk-produk dengan memanfaatkan sumber daya alam yang ada di bumi untuk memenuhi kebutuhannya. Di sisi lain aktivitas industri umumnya memberikan dampak negatif terhadap kelestarian lingkungan karena menghasilkan polutan yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan tentu menurunkan kualitas lingkungan hidup.

Kualitas hidup kita sangat dipengaruhi oleh lingkungan dimana kita hidup. Udara dan air merupakan komponen lingkungan yang vital kita butuhkan terutama udara dan air

yang memenuhi standar kualitas. Jika kualitas udara dan air telah tercemar maka kualitas hidup kita juga akan terganggu, kurang nyaman dalam beraktivitas, kesehatan menurun, ketahanan tubuh menurun sehingga mudah terserang penyakit.

Jika lingkungan hidup tidak lagi memenuhi fungsi atau keperuntukannya, maka hal tersebut sudah dapat dikatakan dalam kondisi tercemar. Hal ini dapat terjadi karena adanya zat asing berupa polutan pada lingkungan hidup tersebut.

Berdasarkan sifat zatnya, pencemaran dapat digolongkan menjadi 3 golongan, yaitu :

3.1.1 Pencemaran Fisika

Pencemaran fisika adalah pencemaran yang disebabkan oleh masuknya benda-benda berbentuk fisik baik cair, padat dan gas. Beberapa contoh pencemaran fisik adalah limbah detergen, plastik, logam-logam (kaleng dan lain-lain), kaca dan karet.

3.1.2 Pencemaran Kimia

Pencemaran kimia merupakan pencemaran yang diakibatkan masuknya zat kimia baik bersifat organik maupun anorganik. Beberapa contoh yang tergolong pencemaran kimia adalah limbah senyawa logam dan logam berat, detergen, nitrat, asam sulfat, zat radioaktif, minyak dan pestisida.

3.1.3 Pencemaran Biologi

Pencemaran biologi disebabkan oleh masuknya makhluk hidup (mikrobiologi) dalam media lingkungan yang dapat menurunkan kualitas lingkungan. Beberapa contoh pencemar biologi dalam air adalah bakteri *Escherichia coli*, bakteri *Salmonella typhosa*, dan jenis protozoa *Entaboba coli*.

Dilihat dari media yang dicemari, masalah pencemaran dapat digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu pencemaran air

(*water pollution*), pencemaran udara (*air pollution*) dan pencemaran tanah (*soil pollution*).

3.2 Pencemaran Air

Pencemaran air adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga melampaui Baku Mutu air yang telah ditetapkan (PP 22, 2021). Pencemaran air juga dapat diartikan masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi dan atau komponen lain ke dalam lingkungan atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau proses alam sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (UU Nomor 4, 1982). Sedangkan yang dimaksud Baku Mutu air adalah batas yang dapat ditenggang keberadaannya dalam air berupa makhluk hidup, zat, energi dan/atau komponen lain.



Gambar 3.1. Pencemaran Air
Sumber : <https://informazone.com>

3.2.1 Bahan Pencemar (polutan) air

Berdasarkan wujud zat pencemar (polutan), pencemaran air dapat berupa :

1. ***Limbah Domestik***

Yaitu limbah yang dihasilkan oleh rumah tangga (domestik) oleh ada aktifitas sehari-hari. Contoh limbah rumah tangga adalah detergen, plastic, kaca dan minyak.

2. ***Limbah Industri***

Yaitu limbah yang diakibatkan oleh aktifitas industri. Beberapa contohnya adalah berbagai jenis logam Besi (Fe), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), Cadmium (Cd), zat pewarna sintetik, suhu, plastic, kain, kertas, kabel, kayu dan berbagai partikel padat.

3. ***Limbah Pertanian***

Yaitu zat pencemar (polutan) hasil kegiatan pertanian yang merupakan bahan yang tidak terpakai atau sisa-sisa kegiatan pertanian. Beberapa contohnya adalah jerani, sekam padi, kotoran hewan, pestisida, herbisida dan fungisida.

4. ***Limbah Tumpahan Minyak***

Yaitu limbah yang disebabkan oleh tumpahan minyak oleh kapal tangker atau kebocoran kilang minyak lepas pantai dimana permukaan laut dilapisi oleh minyak.

3.2.2 Aspek Kimia dan Fisika Pencemaran Air

Untuk mengetahui apakah air tercemar atau tidak dapat ditentukan dengan membandingkan hasil uji parameter pencemaran dengan baku mutunya. Parameter tersebut adalah :

1. ***Suhu***

Air dikatakan tidak tercemar jika besar suhunya tidak jauh berbeda dengan suhu udara di atas permukaannya yaitu lebih besar atau kurang dari 3 derajat. Suhu yang optimal

perairan untuk daerah tropis berkisar 25-30°C. Perbedaan suhu air di siang dan malam hari tidak lebih dari 5°C. Suhu perairan yang semakin tinggi menyebabkan peningkatan laju reaksi dan penurunan kandungan oksigen, kondisi ini dapat mengganggu biota yang di dalam air, bahkan pada kondisi oksigen yang minim akan menyebabkan kematian ikan yang hidup di perairan tersebut.

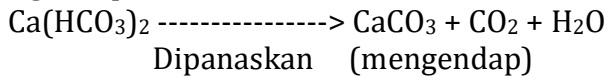
2. *Derajat Keasaman (pH) dan Alkalinitas*

Derajat keasaman (pH) air yang baik adalah 6 – 9. Air pegunungan umumnya memiliki pH yang cukup tinggi, dengan bertambahnya bahan organik selama pengaliran menyebabkan pH air menurun. Perubahan keasaman pada air baik semakin naik atau semakin turun akan mengganggu kehidupan ikan dan hewan air lainnya.

Alkalinitas merupakan indikator kesadahan air, dimana ion Kalsium (Ca) dan Magnesium (Mg) sebagai penyebab kesadahan pada air tersebut. Logan Ca dan Mg berikatan dengan ion karbonat (CO_3^{2-}) dan bikarbonat (HCO_3^-) sulfat (SO_4^{2-}), khlorida (Cl^-), (PO_4^{3-}) dan anion lainnya. Beberapa dampak negatif penggunaan air yang memiliki kesadahan antara lain; menyebabkan perkaratan peralatan dari logam terutama besi, menyebabkan sabun kurang berbusa dan terjadinya kerak pada alat-alat dapur.

Ada 2 jenis kesadahan, yakni kesadahan sementara oleh karena adanya garam karbonat (CO_3^{2-}) dan bikarbonat (HCO_3^-) terhadap kation Ca dan Mg. Garam bikarbonat mudah larut dalam air, sedangkan garam karbonat sukar larut, namun kelarutannya akan semakin tinggi jika kandungan karbondioksida (CO_2) di udara tinggi bersama air membentuk garam karbonat menjadi bikarbonat. Kesadahan sementara dapat dihilangkang dengan adanya

pemanasan dan membentuk garam karbonat yang mengendap dalam air.



3. *Oksigen Terlarut*

Oksigen merupakan gas yang berwarna, tidak berbau dan tidak berasa serta sedikit larut di dalam air. Untuk mempertahankan hidupnya semua biota dalam air memerlukan oksigen, semakin tinggi oksigen terlarut dalam air semakin baik kualitas airnya dan semakin baik pula kehidupan biota dalam air. Konsentrasi oksigen yang terlalu rendah dalam air menyebabkan ikan-ikan dan hewan air akan mati, namun jika konsentrasi oksigen dalam air terlalu tinggi juga kurang baik karena mudah terjadi korosi pada logam-logam yang bersentuhan dengan air tersebut. Kandungan oksigen terlarut dalam air yang terlalu rendah akan memaksa organisme aerob menguraikan bahan organik menghasilkan gas metana (CH_4) dan Asam Sulfida (H_2S) yang menyebabkan airnya bau busuk.

4. *Warna dan Kekeruhan*

Air yang baik tidak memiliki warna dan tidak keruh. Kandungan besi dalam air yang tinggi menyebabkan air berwarna merah kecoklatan. Warna ini akan semakin coklat jika teroksidai dengan udara dan adanya sinar matahari proses oksidasi semakin cepat menghasilkan warna yang semakin coklat dan semakin lama terjadi endapan besi berwarna coklat.

Kekeruhan pada air menyebabkan terhalangnya daya tembus cahaya matahari, kondisi seperti ini biasanya dikarenakan adanya bahan organik, jasad renik dan lumpur

yang terapung dan atau melayang dan terurai dalam air. Semakin keruh air akan semakin tinggi daya hantar listriknya yang disebabkan jumlah partikel padatan dalam air semakin tinggi.

5. *Padatan*

Ada 3 jenis padatan yang mencemari air, yakni padatan terendap, padatan terlarut dan padatan tersuspensi.

a. *Padatan Terendap*

Padatan ini cepat mengendap oleh pengaruh gaya gravitasi jika air tidak diganggu atau didiamkan karena partikelnya berukuran besar dan berat. Padatan ini sangat mengganggu sisten pengairan pada danau atau sungai karena menyebabkan cepatnya dangkal dan penyumbatan aliran. Keadaan ini juga mengganggu perkembangbiakan ikan dan hewan air lain karena telornya dapat terendam partikel-partikel padatan dan menyebabkan gagal menetas. Adanya padatan ini mengurangi masuknya cahaya ke dalam air, sehingga fotosintesis tumbuhan air terganggu. Kondisi ini menyebabkan terganggunya proses fotosintesis tumbuhan dalam air sehingga menyebabkan rendahnya kandungan oksigen dalam air.

b. *Padatan Tersuspensi*

Padatan ini memiliki ukuran partikel lebih kecil dibanding padatan terendap. Umumnya padatan ini terdiri dari tanah lian dan bahan-bahan organik tertentu. Padatan ini juga menyebabkan kekeruhan air dalam waktu yang lama sampai berbulan-bulan seiring terjadinya pengendapan padatan tersuspensi. Selain padatan tersuspensi, limbah industri juga menghasilkan partikel koloid, contohnya protein.

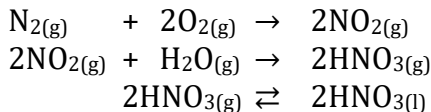
Besarnya kandungan padatan tersuspensi dapat diukur dengan alat yang dinamakan turbidimeter.

c. Padatan Terlarut

Padatan terlarut memiliki ukuran partikel lebih kecil dibanding padatan tersuspensi dan koloid. Padatan ini umumnya tersusun dari partikel organik maupun anorganik yang terlarut dalam air. Partikel padatan terlarut sangat tergantung dari jenis industri penghasil limbah; misalnya industri kimia dapat menghasilkan mineral yang mengandung Merkuri (Hg), Timbal (Pb), Arsenik (As), Cadmium (Cd), Cromium (Cr), Nikel (Ni), dan garam-garam yang mengandung Calsium (Ca) dan Magnesium (Mg) yang menyebabkan kesadahan. Limbah domestik mengandung sabun, detergen dan minyak.

6. *Nitrat*

Sumber nitrat terbanyak adalah udara, yaitu 78% udara mengandung nitrogen. Proses perubahan nitrogen di udara bebas menjadi nitrat dapat terjadi secara biologi dan kimia. Proses pengikatan nitrogen ini disebut *fiksasi*. Fiksasi kimia nitrogen di udara terjadi saat terjadinya halilintar/petir dengan energi yang cukup tinggi sehingga terjadi reaksi antara oksigen dengan nitrogen menghasilkan nitrogen dioksida (NO₂), dan selanjutnya oleh adanya uap air membentuk asam nitrat.



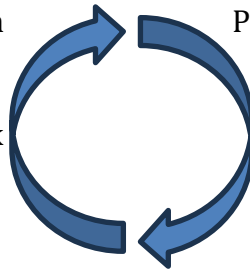
7. *Posfor*

Seperti halnya nitrogen, di alam pospor juga mengalami proses perubahan bentuk yaitu sebagai senyawa anorganik

seperti ortofosfat, senyawa organik dalam protoplasma dan sebagai senyawa organik hasil peruraian kotoran dan tubuh organisme.

Larutan Fosfor
anorganik
Penguraian

Fospor organik
Yang larut



Penyerapan dan
Pembauran

Persenyawaan
Fosfor anorganik dalam
organ tubuh

Ekskresi
dan penghancuran

Gambar 3.2. Perubahan bentuk posfor

8. Logam

Pencemaran logam pada perairan dapat mengakibatkan dampak negatif yang serius seperti terjadinya perubahan yang bersifat fisik air tersebut, misalnya adanya perubahan warna, bau dan rasa. Kondisi ini sangat berbahaya karena dapat merusak ekosisten dan biota air yang ada didalamnya, bahkan sangat berbahaya terhadap kesehatan manusia jika mengkonsumsi air tersebut atau mengkonsumsi tanaman maupun biota yang telah tercemarnya. Dua contoh logam berat yang sering ditemukan dalam tubuh organisme adalah Merkuri dan Timbal.

WHO (World Health Organization) telah menetapkan kandungan maksimum air untuk dikonsumsi sebesar 0,0001 ppm, demikian juga untuk makanan *PDA (Food and Drug Administration)* merupakan lembaga pengawasan

obat dan makanan di Amerika Serikat menetapkan kandungan Merkuri maksimal untuk makanan sebesar 0,005 ppm.

Timbal (Pb) juga sangat berbahaya jika mencemari air. Kegiatan yang berpotensi menyebabkan pencemaran timbal adalah industri baterai dan aki, industri amunisi, pelapis kabel, pipa dan solder serta bahan warna.

3.2.3 Aspek Biokimia Pencemaran Air

Pengukuran tingkat pencemaran dengan menggunakan parameter kimia melalui makhluk hidup merupakan parameter aspek biokimia. Pengukuran dilakukan terhadap pernapasan mikroba.

1. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

Biochemical Oxygen Demand (BOD) adalah jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (umumnya bakteri) untuk menguraikan atau mendekomposisi bahan organik dalam air pada kondisi aerobik. BOD merupakan jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh mikrobaperairan sebagai tanggapan terhadap masuknya bahan organik yang terdekomposisi. Pengukuran nilai BOD dilakukan pada suhu 20°C dengan durasi penguraian 5 – 20 hari. Dalam 5 hari oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme mencapai 60-70 %, sedang dalam 20 hari sebesar 95-99 %.

2. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Chemical Oxygen Demand adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi zat-zat organik dan an organik yang ada dalam air. Pengukuran COD pada prinsipnya adalah penambahan sejumlah tertentu kalium bikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebagai oksidator. Nilai COD yang tinggi menyebabkan kandungan oksigen terlarut dalam air semakin kacil sehingga keseimbangan ekosisten perairan

terganggu. Selain itu kelarutan oksigen dalam air sangat tergantung pada besarnya suhu, tekanan oksigen di atmosfer dan kadar oksigen dalam air. Semakin tinggi COD dalam air semakin rendah kualitas airnya.

3.3 Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah hadirnya satu atau lebih substansi berupa fisik, kimia atau biologi dalam atmosfer dengan jumlah yang tidak diinginkan dan mengganggu estetika, kenyamanan dan merusak properti serta membahayakan Kesehatan bagi manusia, hewan dan tumbuhan. Dalam Undang-undang nomor 23 tahun 1997 yang dimaksud pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara turun sampai ke tingkat tertentu sehingga tidak dapat memenuhi fungsinya.

Sumber pencemaran udara ada yang bersifat alami seperti gunung api yang mengeluarkan abu dan gas vulkanik, kebakaran hutan dan aktifitas mikroorganisme. Sedangkan sumber pencemaran yang tergolong aktivitas manusia adalah pembakaran sampah, kendaraan bermotor dan aktivitas industri.



Gambar 3.3. Polutan Udara
 Sumber : <https://geologinesia.com>

3.3.1 Komposisi Udara Atmosfer

Udara dapat didefinisikan sebagai campuran berbagai gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi. Udara memiliki sifat tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa dan tidak tampak oleh mata. Secara garis besar komposisi udara terdiri dari 3 unsur utama, yakni udara kering, udarabasah (uap air) dan aerosol. Komposisi gas-gas penyusun udara dinyatakan dalam satuan persen atau ppm.

Tabel 3.1. Komposisi udara kering

Komponen	Formula	% Volume	ppm
Nitrogen	N ₂	78,08	780.800
Oksigen	O ₂	20,95	209.500
Argon	Ar	0,934	9.340
Karbondioksida	CO ₂	0,0314	314
Neon	Ne	0,00182	18
Helium	He	0,000524	5
Metana	CH ₄	0,0002	2
Krypton	Kr	0,000114	1

Sumber : Khambali, 2017

Udara yang ada di alam tidak pernah dijumpai dalam keadaan bersih dan tanpa polutan. Beberapa gas seperti karbonmonoksida (CO), belerang dioksida (SO₂) dan asam sulfida (H₂S) selalu ada dalam udara akibat aktivitas vulkanik, pembusukan sampah, terbakarnya hutan dan lain sebagainya. Juga polutan berupa partikel-partikel padat atau cair yang berukuran kecil turut bergabung dalam udara bersama angin. Selain secara alami adanya polutan di udara juga ditimbulkan akibat aktivitas manusia.

3.3.2 Pencemar Udara dan Sumbernya

Secara umum zat pencemar (polutan) udara dapat dikelompokkan menjadi 5, yaitu Karbonmonoksida (CO), Nitrogen oksida (NO₂), Belerang dioksida (SO₂), Hidrokarbon (HC), dan Partikel.

1. Karbonmonoksida (CO)

Karbonmonoksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau. Karbonmonoksida di alam terbentuk dari proses pembakaran tidak sempurna dan peruraian dari gas karbon dioksida pada suhu tinggi. Oksida yang tidak sempurna terhadap karbon dapat terjadi jika jumlah oksigen yang digunakan untuk pembakaran tidak mencukupi. Pembakaran karbon terjadi beberapa tahap, yakni:



Pada reaksi pembakaran pertama kecepatannya 10 kali lipat reaksi kedua. Kondisi ini menyebabkan terjadinya penumpukan kandungan CO di udara. Demikian juga keberadaan komponen udara yang mengandung karbon pada suhu tinggi dapat mereduksi CO₂ di udara menjadi CO dengan reaksi :



Kandungan CO yang cukup tinggi di udara dapat mengganggu kesehatan bagi makhluk hidup termasuk manusia. CO yang dihirup akan bereaksi dengan Haemoglobin dalam darah menghasilkan COHb yang menyebabkan transport oksigen dalam darah terganggu.

2. Nitrogen oksida (NO_x)

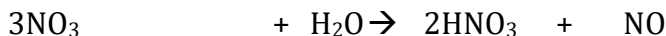
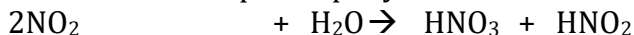
Keberadaan nitrogen oksida di atmosfer berupa gas dengan rumus NO (nitrogen monoksida) dan NO_2 (nitrogen dioksida). NO berupa gas yang tidak berwarna dan tidak berbau, sedangkan NO_2 merupakan gas yang berwarna cokelat dan berbau tajam.

Nitrogen oksida di udara dapat terbentuk dari reaksi antara nitrogen dan oksigen.

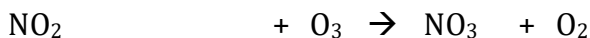


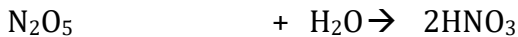
Selain itu emisi pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil dan asap rokok juga menghasilkan nitrogen oksida yang tinggi.

Bercampurnya berbagai komponen penyusun atmosfer mengakibatkan terjadinya reaksi antar komponen tersebut dan membentuk komponen atau senyawa lain. Terbentuknya asam nitrat di atmosfer sebagai contoh hasil reaksi antar komponen penyusun atmosfer.



Pada udara yang tercemar dapat terjadi reaksi antara oksida nitrogen dengan ozon dihasilkan oksida nitrogen lain dengan bilangan oksida nitrogen yang lebih tinggi, hasil ini selanjutnya oleh pengaruh uap air dihasilkan asam nitrat.





Keberadaan NO_2 dan NO di udara dengan konsentrasi yang cukup tinggi mengganggu kesehatan manusia karena bersifat racun. Sifat racun NO_2 empat kali lipat NO . Terpaparnya NO_2 dengan konsentrasi 5 ppm selama 10 menit mengakibatkan manusia mengalami kesulitan bernafas.

3. *Belerang oksida (SO_x)*

Sebagian besar keberadaan belerang bersumber dari alam, seperti aktivitas vulkano dalam bentuk oksida dan H_2S . Oksidasi H_2S menghasilkan belerang oksida.

Belerang oksida di atmosfer dapat bereaksi dengan uap air menghasilkan asam sulfat. Zat ini sangat berbahaya bagi kesehatan manusia, selain itu juga menyebabkan korosi pada logam-logam yang terpapar. Senyawa ini juga dapat mengancam kehidupan air karena dapat mengakibatkan pH air turun drastis hingga $< 4,00$ dan menyebabkan kematian.

Dampak SO_x bagi manusia dapat menyebabkan iritasi pada tenggorokan jika konsentrasi ≥ 5 ppm.

4. *Hidrokarbon (HC)*

Hidrokarbon merupakan senyawa molekul yang terbentuk antara hidrogen dan carbon. Pada suhu kamar banyak ditemukan di alam dalam bentuk padat, cair dan gas. Bentuk fisik ini dipengaruhi oleh jumlah atom karbon dan struktur molekulnya. Terdapat 3 bentuk senyawa hidrokarbon yakni Hidrokarbon yaitu Alifatis (rantai lurus atau terbuka), siklis (rantai tertutup) dan aromatis (mengandung cincin benzena).

Hidrokarbon aromatis lebih berbahaya dibanding hidrokarbon alifatis dan siklis, karena uapnya bersifat

iritasi terhadap mukosa dan jika uapnya dihisap akan menyebabkan luka pada organ tubuh bagian dalam.

5. *Partikel*

Keberadaan partikel di udara dapat berwujud cair dan padat. Partikel yang berwujud cair contohnya titik air atau kabut dan kabut yang mengandung partikel air. Partikel ini dapat menyebabkan sesak nafas jika dihirup.

Partikel padat contohnya debu atau abu hasil pembakaran tidak sempurna bahan bakar minyak (BBM) yang bercampur dengan timbal (Pb) oleh kendaraan bermotor. Pb merupakan zat anti knock. Pb dapat bereaksi dengan klor dan brom menghasilkan $PbClBr$ yang dibuang ke udara melalui knalpot.

Selain melalui pembakaran kendaraan bermotor, pembakaran zat anorganik secara domestik di pemukiman dan industri juga menghasilkan partikel yang lebih kecil berterbangan di udara. Pencemaran udara jenis partikel menyebabkan gangguan kesehatan makhluk hidup terutama pada saluran pernapasan.

3.4 Pencemaran Tanah

Tanah merupakan komponen lahan yang terdiri dari lapisan kerak bumi yang mengandung bahan mineral dan bahan organik serta memiliki sifat fisik, kimia dan biologi dan memiliki kemampuan untuk menunjang kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Kerusakan tanah untuk produksi biomassa adalah berubahnya sifat dasar tanah melampaui kriteria baku mutu kerusakan tanah (PP 150, 2000).

Tanah yang sehat adalah tanah yang berfungsi secara baik bagi kehidupan yang ada di dalam tanah termasuk tumbuhan. Oleh karena itu agar tanah memenuhi fungsinya terkandung senyawa alami seperti fosfat, karbonat, sulfat,

nitrat, senyawa organik seperti asam lemak, DNA, PAH dan lain sebagainya.

Pencemaran Tanah adalah masuknya polutan atau kontaminan ke dalam tanah yang dapat meracuni tanah dan lingkungannya. Polutan yang tinggi terhadap tanah dapat menyebabkan dampak negatif bagi lingkungan juga terhadap kehidupan yang lain termasuk manusia. Beberapa sumber pencemaran tanah adalah :

3.4.1 Limbah Domestik

Limbah domestik dapat berasal dari pemukiman penduduk, pasar, hotel, kantor, tempat-tempat perdagangan dan tempat-tempat wisata. Polutan domestik umumnya didominasi bahan-bahan organik yang merupakan sisa-sisa bahan konsumsi sehari-hari. Juga beberapa polutan anorganik seperti buangan sisa pembangunan rumah dan pemakaian sumber elektronik seperti aki dan baterai. Umumnya masyarakat tidak melakukan pemisahan menurut jenisnya sebelum dibuang ke tempat sampah.



Gambar 3.4. Tumpukan sampah domestic

Sumber : <https://id.images.search.yahoo.com/search/images;>

3.4.2 Limbah Industri

Umumnya masyarakat kurang peduli dengan limbah industri yang dikelolanya, membuang limbah sembarangan ke sungai tanpa dilalukan proses pengolahan limbah terlebih dahulu.



Gambar 3.5. Limbah Industri

Sumber : <https://www.gramedia.com/literasi/limbah-domestik/>

3.4.3 Limbah Pertanian

Penggunaan pupuk-pupuk sintesis guna menyuburkan tanah agar tanaman tumbuh dan berkembang dengan baik berdampak negatif terhadap kelestarian tanah itu sendiri. Misalnya pemberian pupuk urea, TSP, PONKA ecara terus menerus dapat merusak struktur tanah karena unsur hara yang terkandung di dalam tanah semakin berkurang, dan menyebabkan ketergantungan, “tanpa pupuk tidak akan tumbuh baik”.

Penggunaan pestisida untuk membasmi hama memberikan dampak negative yang luar biasa. Selain menjadikan tanah tandus karena keracunan juga membunuh mikroba yang dapat menyuburkan tanah. Pestisida yang sering

dipakai oleh petani adalah herbisida dan dikhloro difenil trichloro etana (DDT).



Gambar 3.6. Limbah Pertanian

Sumber : https://id.images.search.yahoo.com/search/images;_

Dampak pencemaran akibat kegiatan pertanian dapat dirasakan secara langsung dan dirasakan oleh manusia, dan jika terjadi kerusakan tanah karena sudah tidak memiliki daya dukung lingkungan terhadap kelangsungan hidup flora dan fauna termasuk manusia merupakan ini merupakan dampak tidak langsung, dan untuk memulihkannya diperlukan waktu yang sangat lama.

3.5 Pencemaran Radioaktif

Pencemaran radioaktif atau pencemaran radiasi adalah terkontaminasinya lingkungan dari bahan-bahan kimia yang bersifat radioaktif, atau adanya panas yang menimbulkan radiasi panas yang melebihi temperature normal dalam suatu lingkungan.

Adanya radiasi yang merambat ke lingkungan menyebabkan terjadinya pencemaran radioaktif. Penyebaran polutan radiasi dapat terjadi akibat aktivitas pembangkit nuklir

yang diciptakan manusia. Penyebab pencemaran radioaktif adalah :

3.5.1 Limbah radiasi

Limbah radiasi adalah limbah yang dihasilkan oleh berbagai aktivitas proses penambangan, pengolahan hingga pemanfaatan bahan-bahan radioaktif untuk berbagai tujuan. Berbagai aktivitas manusia yang dapat menghasilkan limbah radioaktif adalah :

1. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)
2. Kegiatan medis perawatan kanker tiroid.
3. Kegiatan medis perawatan kanker tulang.
4. Kegiatan medis perawatan kanker prostat.
5. Kegiatan medis radioterapi.



Gambar 3.7. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

Sumber : <https://ilmupengetahuan.org/wp-content/uploads/2013/02/pembangkit-listrik-tenaga-nuklir.png>

3.5.2 Pengujian dan pembuatan senjata nuklir

Pengujian nuklir memberikan informasi praktis tentang bagaimana fungsi senjata, pengaruh perbedaan kondisi terhadap ledakan, dan bagaimana pengaruh ledakan nuklir terhadap personil, struktur dan peralatan senjata nuklir.

3.5.3 Ledakan nuklir

Terjadinya ledakan nuklir dapat mengirimkan gelombang radiasi elektromagnetik yang sangat berbahaya bagi lingkungan. Beberapa peristiwa ledakan nuklir yang pernah terjadi adalah :

1. Tsar Bomba pada tanggal 30 Oktober 1961 di Novaya Zemlya.
2. Test 219 pada tanggal 24 Desember 1962 di Novaya Zemlya.
3. Test 147 pada tanggal 5 Agustus 1962 di Novaya Zemlya.
4. Test 173 pada tanggal 25 September 1962 di Novaya Zemlya.
5. Castle Bravo pada tanggal 1 Maret 1954 di Bikini Atoll.
6. Castle Yankee pada tanggal 5 Mei 1954 di Bikini Atoll.
7. Uji 123 pada tanggal 23 Oktober 1961 di Novaya Zemlya.
8. Castle Romeo pada tanggal 26 Maret 1954 di Bikini Atoll.
9. Ivy Mike pada tanggal 1 November 1952 di Atol Enewetak.



Gambar 3.8. Ledakan Nuklir

<https://www.liputan6.com/tekno/read/3624763/5-jenis-bom-nuklir-terbesar-yang-pernah-diuji-coba>

DAFTAR PUSTAKA

- Aryanta RWI., Pengaruh Pencemaran Lingkungan Terhadap Kesehatan Masyarakat, Universitas Hindu Indonesia, Denpasar.
- Dewata I., & Danhas, HY. 2018. *Pencemaran Lingkungan*. Depok: PT Raja Grafindo Persada.
- Irianto KI. 2015. Buku Bahan Ajar Pencemaran Lingkungan. Denpasar: Universitas Farmadewa.
- Kemen LHK RI. 2021. *Status Lingkungan Hidup Indonesia Tahun 2020*. Jakarta.
- Khambali. 2017. *Pencemaran Lingkungan*. Surabaya: HAKLI Jawa Timur.
- Maritha, ED., Warobi, & Asnilawati. 2020. Pencemaran Lingkungan Untuk SMA/MA Kelas X, Noer Fikri, Palembang.
- Permen LKH RI Nomor 6 Tahun 2021, Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah B3, Jakarta.
- Permen LKH RI Nomor 11 Tahun 2021, Baku Mutu Emisi Mesin dengan Pembakaran Dalam, Jakarta.
- Permen LKH RI Nomor 27 Tahun 2021, Indeks Kualitas Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Permenkes RI Nomor 2 Tahun 2023, Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan, Jakarta.
- Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, Penyelenggaraan Perindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Purnama GS. 2015. *Pencemaran Lingkungan*. Denpasar: Universitas Udayana.
- Undang-Undang Nomor 4 Tahun 1982, Ketentuan-Ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup, Jakarta.

- Utina R., & Baderan KWD. 2009. *Ekologi dan Lingkungan Hidup*. Gorontalo.
- Wardani KS. 2020. Dampak Pencemaran Tanah bagi Kesehatan, Ekonomi dan Ekosistem. Institut Teknologi Sumatera.

BAB 4

PERUBAHAN IKLIM

Oleh Nurvita Cundaningsih

Perubahan iklim merupakan suatu fenomena yang saat ini akan terus dibahas dan tidak akan ada habisnya. Dengan perkembangan ilmu pengetahuan, penemuan mengenai teori tentang perubahan iklim, dampak, dan mitigasi perubahan iklim terus bermunculan. Namun darimana dan siapa yang mencetuskan ide atau teori mengenai perubahan iklim ini? Siapa saja yang mengalami dampak dari perubahan iklim? Apakah perubahan iklim ini berhubungan dengan cuaca ekstrim? Pada bab ini akan dibahas mengenai perubahan iklim dari beberapa perspektif, dampak perubahan iklim terhadap lingkungan dan juga adaptasi serta mitigasi yang dapat dilakukan dalam menghadapi perubahan iklim, tentunya dalam perspektif perkembangan sains dan teknologi.

4.1 Kilas Balik dan Pemahaman tentang Perubahan Iklim

Isu perubahan iklim global menjadi perhatian besar bagi dunia hingga saat ini. Dampaknya terlihat dalam peningkatan perlahan suhu rata-rata tahunan planet, yang berawal sejak munculnya revolusi industri pada awal abad ke-XX. Kejadian cuaca ekstrem belakangan ini semakin memperdalam dugaan bahwa hal tersebut terjadi karena kenaikan suhu Bumi. Perubahan suhu tersebut sejalan dengan tingginya tingkat kegiatan industri dan ekonomi yang menghasilkan emisi gas rumah kaca utama seperti karbon dioksida, metana, dan lain sebagainya (Albergel *et al.*, 2010; Mikhaylov dkk. 2020).

Sistem iklim global mencakup atmosfer, lautan, daratan, kriosfer (lapisan es dan salju), serta biosfer. Ilustrasi tersebut memberikan visualisasi komponen-komponen dan proses yang terlibat. Karakteristik iklim meliputi suhu, jumlah curah hujan, kelembaban udara dan tanah, kondisi lapisan salju dan es, serta banyak aspek lainnya. Perubahan iklim terjadi terus-menerus akibat variasi faktor alam yang beragam. Salah satu faktor baru yang signifikan dan semakin berpengaruh pada iklim Bumi dalam 200 tahun terakhir adalah aktivitas manusia. Dampaknya dijelaskan oleh konsep efek rumah kaca (Mikhaylov dkk. 2020). Perubahan iklim telah terjadi akibat pengaruh dari proses alami. Meskipun demikian, faktor-faktor pengaruh manusia kini semakin penting terkait dengan pemanasan global. Terdapat dua alasan utama di balik perubahan iklim global: perubahan medan magnet Bumi dan adanya gas rumah kaca di lapisan atmosfer bawah Bumi (Chen dan Chen, 2016).

Efek rumah kaca merujuk pada kenaikan suhu permukaan bumi karena pemanasan pada lapisan atmosfer yang lebih rendah dikarenakan oleh akumulasi gas rumah kaca. Hal ini menyebabkan suhu udara menjadi lebih tinggi dari yang seharusnya, mengakibatkan dampak yang tidak dapat dibalikkan seperti perubahan iklim dan pemanasan global (Huang et al., 2016). Kesadaran akan fenomena efek rumah kaca pertama kali dimulai pada tahun 1827. Sebuah artikel oleh Jean Baptiste Joseph Fourier "Sebuah catatan mengenai suhu bumi dan planet lain" merinci gagasan tentang mekanisme efek rumah kaca dan penyebab munculnya di Bumi (Inamdar, 1994). Yang terakhir melakukan percobaan dengan sebuah wadah kaca yang diberi lapisan hitam dan ditutup lalu ditempatkan di bawah sinar matahari. Suhu di dalam wadah jauh lebih tinggi daripada di luar. Hal ini dijelaskan oleh faktor berikut: radiasi termal tidak dapat melewati kaca yang diberi

lapisan gelap, sehingga tetap berada di dalam wadah. Dalam hal ini, sinar matahari dengan mudah menembus dinding-dindingnya, karena wadah tetap transparan di bagian luar (Isacs et al., 2016; Kohler et al., 2017; Mikhaylov dkk. 2020).

Gas-gas rumah kaca seperti CO_2 , CH_4 , dan N_2O tidak selalu berdampak negatif. Gas-gas ini adalah bagian alami dari atmosfer Bumi dan berfungsi sebagai pelindung termal yang menjaga stabilitas atmosfer. Sebagai ilustrasi, CO_2 memiliki peran penting dalam mempertahankan suhu hangat Bumi; tanpanya, efek rumah kaca alami di Bumi akan terganggu, menyebabkan penurunan signifikan suhu permukaan planet sekitar 33°C . Ini adalah efek rumah kaca alami yang menjaga suhu rata-rata yang nyaman di Bumi sekitar 15°C . Namun, aktivitas manusia telah mengacaukan keseimbangan ini dengan melepaskan gas-gas rumah kaca ke atmosfer, yang mengakibatkan penangkapan panas berlebihan dan peningkatan suhu global di kemudian hari (NASA 2023). Menurut IPCC (2023), emisi gas-gas rumah kaca oleh aktivitas manusia telah menyebabkan pemanasan global, mengakibatkan kenaikan suhu permukaan global sebesar $1,1^\circ\text{C}$ di atas tingkat pra-industri (1850-1900) selama periode 2011-2020. Dampak perubahan iklim yang disebabkan oleh manusia ini sudah mempengaruhi berbagai fenomena cuaca dan iklim ekstrem di seluruh dunia, dengan kerugian yang luas bagi alam dan masyarakat.

Gas-gas seperti CO_2 , CH_4 , dan N_2O adalah gas rumah kaca utama yang dilepaskan oleh aktivitas manusia. Menurut laporan IPCC (2014) yang disebutkan dalam (EPA 2023a), CO_2 merupakan gas rumah kaca utama yang berasal dari kegiatan manusia, berkontribusi sekitar 76% dari emisi global, diikuti oleh CH_4 dan N_2O yang masing-masing menyumbang sekitar 16% dan 6% dari emisi tersebut. Salah satu aktivitas manusia utama yang bertanggung jawab atas emisi CO_2 adalah

pembakaran bahan bakar fosil (seperti batu bara, gas alam, dan minyak) untuk produksi energi dan transportasi. Sementara itu, CH_4 dikeluarkan melalui berbagai aktivitas seperti energi, industri, pertanian, penggunaan lahan, dan pengelolaan limbah, sedangkan N_2O dikeluarkan melalui sektor pertanian, penggunaan lahan, transportasi, dan industri (EPA 2023b). Walaupun CO_2 adalah gas rumah kaca yang paling umum dihasilkan oleh aktivitas manusia, pentingnya emisi CH_4 dan N_2O tidak boleh diabaikan. Menurut IPCC (2013) yang dikutip dalam (EPA 2023b), meskipun CH_4 memiliki masa hidup atmosfer yang singkat sekitar 12 tahun, CH_4 lebih efektif dalam menahan radiasi, sekitar 28 kali lebih kuat dibandingkan CO_2 selama periode 100 tahun. Selain itu, molekul N_2O memiliki masa hidup atmosfer yang lebih lama dan efek yang lebih besar, dengan rata-rata masa hidup atmosfer selama 121 tahun dan dampak pemanasan yang 265 kali lebih kuat dibandingkan CO_2 dengan jumlah yang sama.

Terdapat beberapa penyebab munculnya efek rumah kaca, diantaranya (Levin, 2012; Li, 2017; Lisin, 2020):

1. Penggunaan mineral yang dapat terbakar dalam industri - batu bara, minyak, gas alam, yang menghasilkan jumlah karbon dioksida dan senyawa berbahaya lainnya yang besar ke atmosfer saat terbakar;
2. Emisi kendaraan bermotor seperti mobil dan truk, mengeluarkan gas buang yang juga mencemari udara dan meningkatkan efek rumah kaca;
3. Deforestasi atau pengalihfungsian lahan dari tutupan hutan alami menjadi perkebunan atau lainnya. Deforestasi menyebabkan hilangnya vegetasi yang menyerap karbon dioksida dan melepaskan oksigen yang mengakibatkan jumlah CO_2 di udara meningkat; kebakaran hutan adalah sumber lain dari penghancuran tumbuhan di planet ini (tabel 1).

4. Peningkatan populasi memengaruhi permintaan yang meningkat untuk makanan, pakaian, perumahan. Secara bersamaan, untuk memenuhi permintaan ini, produksi industri semakin meningkat, yang semakin mencemari udara dengan gas rumah kaca; agrokimia dan pupuk mengandung sejumlah senyawa yang berbeda, penguapan dari senyawa ini melepaskan nitrogen - salah satu gas rumah kaca; pembusukan dan pembakaran sampah di tempat pembuangan sampah berkontribusi pada peningkatan gas rumah kaca.

Gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan total emisi gas rumah kaca yang telah dihimpun oleh European Environment Agency. Pada Gambar 4.1 menunjukkan adanya peningkatan emisi karbon dioksida dihitung metric ton per orang pada tahun 85-an hingga memuncak pada tahun 90-an. Pada tahun tersebut industri sedang dalam masa pertumbuhan yang pesat dan juga perkembangan teknologi lain yang mengemisikan gas-gas rumah kaca lainnya.

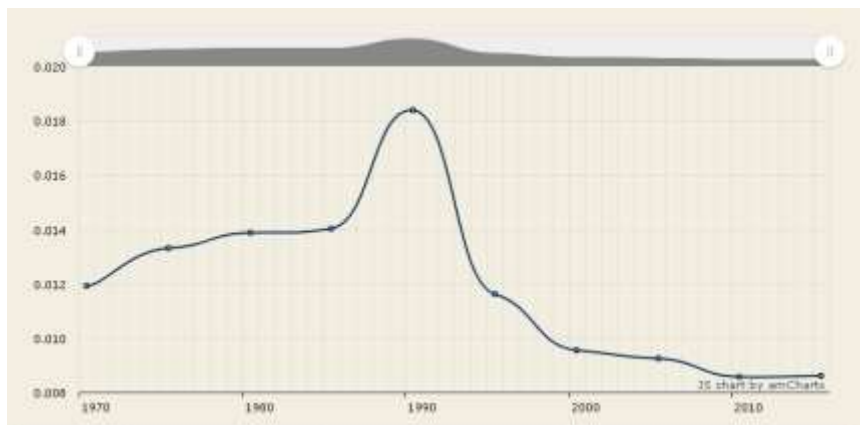
Tabel 4.1. Ringkasan Gas Rumah Kaca

Zat	Formula	Konsentrasi di atmosfer (ppm)	Kontribusi (%)
Uap air dan awan	H ₂ O	10–50,000 ^(A)	36–72%
Karbon dioksida	CO ₂	~400	9–26%
Metana	CH ₄	~1.8	4–9%
Ozon	O ₃	2–8 ^(B)	3–7%

Sumber: European Environment Agency <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/greenhouse-gas-emission-projections-for-6>

Kemudian pada Gambar 4.2 menunjukkan informasi mengenai berbagai sektor yang memberi kontribusi terhadap

pelepasan gas rumah kaca. European Environment Agency menghimpun bahwa gas karbon dioksida paling banyak diemisikan dari industri stasiun pembangkit listrik dengan presentasi sebanyak 72% polutan yang terdeteksi. Sedangkan, untuk gas metana berasal dari sektor agrikultural sebesar 40.8% dan nitrogen oksida juga berasal dari sektor agrikultur dengan persentase mencapai 62.5%.



Gambar 4.1. Total emisi gas rumah kaca (metric ton per orang)

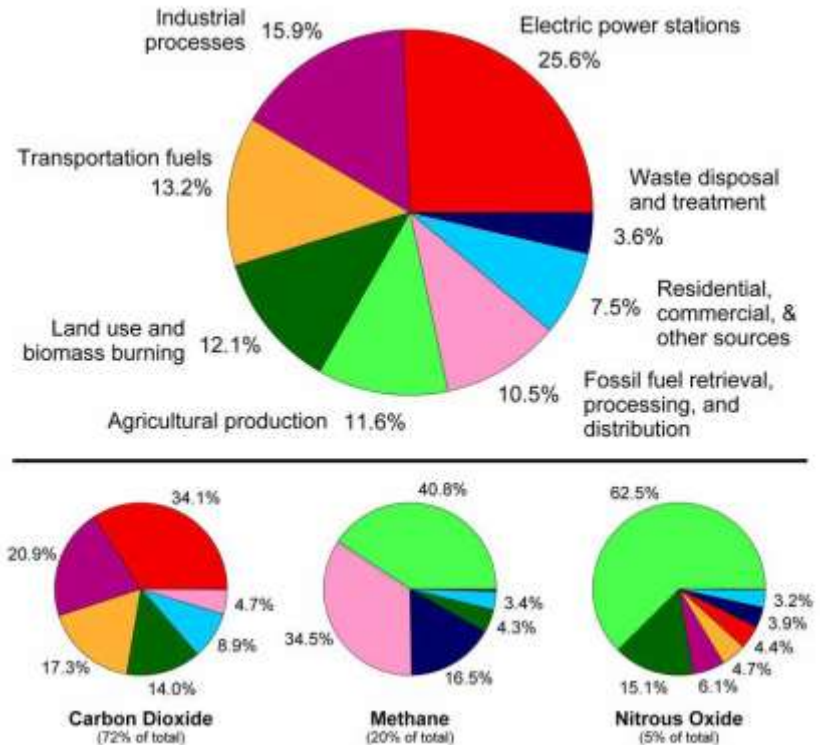
Sumber: European Environment Agency.

<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/greenhouse-gas-emission-projections-for-6>

4.2 Dampak Perubahan Iklim

Perubahan iklim secara global membawa banyak perubahan yang terasa bahkan dalam hitungan tahunan saja. Perbandingan awam mengenai perubahan yang terjadi misalnya dalam skala waktu sepuluh tahun lalu dibandingkan dengan saat ini, menjadi sebuah validasi pengalaman pribadi terhadap data yang sudah didapatkan secara ilmiah. Terdapat beberapa sektor yang sangat rentan terdampak dari perubahan

iklim, baik secara global maupun secara regional. Berikut akan dipaparkan beberapa dampak perubahan tersebut.



Gambar 4.2. Emisi gas rumah kaca berdasarkan sektor.
 Sumber: European Environment Agency
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/greenhouse-gas-emission-projections-for-6>

4.2.1 Bencana Alam dan Konsekuensi Sosio-Ekonomi Perubahan Iklim

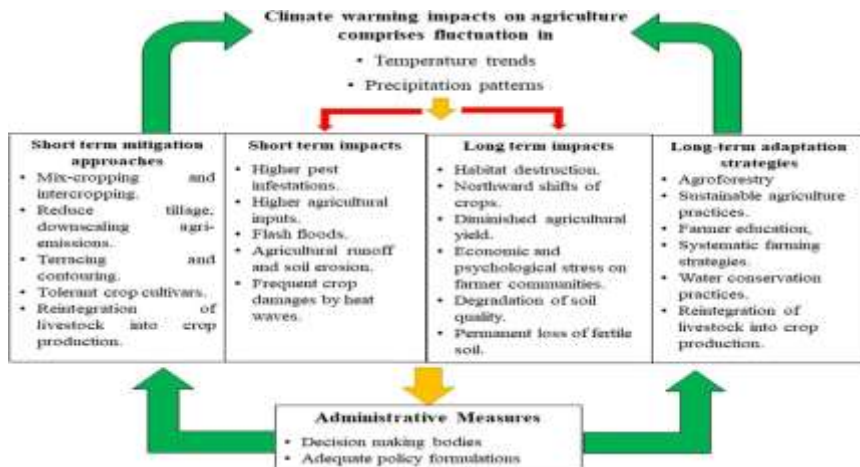
Bencana alam dan lingkungan dapat sangat bervariasi dari tahun ke tahun; beberapa tahun berlalu dengan sangat sedikit kematian sebelum peristiwa bencana yang signifikan merenggut banyak nyawa (Symanski et al. 2021). Sekitar 60.000 orang di seluruh dunia meninggal akibat bencana alam setiap tahunnya rata-rata selama dekade terakhir (Wiranata and Simbolon 2021). Jadi, menurut laporan tersebut, sekitar 0,1% dari total kematian global. Kejadian dengan dampak rendah namun memiliki frekuensi tinggi seperti gempa bumi dan tsunami tidak dapat dicegah, tetapi kerugian besar bagi manusia dapat dihindari. Bukti sejarah menunjukkan bahwa deteksi bencana yang lebih awal, infrastruktur yang lebih kuat, program kesiapsiagaan dan respons darurat telah secara signifikan mengurangi jumlah kematian akibat bencana di seluruh dunia (Abbass dkk. 2022).

Banyak daerah kemungkinan akan terkena dampak dari kenaikan suhu (Schuermans 2021). Pola cuaca berubah akibat kurangnya sumber daya alam (air), peningkatan pelelehan gletser, dan kenaikan suhu yang mungkin menyebabkan kepunahan banyak jenis tanaman yang ditanam. Di sisi lain, ekosistem pesisir berada di ambang kerusakan. Peningkatan suhu, wabah penyakit serangga, masalah kesehatan terkait, dan perubahan musiman serta gaya hidup terus berlanjut, dengan kemungkinan kuat pola-pola ini berlanjut di masa depan. Pada tingkat global, kurangnya infrastruktur yang baik dan kapasitas adaptasi yang kurang memadai merugikan banyak pihak (IPCC 2013). Selain permasalahan di atas, kurangnya pendidikan lingkungan dan pengetahuan, perilaku konsumen yang ketinggalan zaman, kurangnya insentif, kekurangan regulasi, dan kurangnya komitmen pemerintah terhadap perubahan iklim turut menyumbang kepada kekhawatiran masyarakat

umum. Pada tahun 2050, peningkatan merkuri sebesar 2 hingga 3% dan perubahan drastis dalam pola hujan mungkin memiliki konsekuensi serius. Bencana alam dan lingkungan telah menyebabkan kerugian besar secara global, seperti penurunan hasil pertanian, rehabilitasi sistem, dan pembangunan teknologi yang diperlukan. Selain itu, dalam 3 atau 4 tahun terakhir, dunia telah dilanda penyakit mata dan kulit yang terkait dengan kabut asap, serta peningkatan kecelakaan lalu lintas akibat visibilitas yang buruk (Abbass dkk. 2022).

4.2.2 Dampak Bagi Agrikultur

Pertanian global memainkan peran sentral dalam kontribusi emisi gas rumah kaca, dengan tanggung jawab sekitar 30-40% dari total emisi tersebut. Ini menjadikan sektor pertanian sebagai salah satu industri utama yang berperan dominan dalam pemanasan iklim, dan sekaligus sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim. Terdapat banyak faktor lingkungan pertanian dan iklim yang memiliki pengaruh besar terhadap produktivitas pertanian dan faktor-faktor ini merespons secara signifikan terhadap perubahan ekstrem dalam curah hujan, seperti banjir, kebakaran hutan, dan kekeringan. Selain itu, ketergantungan yang tinggi pada sumber daya alam yang terbatas semakin memperburuk situasinya dan membuat pertanian global menjadi rentan terhadap kerusakan.



Gambar 4.3. Deskripsi skematis tentang dampak potensial perubahan iklim pada sektor pertanian dan langkah-langkah mitigasi dan adaptasi yang sesuai untuk mengatasinya. Sumber: (Abbass dkk. 2022)

Godfray et al. (2010) menyatakan bahwa penurunan dalam sektor pertanian dapat mengancam kualitas hidup para petani dan, akibatnya, berperan penting dalam meningkatkan tingkat kemiskinan, karena pasokan pangan dan air sangat terdampak oleh perubahan iklim. Dalam konteks sistem ekonomi, terutama di negara-negara berkembang, sistem pertanian memiliki dampak yang signifikan terhadap ekonomi secara keseluruhan dan juga dapat memengaruhi kesejahteraan rumah tangga (Abbass dkk. 2022).

Produksi tanaman di seluruh dunia juga sangat rentan terhadap tren perubahan suhu global ini, karena peningkatan suhu berdampak negatif yang serius pada pertumbuhan. Lobell dan Field (2007) mencatat bahwa produksi gandum mengalami penurunan yang signifikan antara tahun 1962 hingga 2002 akibat kenaikan suhu. Selanjutnya, selama periode 1980-2011, tren produktivitas gandum sebagian besar mendukung

kejadian suhu ekstrem, yang juga dikonfirmasi oleh Gourdj et al. (2013) di sekitar wilayah Asia Selatan, Amerika Selatan, dan Asia Tengah. Berbagai penelitian lainnya (Ortiz et al. 2021) juga menunjukkan bahwa produksi gandum terpengaruh negatif oleh kenaikan suhu dan memiliki dampak buruk pada produktivitas biomassa. Demikian pula, produksi padi juga terpengaruh oleh suhu tinggi pada malam hari.

4.2.3 Dampak Perubahan Iklim terhadap Keanekaragaman Hayati

Keragaman hayati global menjadi salah satu korban yang sangat terdampak oleh perubahan iklim karena menyebabkan hilangnya spesies dengan laju yang tinggi. Penelitian telah menunjukkan bahwa perubahan besar dalam dinamika spesies berkaitan erat dengan berbagai peristiwa iklim. Baik tingkat perubahan maupun besarnya perubahan iklim mengubah rentang habitat yang cocok bagi makhluk hidup di ekosistem laut, air tawar, dan daratan. Perubahan dalam pola iklim secara umum memengaruhi kelestarian ekosistem dengan berbagai cara, seperti perubahan dalam jumlah relatif spesies, pergeseran wilayah, perubahan dalam jadwal aktivitas, dan penggunaan mikrohabitat (Bates et al. 2014). Distribusi geografis suatu spesies seringkali bergantung pada kemampuannya untuk bertahan dari stres lingkungan, interaksi biologis, dan kendala dalam penyebaran. Oleh karena itu, dalam menghadapi perubahan iklim, spesies lokal harus beradaptasi, berpindah, atau menghadapi kepunahan daripada mencoba mengubah perubahan iklim itu sendiri (Berg et al. 2010). Sehingga, spesies yang mampu beradaptasi dengan baik memiliki peluang bertahan yang lebih baik di dalam ekosistem yang baru atau memiliki tingkat ketahanan yang lebih rendah di lingkungan di mana mereka saat ini berada (Bates et al. 2014; Abbass dkk. 2022). Pada beberapa wilayah dunia spesies

kunci suatu ekosistem menjadi terancam punah dan akhirnya mengancam keberlangsungan jaring-jaring makanan yang seimbang di wilayah tersebut.

4.2.4 Dampak Perubahan Iklim terhadap Sektor Kehutanan

Hutan berperan sebagai regulator iklim global di seluruh dunia dan memiliki peran yang tak tergantikan dalam mengatur siklus karbon dan nitrogen global (Rehman et al. 2021; Reichstein and Carvalhais 2019). Oleh karena itu, gangguan dalam ekosistem hutan berdampak pada iklim mikro dan makro. Sebaliknya, pemanasan iklim berdampak signifikan pada pertumbuhan dan produktivitas hutan lintas batas dengan memengaruhi pola suhu dan curah hujan, dan lain sebagainya. Seiring dengan itu, perubahan iklim memengaruhi struktur dan fungsi ekosistem dengan dampak negatif seperti kebakaran hutan, kekeringan, wabah hama dan juga mata pencaharian komunitas yang bergantung pada hutan. Meningkatnya frekuensi dan intensitas efek perubahan iklim lainnya, seperti kekeringan, menimbulkan banyak tantangan bagi kelestarian hutan global yang diperkirakan akan terus meningkat. Oleh sebab itu, perubahan iklim juga menyebabkan badai yang memberikan tekanan tambahan pada kelangsungan hidup hutan global (Martínez-Alvarado et al. 2018), terutama karena dampaknya yang semakin besar selama musim hujan yang lebih tinggi dengan tanah yang lebih basah, yang menyebabkan akar pohon menjadi lemah. Peningkatan suhu juga mengubah pola curah hujan yang biasanya terjadi, yang menjadi tantangan serius bagi kelangsungan hidup hutan beriklim sedang dan hal ini berdampak buruk pada spesies pohon lokal (Abbass dkk. 2022).

4.3 Konvensi Perubahan Iklim

The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) mencapai persetujuan yang signifikan dalam Konferensi Para Pihak “*Conference of the Parties*” (COP-21) di Paris pada 12 Desember 2015 untuk menghadapi masalah perubahan iklim. Kesepakatan ini bertujuan untuk mempercepat dan memperkuat tindakan serta investasi yang diperlukan untuk menciptakan masa depan berkelanjutan dengan tingkat emisi karbon yang rendah. Perjanjian Paris memperluas cakupan Konvensi ini dengan mengumpulkan semua negara untuk pertama kalinya dalam upaya bersama untuk mengambil langkah-langkah ambisius dalam menghadapi perubahan iklim dan menyesuaikan diri dengan dampaknya, sambil meningkatkan pendanaan untuk mendukung negara-negara berkembang dalam proses ini. Konvensi ini merupakan tonggak penting dalam upaya global melawan perubahan iklim. Tujuan utama dari Perjanjian Paris adalah untuk meningkatkan tanggapan global terhadap ancaman perubahan iklim dengan menjaga kenaikan suhu global selama abad ini tetap jauh di bawah 2 °C di atas tingkat pra-industri dan berusaha membatasi peningkatan suhu menjadi 1,5°C. Selain itu, perjanjian ini bertujuan untuk memperkuat kapasitas negara-negara dalam menghadapi dampak perubahan iklim dan mengarahkan aliran dana ke jalur dengan emisi gas rumah kaca rendah dan ketahanan terhadap perubahan iklim. Untuk mencapai tujuan ambisius ini, sumber daya finansial yang memadai harus dihimpun dan disediakan, bersama dengan kerangka kerja teknologi baru dan upaya pengembangan kapasitas yang lebih luas, yang memungkinkan negara-negara berkembang dan negara-negara yang rentan bertindak sesuai dengan tujuan nasional mereka. Perjanjian ini juga menciptakan mekanisme yang lebih transparan untuk tindakan dan dukungan. Menurut Perjanjian Paris, semua Pihak

diwajibkan untuk melakukan yang terbaik melalui "kontribusi yang ditentukan secara nasional" "nationally determined contributions" (NDCs) dan untuk memperkuat upaya tersebut dalam beberapa tahun ke depan. Ini mencakup kewajiban bagi semua Pihak untuk secara berkala melaporkan emisi dan kegiatan pelaksanaan mereka. Setiap lima tahun, akan dilakukan peninjauan global untuk mengkaji kemajuan bersama terhadap tujuan perjanjian dan memberikan informasi kepada Pihak-pihak tentang tindakan individu mereka di masa depan (Abbass dkk. 2022).

Perjanjian Paris menjadi tersedia untuk ditandatangani pada 22 April 2016, Hari Bumi, di Markas Besar Perserikatan Bangsa-Bangsa di New York. Pada 4 November 2016, perjanjian tersebut mulai berlaku 30 hari setelah mencapai ambang batas ganda (ratifikasi oleh 55 negara yang menyumbang setidaknya 55% dari emisi dunia). Lebih banyak negara telah meratifikasi perjanjian tersebut sejak saat itu, sehingga jumlah Pihak mencapai 125 pada awal tahun 2017. Untuk sepenuhnya mengoperasikan Perjanjian Paris, sebuah program kerja dimulai di Paris untuk menentukan mekanisme, proses, dan rekomendasi dalam berbagai masalah. Sejak tahun 2016, Pihak-pihak telah bekerja sama dalam badan-badan tertentu dan berbagai entitas yang terbentuk. Konferensi Para Pihak yang berfungsi sebagai pertemuan Para Pihak untuk Perjanjian Paris (CMA) pertama kali diselenggarakan pada November 2016 di Marrakesh bersamaan dengan COP22 dan mengeluarkan dua resolusi pertamanya. Rencana kerja ini dijadwalkan selesai pada tahun 2018. Beberapa strategi mitigasi dan adaptasi, dalam konteks Perjanjian Paris, mencakup: pertama, menjaga peningkatan suhu rata-rata global tetap jauh di bawah 2 °C di atas tingkat pra-industri, kedua, mencoba membatasi kenaikan menjadi 1,5 °C, ketiga, mencapai puncak emisi global sesegera mungkin, dan

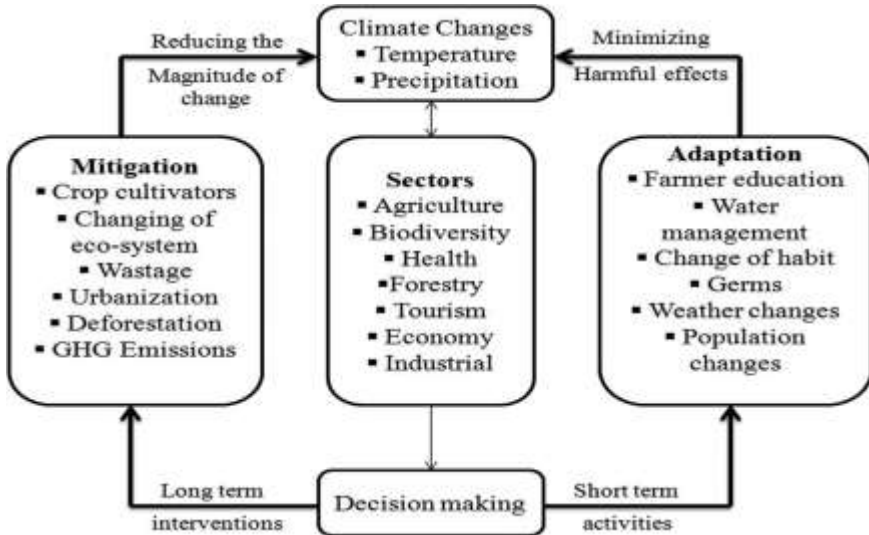
melakukan pengurangan cepat setelah itu untuk mencapai keseimbangan antara emisi dan penghilangan dalam paruh kedua abad ini. Di sisi lain, beberapa strategi adaptasi melibatkan penguatan kemampuan masyarakat dalam menghadapi dampak perubahan iklim dan terus memperluas bantuan internasional bagi negara-negara berkembang dalam beradaptasi (Abbass dkk. 2022).

4.4 Strategi untuk Menghadapi dan Mengurangi Dampak Perubahan Iklim

Adaptasi dan mitigasi merupakan elemen utama dalam menangani respons terhadap Perubahan Iklim. Para peneliti mengartikan mitigasi sebagai tindakan untuk mengurangi efek perubahan iklim, sedangkan adaptasi secara langsung mempengaruhi perubahan iklim seperti banjir. Mitigasi sebagian mengurangi atau mengendalikan emisi gas rumah kaca, dan hal ini menjadi permasalahan krusial baik dari segi ekonomi maupun lingkungan.

Para peneliti memiliki kekhawatiran yang mendalam mengenai metodologi adaptasi dan mitigasi dalam berbagai sektor dan konteks geografis. Pertanian, industri, kehutanan, transportasi, dan penggunaan lahan merupakan sektor-sektor utama yang perlu mengadopsi kebijakan adaptasi dan mitigasi (Waheed et al. 2021). Adaptasi dan mitigasi memerlukan perhatian khusus baik di tingkat nasional maupun internasional. Dunia telah menghadapi permasalahan serius akibat perubahan iklim dalam beberapa dekade terakhir, dan adaptasi terhadap efek-efek ini menjadi suatu keharusan untuk perkembangan ekonomi dan sosial yang berkelanjutan. Untuk melakukan adaptasi dan mitigasi terhadap perubahan iklim, diperlukan pengembangan kebijakan dan strategi di tingkat internasional (Hussain et al. 2020). Gambar 4 menunjukkan daftar studi saat ini mengenai dampak sektoral dari perubahan

iklim beserta langkah-langkah adaptasi dan mitigasi yang diterapkan secara global.



Gambar 4.4. Dampak sektoral perubahan iklim beserta langkah-langkah adaptasi dan mitigasi.

Sumber: (Abbass dkk. 2022)

Beberapa implikasi kebijakan dapat membantu mengurangi dampak perubahan iklim, terutama pada sektor-sektor yang paling terpengaruh seperti sektor pertanian:

1. Perubahan pola musim dan praktik budidaya
2. Pengembangan varietas tanaman baru
3. Perubahan dalam manajemen dan faktor-faktor input lainnya. Untuk memanfaatkan sepenuhnya dampak dari CO₂, diperlukan penggunaan nitrogen dan pupuk lainnya yang lebih banyak. Nitrogen yang tidak digunakan oleh tanaman dapat mencemari air tanah, bercampur dengan permukaan air, atau teremisikan dari tanah sebagai nitrogen oksida nitrat ketika dosis pupuk yang besar

digunakan. Peningkatan kadar nitrogen dalam sumber air tanah telah dikaitkan dengan penyakit kronis pada manusia dan dampak negatif pada ekosistem laut.

4. Adaptasi teknologi dan sosial-ekonomi

Selain pendekatan dari berbagai sektor terutama sektor agrikultur yang menyumbang banyak gas rumah kaca, pada beberapa wilayah regional khususnya di kota-kota besar di Indonesia, diperlukan pendekatan lain untuk mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Pada kota besar mungkin jarang ditemukan atau bahkan tidak ditemukan sektor agrikultur yang mencolok. Sektor penyumbang gas rumah kaca terbanyak datang dari sektor industri dan transportasi.

Masyarakat di kota metropolitan Indonesia, masih menggunakan kendaraan pribadi dalam mobilitasnya. Jutaan orang mengemisikan polutan ke atmosfer dalam satu waktu dan hal tersebut mulai menimbulkan dampak signifikan terhadap lingkungan serta dirasakan langsung oleh penduduk itu sendiri, yaitu; polusi udara. Permasalahan pencemaran udara yang sudah sangat parah di Indonesia berasal dari emisi gas buang kendaraan bermotor, terutama kendaraan yang menggunakan bahan bakar minyak (diesel dan bensin). Peralihan dari penggunaan kendaraan pribadi menjadi kendaraan umum dianggap menjadi salah satu solusi yang paling efektif selain pengalihan kendaraan berbahan bakar minyak menjadi kendaraan listrik.

Selain adanya polutan yang berasal dari sektor transportasi, sektor industri tidak lepas dari kontribusi terhadap polutan gas rumah kaca. Regulasi yang sudah ditetapkan pemerintah untuk pengendalian pencemaran udara dari emisi gas buang industri tidak akan bisa menjadi satu-satunya solusi. Butuh langkah strategis lainnya misalkan penggunaan teknologi ramah lingkungan dan juga penggunaan

pembangkit listrik tenaga surya yang saat ini masih belum berkembang maksimal di Indonesia.

Pendekatan terhadap masyarakat di urban atau pedesaan untuk membangun kesadaran dalam kebersihan dan sanitasi lingkungan. Pengelolaan sampah yang berkelanjutan menjadi bagian dari mitigasi perubahan iklim karena salah satu atau beberapa polutan berasal dari sistem manajemen sampah yang tidak baik. Masih banyak ditemukan masyarakat yang membakar sampah sendiri dan akhirnya pelepasan gas rumah kaca ke atmosfer semakin parah. Belum lagi manajemen terhadap Tempat Penampungan Akhir Sampah yang saat ini masih perlu banyak perbaikan. Sanitasi terhadap sampah tersebut bisa menjadi salah satu hal yang mendukung pengurangan pelepasan gas rumah kaca ke atmosfer.

Pada akhirnya, seberapa banyak pun strategi dan mitigasi yang tersedia, namun jika komponen-komponen terutama pemangku kepentingan yaitu pemerintah tidak bisa menyediakan dan memfasilitasi pelaksanaan, usaha mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim akan terus jalan di tempat dan sulit untuk berkembang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbass, K., Qasim, M.Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H. dan Younis, I. 2022. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research* 29(28), hlm. 42539–42559.
- Bates AE, Pecl GT, Frusher S, Hobday AJ, Wernberg T, Smale DA, Colwell RK. 2014. Defining and observing stages of climatemediated range shifts in marine systems. *Glob Environ Chang* 26:27–38
- Berg MP, Kiers ET, Driessen G, Van DerHEIJDEN M, Kooi BW, Kuenen F, Ellers J. 2010. Adapt or disperse: understanding species persistence in a changing world. *Glob Change Biol* 16(2):587–598
- EPA. 2023a. *Global Greenhouse Gas Emissions Data*. EPA. Available at: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data> [Accessed: 18 July 2023].
- EPA. 2023b. *Overview of Greenhouse Gases*. EPA. Available at: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases> [Accessed: 18 July 2023].
- Godfray HCJ, Beddington JR, Crute IR, Haddad L, Lawrence D, Muir JF, Toulmin C. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327(5967):812–818
- Hussain M, Butt AR, Uzma F, Ahmed R, Irshad S, Rehman A, Yousaf B. 2020. A comprehensive review of climate change impacts, adaptation, and mitigation on environmental and natural calamities in Pakistan. *Environ Monit Assess* 192(1):48

- IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press. Available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf [Accessed: 18 July 2023].
- IPCC. 2013. Summary for policymakers. *Clim Chang Phys Sci Basis Contrib Work Gr I Fifth Assess Rep*
- Lobell DB, Field CB. 2007. Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environ Res Lett* 2(1):014002
- Martínez-Alvarado O, Gray SL, Hart NC, Clark PA, Hodges K, Roberts MJ. 2018. Increased wind risk from sting-jet windstorms with climate change. *Environ Res Lett* 13(4):044002
- Mikhaylov, A., Moiseev, N., Aleshin, K. dan Burkhardt, T. 2020. Global Climate Change and Greenhouse Effect. *Entrepreneurship and Sustainability Issues* 7(4), hlm. 2897–2913. Tersedia pada: https://jssidoi.org/jesi/uploads/articles/28/Mikhaylov_Global_climate_change_and_greenhouse_effect.pdf [Diakses: 7 Agustus 2023].
- NASA. 2023. *What is the greenhouse effect?* NASA. Available at: <https://climate.nasa.gov/faq/19/what-is-the-greenhouse-effect/> [Accessed: 31 July 2023].
- Ortiz AMD, Outhwaite CL, Dalin C, Newbold T. 2021. A review of the interactions between biodiversity, agriculture, climate change, and international trade: research and policy priorities. *One Earth* 4(1):88–101
- Schuermans C. 2021. *The world heat budget: expected changes* *Climate Change* (pp. 1–15): CRC Press
- Rehman A, Ma H, Ahmad M, Irfan M, Traore O, Chandio AA. 2021. Towards environmental Sustainability: devolving the influence of carbon dioxide emission to population growth, climate change, Forestry, livestock and crops production in Pakistan. *Ecol Indic* 125:107460

- Reichstein M, Carvalhais N. 2019. Aspects of forest biomass in the Earth system: its role and major unknowns. *Surv Geophys* 40(4):693–707
- Symanski E, Han HA, Han I, McDaniel M, Whitworth KW, McCurdy S, . . . Delclos GL. 2021. Responding to natural and industrial disasters: partnerships and lessons learned. *Disaster medicine and public health preparedness* 1–4
- Waheed A, Fischer TB, Khan MI. 2021. Climate Change Policy Coherence across Policies, Plans, and Strategies in Pakistan—implications for the China-Pakistan Economic Corridor Plan. *Environ Manage* 67(5):793–810
- Wiranata IJ, Simbolon K. 2021. Increasing awareness capacity of disaster potential as a support to achieve sustainable development goal (sdg) 13 in lampung province. *Jurnal Pir: Power in International Relations* 5(2):129–146

BAB 5

SUMBERDAYA AIR

Oleh I Wayan Budiarsa Suyasa

5.1 Pendahuluan

Sumber daya air meliputi sumber air, dan daya air yang dikandung di dalamnya. Sumber air adalah tempat atau wadah air alami dan atau buatan yang terdapat pada, di atas, ataupun di bawah permukaan tanah. Daya air adalah potensi yang terkandung dalam air dan atau sumber air yang dapat memberi manfaat dan atau kerugian bagi kehidupan manusia dan lingkungannya. Sumber Daya Air merupakan bagian dari ekosistem yang sangat penting, sehingga harus dikelola memenuhi aspek terpadu dan menyeluruh guna mewujudkan pemanfaatan sumber daya air yang berkelanjutan yaitu pengelolaan yang dilakukan ditujukan untuk kepentingan generasi sekarang, dan kepentingan generasi mendatang. Pengelolaan yang dilakukan harus memperhatikan keseimbangan ekosistem dan daya dukung lingkungan dengan aspek Secara terpadu, berupa pengelolaan yang dilaksanakan dengan melibatkan semua pemangku kepentingan antar sektor dan antar wilayah dan Secara menyeluruh, yaitu mencakup semua bidang pengelolaan yang meliputi konservasi dan pendayagunaan sumber daya air, serta pengendalian daya rusak air, meliputi 1 (satu) sistem wilayah pengelolaan yg mencakup semua proses perencanaan, pelaksanaan, pemantauan dan evaluasi.

Pengelolaan sumber daya air merupakan upaya untuk merencanakan, melaksanakan, memantau, dan mengevaluasi penyelenggaraan konservasi sumber daya air, pendayagunaan

sumber daya air, dan pengendalian daya rusak air. Pengelolaan sumber daya air bertujuan untuk :

1. Kepentingan sosial, kepentingan umum lebih diutamakan daripada kepentingan individu
2. Kepentingan lingkungan hidup, sumber daya air menjadi bagian dari ekosistem sekaligus sebagai tempat kelangsungan hidup flora dan fauna
3. Kepentingan ekonomi, sumber daya air dapat didayagunakan untuk menunjang kegiatan usaha/ekonomi yang diselenggarakan dan diwujudkan secara serasi dan selaras.

5.2 Air Tanah

Air tanah adalah air yang terdapat dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah, sedangkan daerah aliran air tanah atau cekungan air tanah atau akuifer merupakan suatu wilayah yang dibatasi oleh batas-batas hidrogeologis, tempat dimana semua kejadian hidrogeologis berlangsung, seperti proses pengimbuhan, pengaliran dan pelepasan air tanah. Cekungan air tanah ini dapat dibedakan atas 2 kondisi, yaitu : Cekungan air tanah bebas atau confined aquifer dan Cekungan air tanah tertekan atau unconfined aquifer.

Air tanah merupakan sumber air tawar yang terbesar yang ada di bumi ini, mencakup 30% dari total air tawar atau 10,5 juta km³. Akhir-akhir ini pemanfaatan air tanah meningkat dengan pesat seiring dengan perkembangan penduduk dan pembangunan, bahkan di beberapa tempat tingkat eksploitasinya sudah menunjukkan tingkat yang ancaman kekurangan air yang memprihatinkan. Air tanah secara umum dimanfaatkan baik sebagai sumber air bersih untuk berbagai keperluan/ kebutuhan manusia, industri maupun untuk kepentingan irigasi.

Cikal bakal mata air adalah air tanah dan mata air yang tergolong sebagai sumber daya air, yaitu sumber air yang memiliki daya (energi). Pembentukan air tanah mengikuti siklus peredaran air di bumi yang disebut daur hidrologi, yaitu proses alamiah yang berlangsung pada air di alam yang mengalami perpindahan tempat secara berurutan dan terus menerus(Kodoatie, 2012). Air hujan maupun air permukaan yang terinfiltrasi meresap melalui lapisan-lapisan tanah dan batuan seiring dengan waktu tertentu akan membentuk air tanah. Lapisan batuan di bawah permukaan yang dapat menampung dan mengalirkan air tanah disebut akuifer. Berdasarkan analisis geolistrik dapat dijelaskan bahwa akuifer memiliki dua fungsi penting, yaitu sebagai penyimpan air, layaknya sebuah waduk dan sebagai penyalur air, bekerja layaknya jaringan pipa(Darsono, 2016).

Mata air sebenarnya adalah air tanah yang berada di bawah permukaan tanah tepatnya pada batuan yang bersifat jenuh air atau akuifer. Proses geologi di dalam tanah menjadi faktor pendorong, sehingga air tanah muncul di atas permukaan tanah. Air yang muncul itulah kemudian dikenal sebagai mata air. Hal tersebut terjadi akibat lintasan aliran air tanah terpotong oleh berbagai fenomena alam.) Mata air adalah lokasi di mana air tanah mengalir atau merembes keluar hingga mencapai permukaan tanah secara alami. Selanjutnya air yang dihasilkan tersebut mengalir pada permukaan tanah dan melalui alur sungai, sehingga seringkali menjadi sumber aliran air pada sungai(Hendrayana, H., Nuha, A., Wiyatna, A.B., Muhammad, 2019). Mata air yang terjangkau, umumnya dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai sumber air bersih. Mata air juga merupakan salah satu sumber daya air dari air permukaan seperti sungai, danau, rawa. Dibandingkan dengan air permukaan, air tanah memiliki banyak kelebihan terkait dengan tingkat kualitas diantaranya tidak berbau, jernih (tidak

berwarna) sehingga relatif lebih berkualitas (steril). Selain itu suhunya relatif stabil, serta kuatitasnya lebih stabil meskipun musim kemarau. Sementara kualitas air permukaan sangat riskan mengalami pencemaran karena akses aktivitas manusia. Melihat kondisi air permukaan, saat ini relatif tercemar akibat polusi limbah dari aktivitas manusia. Air tanah dalam pun kian mendapatkan tekanan dan semakin berperan seiring dengan peningkatan kebutuhan air bersih. Proses terbentuknya air tanah merupakan proses hidrogeologi yang saling terkait dengan kondisi air dalam berbagai bentuk dan terhubung satu sama lain dan berada dalam satu siklus yang dapat mencapai puluhan bahkan jutaan tahun.

Mata air yang terbentuk akibat adanya pemotongan aliran air tanah akibat struktur geologi, dan air pun keluar secara alamiah dari dalam bebatuan. Hal inilah menyebabkan mata air dapat dijumpai di kawasan kaki bukit, lereng bukit, dataran, dan juga lembah bukit. Pada dasarnya air dari mata air berasal dari air di permukaan tanah yang meresap sehingga menjadi airtanah dan akhirnya kembali menjadi air permukaan.

Proses hidrogeologi ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu air permukaan, air tanah, dan air mata air (Hendrayana, H., Nuha, A., Wiyatna, A.B., Muhammad, 2019).

1. Air permukaan

Semua air yang terdapat pada permukaan tanah, seperti air sungai, air saluran (stream), mata air (spring), air danau, air waduk, air telaga, dan air di kolam retensi. Air permukaan ini dapat berasal dari air hujan, lelehan salju, dan aliran yang berasal dari air tanah. Jumlah air permukaan di bumi diperkirakan hanya sebesar 0,35 juta km³ atau sekitar 1% dari air tawar yang ada di bumi, dapat dipergunakan untuk berbagai keperluan, seperti untuk kebutuhan domestik, industri, irigasi dan pertanian, pembangkit tenaga listrik,

pelayaran sungai, serta untuk keperluan pariwisata atau rekreasi, dan sebagainya.

Besar kecilnya aliran air permukaan di suatu daerah, dipengaruhi oleh faktor-faktor yang berkaitan dengan iklim, terutama curah hujan, dan faktor-faktor yang berkaitan dengan sifat dan karakteristik daerah aliran sungai. Parameter hujan yang berpengaruh terhadap besarnya aliran air permukaan, antara lain intensitas hujan, waktu atau durasi hujan, serta persebaran hujan

2. Tahap Air tanah

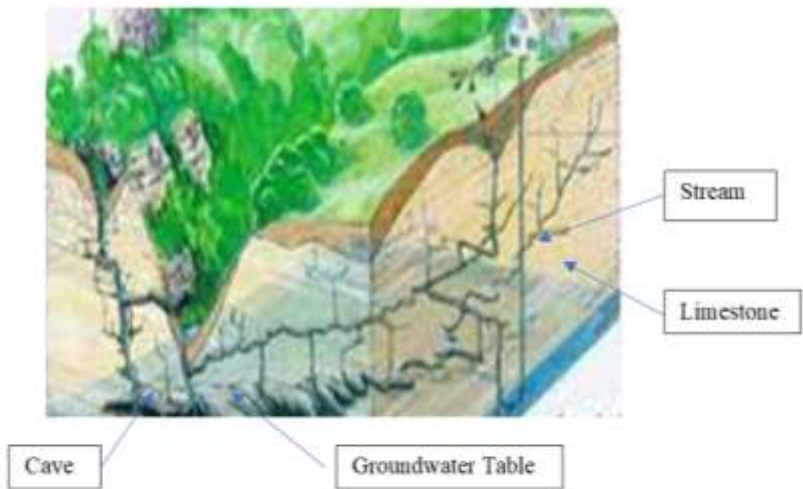
Air permukaan meresap ke dalam tanah dalam jangka waktu yang berbeda-beda. Air ini masih tetap mengalir lewat retakan dan celah kecil di dalam tanah, yang pada akhirnya bergerak lambat pada suatu lapisan batuan yang jenuh air disebut dengan akuifer. Kualitas airtanah yang akhirnya memiliki peran penting dalam aspek kehidupan manusia.

3. Tahap Mata Air

Pada saat airtanah mengalir melalui celah kecil pada batuan jenuh air atau akuifer, kemudian terjadi proses geologi yang menyebabkan lintasan air terpotong, maka pada saat itulah airtanah akan berkumpul pada satu titik akan memancar kembali ke permukaan tanah melalui celah/rekahan batuan, disebut dengan mata air.

Terdapat beberapa jenis mata air, yang merupakan kemunculan air tanah ke atas permukaan dari beberapa akuifer : (1) Depression spring, (2) Contact spring, (3) Fault spring, (4) Sinkhole spring, (5) Joint spring, dan (6) Karst spring. Mata air yang dijumpai pada pulau karst (karst spring), merupakan mata air yang dapat dihubungkan dengan depresi topografi disebabkan oleh collapsed cavern (sinkhole) pada elevasi yang lebih tinggi. Pada beberapa wilayah dengan karst sebagai medan dengan kekhasan

kondisi hidrologi sebagai akibat dari batuan yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang baik (Ford, D. C., 1992). Karst merupakan bentang alam yang terbentuk akibat pelarutan air pada batu gamping dan/atau batu dolomit yang mempunyai karakteristik relief dan drainase yang khas, yang disebabkan oleh tingginya keterlarutan batuan didalam air. Pada kawasan bentang alam karst, akuifer pembawa air bukan lapisan pasir seperti halnya pada kawasan batuan vulkanik. Pada kawasan ini, air hujan yang meresap kedalam batuan, terjadi proses pelarutan yang membuat rongga-rongga yang lama kelamaan bertambah besar. Gamping tergolong dalam batuan dengan tingkat infiltrasi yang tinggi, sehingga air cukup mudah untuk meresap. Batuan sebelah atas akan terlapukkan dan membentuk tanah, yang selanjutnya mengisi rongga-rongga tersebut dan menyimpan air. Proses selanjutnya secara perlahan-lahan mengalir ke sungai bawah tanah ataupun muncul sebagai mata air. Sketsa siklus hidrologi pada bentang alam karst dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1. Ilustrasi hidrologi di kawasan karst

Hidrologi secara khusus mempelajari tentang kejadian proses siklus air di bumi, deskripsi pengaruh batuan terhadap air, pengaruh fisik air terhadap daratan dan mempelajari hubungan air dengan kehidupan. Sementara di sisi lain, karst adalah kawasan dengan ciri topografi eksokarst (kerucut, doline, uvala, dan polje) dan perkembangan sistem drainase bawah permukaan yang lebih dominan dengan sistem aliran permukaannya (Ford, D. C., 1992).

5.3 Konservasi Mata Air

Konservasi sumber daya air merupakan upaya memelihara keberadaan serta keberlanjutan keadaan, sifat, dan fungsi sumber daya air agar senantiasa tersedia dalam kuantitas dan kualitas yang memadai untuk memenuhi kebutuhan manusia dan makhluk hidup lainnya, baik pada waktu sekarang maupun yang akan datang (Undang Undang Nomor 17 Tahun 2019). Konservasi mata air pada daerah

tangkapan air (DTA) dapat dilakukan dengan menggunakan metode konservasi tanah dan air (KTA). Kegiatan KTA ini sangat penting mengingat prinsip dari konservasi air adalah memasukkan aliran air di permukaan tanah seoptimal mungkin, sehingga akan berproses menjadi air tanah dalam jangka umur tertentu sesuai dengan kemampuan lapisan tanah/batuan untuk menyerap (infiltrasi). Dengan terjaminnya cadangan air tanah, maka debit mata air juga dapat terjaga tetap lestari. Dalam pengelolaan konservasi tanah dan air berdasarkan ekosistem dan satuan lahan dilakukan dengan menggunakan pendekatan pengelolaan daerah aliran sungai secara terpadu.

Daerah aliran sungai (DAS) adalah satuan wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungai yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alamiah, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, pengelolaan DAS adalah upaya manusia dalam mengatur hubungan timbal balik antara sumberdaya alam dengan manusia di dalam DAS dan segala aktivitasnya, agar terwujud kelestarian dan keserasian ekosistem serta meningkatnya kemanfaatan sumberdaya alam bagi manusia secara berkelanjutan.

Dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 17 Tahun 2012 tentang Penetapan Kawasan Bentang Alam Karst disebutkan bahwa bentang alam karst memiliki komponen geologi yang unik yang juga berperan dalam pengatur alami tata air. Keberadaannya harus dilestarikan dan dilindungi untuk mencegah kerusakan sehingga dapat menunjang pembangunan berkelanjutan. Kawasan bentang alam karst adalah karst yang menunjukan

bentuk eksokarst dan endokarst tertentu. Eksokarst merupakan karst pada bagian permukaan dan endokarst adalah karst pada bagian bawah permukaan. Bukit karst dan mata air termasuk dalam eksokarst serta sungai bawah tanah termasuk dalam endokarst. Dengan demikian dikatakan bahwa kawasan bentang alam karst adalah kawasan lindung.

Daerah imbuhan airtanah pada suatu cekungan airtanah memiliki ciri-ciri umum sebagai berikut (1) mempunyai arah umum aliran airtanah secara vertikal ke bawah; (2) air meresap ke dalam tanah sampai muka airtanah (mengisi akuifer); (3) kedudukan muka freatik relatif dalam; (4) kedudukan muka freatik lebih dalam dari muka pisometrik pada kondisi alamiah; (5) daerah singkapan batuan lolos air tidak jenuh air; (6) daerah pebukitan atau pegunungan ; (7) kandungan kimia airtanah relatif rendah; dan (8) umur air tanah relatif muda. Ciri-ciri khusus daerah imbuhan airtanah antara lain : (1) daerah tubuh dan puncak kerucut gunung api; (2) daerah karst yang mempunyai retakan dan lubang pelarutan; (3) daerah singkapan batuan pembentuk akuifer tertekan bagian hulu.

Ciri-ciri umum daerah lepasan air tanah adalah : (1) mempunyai arah umum aliran airtanah secara vertikal ke atas; (2) muka airtanah bergerak ke atas mengisi pori-pori tanah pada zona tidak jenuh air; (3) kedudukan muka preatik lebih dangkal dari muka pisometrik pada kondisi alamiah; (4) daerah sebelah hilir pemunculan mata air permanen; (5) mempunyai arah umum aliran airtanah secara vertikal ke bawah; (6) air meresap ke dalam tanah sampai muka airtanah (mengisi akuifer); (7) kedudukan muka preatik relatif dangkal; (8) kandungan kimia airtanah relatif tinggi; (9) umur airtanah relatif tua; (10) daerah dataran.

Ciri-ciri khusus daerah lepasan air tanah adalah antara lain : (1) menempati kaki atau dataran kerucut gunung api; (2)

menempati kaki atau lereng bawah pebukitan karst dan dijumpai mata air permanen. Tergolong sebagai air permukaan adalah air laut, air sungai, air rawa, air danau, hingga air hujan. Air masih berada di atas permukaan bumi (tanah), disebut sebagai air permukaan. Air inilah yang meresap dan menjadi airtanah, dengan tingkat kecepatan resapan tergantung pada jenis tanah atau batuan setempat.

5.4 Penentuan Daerah Imbuhan Air Tanah

5.4.1 Pendekatan Isotop ^{18}O dan ^2H dalam Penentuan Area Imbuhan

Beberapa pendekatan berbasis data hidrogeologi yang biasanya dipergunakan dalam mendelianiiasi area imbuhan air tanah adalah berdasarkan tekuk lereng, berdasarkan pola aliran sungai, berdasarkan kemunculan mata air, berdasarkan kedudukan muka airtanah, dan berdasarkan pendekatan hidrokimia serta isotop (Permen ESDM Nomor 31 Tahun 2018). Pendekatan yang digunakan dalam penentuan daerah imbuhan air tanah dengan menggunakan isotop telah dilakukan oleh Badan Geologi tahun 2007(Sudaryanto and Lubis, 2011) dan (Wijatna Budhie *et al.* (2013). Selain itu, penentuan area imbuhan juga menggunakan analisis spasial dengan menggunakan *remote sensing* ataupun *Geographic Information System* (GIS)(Celalettin, Ş., Demirkese, A.C., Baba, A., Kumanl, A., Durukan, S. and Aksoy, 2020). Disisi lain penggunaan pendekatan berdasarkan beberapa parameter klasifikasi seperti kelulusan batuan, curah hujan, tanah penutup, kemiringan lereng, dan muka air tanah tidak tertekan dapat juga dilakukan (Putranto, T.T. and Purba, 2019).

Teknik isotop stabil merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan untuk mempelajari potensi suatu airtanah yang dapat digunakan untuk menentukan hubungan antara air tanah dengan air permukaan atau hubungan antara beberapa

akifer air tanah, seperti penentuan daerah imbuhan dan penentuan asal usul air tanah. Isotop stabil dalam penelitian ini berupa pelacak alami (*enviromental tracers*) oksigen O ($\delta^{18}\text{O}$) dan deuterium H ($\delta^2\text{H}$). Untuk menentukan daerah imbuhan dan asal usul air tanah pada akuifer tertekan (*unconfined aquifer*) dilakukan pengukuran dan pengambilan contoh untuk isotop stabil dari sumur pantau yang posisi saringan sumur berada pada akuifer tertekan, nilai besaran isotop stabil pada sumur pantau akan memberikan petunjuk lokasi air tanah itu berasal. Di samping itu, harus dilakukan pula pengukuran dan pengambilan contoh untuk isotop stabil pada sumur dangkal (akuifer tidak tertekan. Nilai besaran isotop pada sumur dangkal akan memberikan petunjuk lokasi air tanah yang berasal dari daerah setempat, dan berfungsi sebagai pembanding serta mengkorelasikan kedua nilai isotop stabil dari sumur pantau maupun dari sumur dangkal. Isotop merupakan unsur yang memiliki nomer atom sama tetapi dengan massa atom yang berbeda. Penerapan teknik isotop dalam studi air tanah dapat melibatkan isotop alam dan isotop buatan yang biasanya digunakan dalam mencari informasi mengenai daerah resapan airtanah. Menurut Pijiindiyati (2010), kombinasi data isotop ini bersama dengan data kimia akan sangat berguna untuk investigasi mekanisme resapan airtanah (isotop ^2H , ^{18}O dan ^3H (air)), sebagai parameter untuk tujuan penanggalan airtanah atau *groundwater dating* (isotop alam ^3H (air), ^{14}C dan ^{13}C (DIC)), dapat digunakan untuk studi polusi dan salinisasi pada airtanah (isotop alam seperti ^2H dan ^{18}O (air), ^{13}C (DIC), ^{18}O dan ^{34}S (SO_4 - dari air), ^{18}O dan ^{15}N (NO_3^- dari air))(Pujiindiyati, 2010).

Beberapa fungsi isotop alam dalam studi air tanah diperlihatkan pada Tabel 6.1. Secara umum isotop dikelompokkan menjadi 2 jenis, yaitu isotop tak stabil atau isotop radioaktif (*radioactive isotopes*) yang meluruh terhadap

waktu dan isotop stabil (*stable isotopes*) yang tidak berubah dalam waktu namun konsentrasinya sangat dipengaruhi oleh proses fisik dan kimia (seperti evaporasi dan kondensasi). Isotop stabil merupakan isotop alam (*enviromental isotope*) yang mana umum digunakan dalam hidrogeologi dan dimanfaatkan dalam berbagai penelitian adalah isotop stabil Deuterium (^2H), Oksigen-18 (^{18}O), dan molekul radio isotop Tritium (^3H).

Tabel 5.1. Aplikasi Isotop Alam pada Studi Airtanah

No	Isotop	Senyawa	Aplikasi
1	Deuterium (^2H) dan Oksigen-18 (^{18}O)	H_2O (air)	- Asal airtanah dan identifikasi daerah resapan - Interkoneksi atau kebocoran antar akuifer - Identifikasi air tua (<i>paleowater</i>) - Hubungan antara air permukaan-airtanah - Mekanisme salinasi airtanah - Penanggalan airtanah
2	Tritium (^3H)	H_2O (air)	- Identifikasi resapan airtanah modern - Pergerakan dan waktu tinggal airtanah - Kecepatan infiltrasi di zone tak jenuh - Perencanaan zone proteksi
3	Karbon-13 (^{13}C)	CO_2^- (air)	- asal-usul senyawa karbon - Dinamika airtanah - Identifikasi air tua (<i>paleowater</i>) - Interaksi antara batuan-air

No	Isotop	Senyawa	Aplikasi
			- Identifikasi polutan
4	Karbon-14 (¹⁴ C)	2- CO ₃	- Penanggalan airtanah dan identifikasi air tua - Pergerakan dan waktu tinggal airtanah
5	Nitrogen-15 (¹⁵ N) dan Oksigen-18 (¹⁸ O)	NO ₃ (air)	- Asal-usul senyawa nitrat - Identifikasi sumber polutan nitrat - Identifikasi proses denitrifikasi oleh mikroba
6	Sulfur-34 (³⁴ S) dan Oksigen-18 (¹⁸ O)	2- SO ₄	- Identifikasi sumber polutan senyawa sulfat - Asal-usul salinasi airtanah - Investigasi air panas bumi
7	Boron-11 (¹¹ B)	B(OH) (air)	- Identifikasi sumber polutan
8	Klor-37 (³⁷ Cl)	Hidrokarbon terklorinasi	- Identifikasi sumber polutan senyawa klor - Identifikasi salinasi airtanah

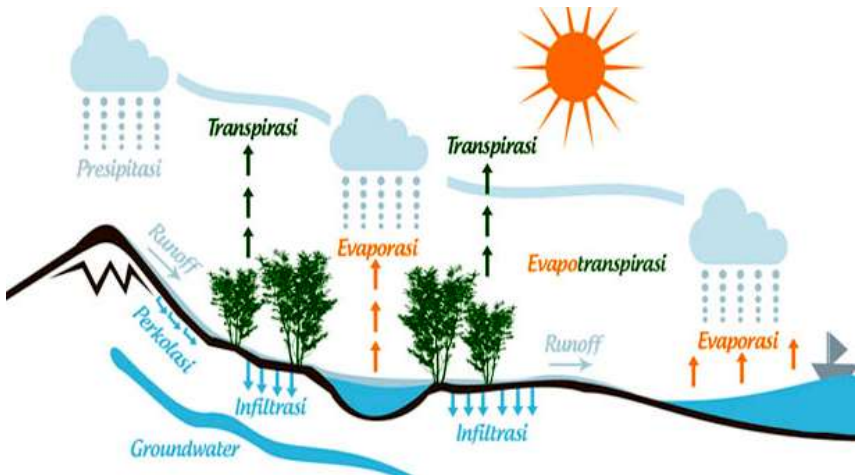
(Sumber: (Pujiindiyati, 2010)

Dalam siklus hidrologi terjadi proses evaporasi dari air permukaan, kemudian mengalami proses kondensasi dan jatuh sebagai air hujan, selanjutnya sebagian mengalir di permukaan dan sebagian meresap ke dalam tanah melalui proses infiltrasi, menjadi aliran air tanah. Siklus hidrologi pergerakannya dimulai dari penguapan air laut, kemudian kondensasi air hujan dan imbuhan ke dalam airtanah. Isotop alam terlibat dalam

kedua peristiwa fisika ini yaitu penguapan dan kondensasi, dimana isotop pada kedua peristiwa tersebut mengalami proses fraksinasi sehingga terjadi perubahan konsentrasi pada setiap fase perubahan (Febriarta, E., Haryono, E. and Adji, 2015).

Air laut yang mengalami proses penguapan secara *steady state* mengalami pengkayaan maksimum dan mempunyai konsentrasi isotop ^{18}O dan ^2H dengan kelimpahan tertinggi (*enriched*) sedangkan air hujan yang merupakan hasil dari penguapan air laut mempunyai konsentrasi isotop berat ^{18}O dan ^2H pengenceran kelimpahan (*depleted*) variasi ^{18}O . Konsentrasi isotop berat pada air hujan sangat tergantung pada suhu kondensasi dan mempunyai hubungan linier terhadap elevasi. Air hujan yang turun pada elevasi yang rendah mempunyai konsentrasi lebih *enriched* sedangkan air hujan yang turun pada elevasi tinggi mempunyai konsentrasi yang lebih *depleted*. Konsentrasi tersebut sangat spesifik dan apabila air hujan pada elevasi tertentu dan meresap ke dalam tanah maka konsentrasi ^{18}O dan ^2H mirip dengan konsentrasi air hujannya (Adji, T.N., Haryono, E., Suprojo, 1999).

Air hujan dalam siklus hidrologi terbentuk dari kondensasi uap air hasil proses penguapan (evaporasi) air di permukaan, termasuk juga air laut ditunjukkan pada Gambar 2.

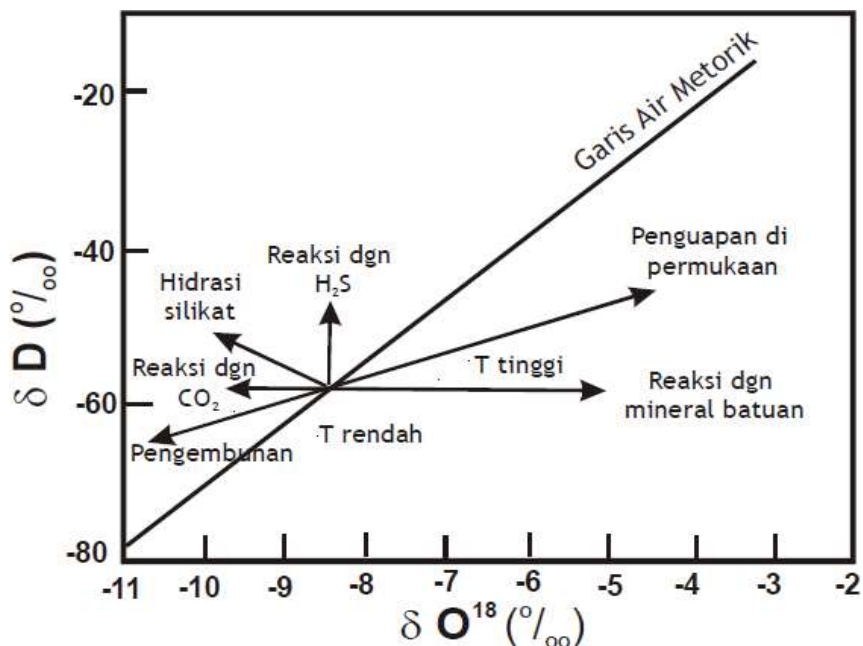


Gambar 5.2. Siklus Hidrolisa

Hasil pengembunan uap air ini akan terkumpul membentuk awan pembawa hujan hingga akhirnya turun menjadi hujan. Selama proses ini, nilai isotop deuterium dan oksigen-18 yang berasal dari penguapan mengalami perubahan baik berupa penurunan maupun pengayaan rasio isotop. Selama proses presipitasi, air hujan yang jatuh akan berinteraksi baik dengan permukaan tanah (berupa *surface runoff* maupun infiltrasi) maupun atmosfer. Interaksi ini juga akan menyebabkan perubahan komposisi isotop yang terkandung di dalam air hujan. Saat terjadi penguapan air laut, $\delta^{18}\text{O}$ akan berkurang hingga mencapai 12 - 15‰ dan $\delta^2\text{H}$ akan berkurang hingga 80 - 120‰. Uap air hasil penguapan air laut akan mengembun membentuk hujan ataupun salju.

Proses pengembunan dan pembentukan hujan ini menyebabkan konsentrasi isotop deuterium dan oksigen-18 akan meningkat. Selanjutnya hujan atau salju akan membentuk awan dan bergerak mendekati daratan. Selama pergerakan awan, komposisi isotop deuterium dan oksigen-18 akan

berkurang. Hal ini dikarenakan selama pergerakan awan, proses penguapan, pengembunan, dan hujan terus berulang menyebabkan kandungan isotop yang terbentuk di awal penguapan semakin berkurang. Fraksi isotop yang lebih berat dan jatuh lebih dahulu selama pergerakan awan hujan mengakibatkan pada daerah yang dekat dengan laut akan memiliki nilai isotop yang lebih ringan dibandingkan daerah yang relatif lebih jauh. Air hujan yang masuk ke dalam lapisan akuifer akan mengalami berbagai reaksi dengan batuan sampingnya (*water-rock interaction*). Reaksi ini juga akan menyebabkan perubahan baik berupa penambahan maupun pengurangan jumlah isotop di dalam air (Gambar 6.3). Proses fisika dan kimia yang terjadi pada suatu air akan tergambarkan pada plot silang antara isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$. Plot kedua rasio isotop tersebut dari suatu sampel air akan berada disekitar garis yang mewakili proses yang mempengaruhi rasio isotop pada sampel tersebut.

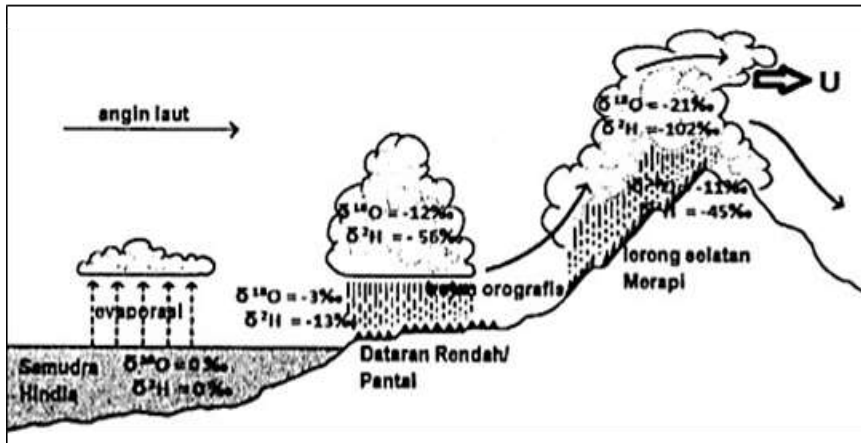


Gambar 5.3. Fraksionasi Isotop yang Menggambarkan Pola Pergeseran Jumlah Isotop Deuterium dan Oksigen-18 di dalam Air (Dimodifikasi dari IAEA, 1986)

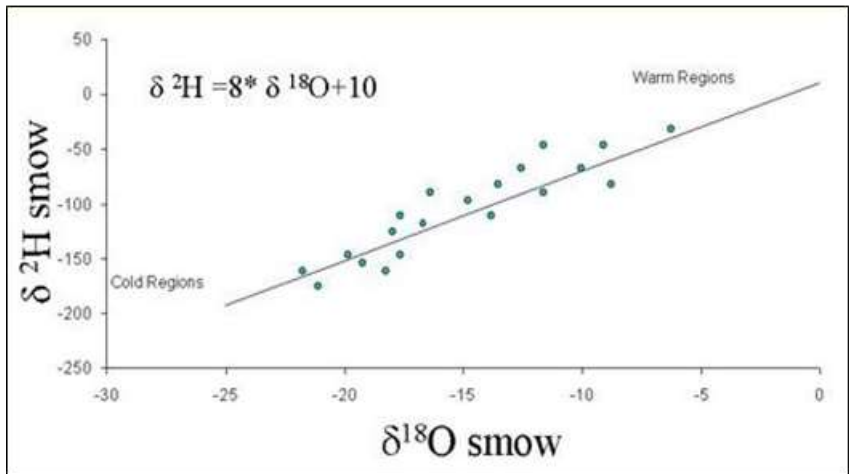
Hasil pengembunan uap air ini akan terkumpul membentuk awan pembawa hujan hingga akhirnya turun menjadi hujan. Selama proses ini, nilai isotop deuterium dan oksigen-18 yang berasal dari penguapan mengalami perubahan baik berupa penurunan maupun pengayaan rasio isotop. Selama proses presipitasi, air hujan yang jatuh akan berinteraksi baik dengan permukaan tanah (berupa surface run off maupun infiltrasi) maupun atmosfer. Interaksi ini juga akan menyebabkan perubahan komposisi isotop yang terkandung di dalam air hujan. Saat terjadi penguapan air laut, $\delta^{18}\text{O}$ akan berkurang hingga mencapai 12 - 15‰ dan $\delta^2\text{H}$ akan berkurang

hingga 80 - 120‰. Uap air hasil penguapan air laut akan mengembun membentuk hujan ataupun salju.

Dapat juga dijelaskan selama proses evaporasi, terjadi proses fraksinasi isotop 2H dan ^{18}O pada susunan molekul H_2O , menyebabkan komposisi isotop 3H dan ^{18}O dalam uap menjadi lebih landai (*depleted*) terhadap air asal, kondensasi menjadi lebih kaya (*enrich*). Fase uap akan terus terkondensasi dan makin lama akan makin landai. Air hujan yang meresap ke dalam tanah, selama tidak mengalami penguapan maka komposisi isotop 2H dan ^{18}O tidak berubah. Dalam siklus hidrologi tingkat perubahan komposisi isotop 2H dan ^{18}O melalui fraksinasi dipengaruhi suhu udara dimana fraksinasi tersebut berlangsung. Fraksinasi isotop D dan ^{18}O air hujan dalam siklus hidrologi sesuai Gambar 5.4.



Gambar 5.4. Fraksinasi isotop D dan ^{18}O air hujan dalam siklus hidrologi. Sumber: (Wijatna Budhie, A., Sudarmadji, Sunarno and Hendrayana, 2013)



Gambar 5.5. Hubungan antara ^{18}O dan ^2H dari air hujan berdasarkan sumber data network (Sumber: Craig, 1961)

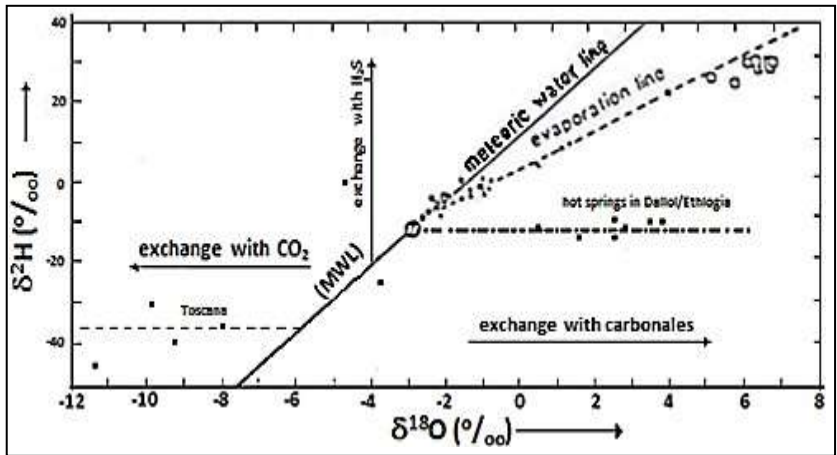
Perbedaan titik beku dan tekanan uap dari isotop air memberikan perbedaan konsentrasi ^{18}O dan ^2H dalam air untuk bermacam-macam tempat dalam siklus hidrologi. Kandungan isotop suatu senyawa berubah bila terjadi proses evaporasi, kondensasi, pembekuan, pencairan, reaksi kimia atau proses biologi yang umum dikenal dengan fraksinasi isotop. Komposisi atau kandungan ^{18}O dan ^2H airtanah akan terletak sepanjang garis meteorik lokal (air hujan). Untuk airtanah karena berasal dari infiltrasi air hujan ke dalam tanah, kecuali airtanah tersebut mengalami perubahan misalnya mengalami pertukaran ^{18}O karena melewati magma, pencampuran atau telah mengalami proses penguapan, maka grafik hubungan ^{18}O dan ^2H akan menyimpang dari garis lurus air hujan. Garis penyimpangan dari masing-masing proses perubahan tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.5.

Di alam, perbedaan suhu udara dapat terjadi akibat perbedaan parameter geografis seperti altitude, latitude dan

jarak dari pantai. Fenomena lainnya yang dapat mempengaruhi perbedaan komposisi isotop 2H dan ^{18}O dalam hujan adalah intensitas hujan atau tinggi curah hujan yang terjadi pada selang waktu tertentu. Fenomena yang berpengaruh tersebut sering disebut dengan *altitude effect*, *latitude effect*, dan *amount effect*. Berdasarkan fenomena tersebut maka komposisi isotop 2H dan ^{18}O (isotop berat) dari hujan yang terjadi pada lokasi berbeda akan mempunyai komposisi isotop berbeda juga. Persamaan empirik ditemukan oleh Craig tahun 1961 dalam (Sudaryanto and Lubis, 2011) dengan menggunakan regresi linier untuk menganalisis komposisi dari isotop dari oksigen dan hidrogen dari contoh air hujan, air salju, dan air sungai dari seluruh dunia. Persamaan ini sering disebut dengan Global Meteoric Water Line (GMWL) seperti ditunjukkan oleh persamaan dibawah:

$$\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$$

δD adalah Kelimpahan relatif deuterium ; $\delta^{18}\text{O}$ adalah kelimpahan relatif oksigen -18 Secara grafis ditunjukan dalam Gambar 6.6.



Gambar 5.6. Global Meteorik Water Line (Sumber : Geyh, 2000)

a. Isotop alam dalam akuifer airtanah

Dikenal ada 3 (tiga) jenis isotop hidrogen di alam yakni hidrogen bermassa 1 (^1H), bermassa 2 (^2H) atau dikenal dengan Deuterium dan bermassa 3 (^3H) atau Tritium, ketiganya mampu membentuk senyawa molekul H_2O . Kelimpahan atom (^2H) atau D di alam terhadap (^1H) adalah antara $(1.5 - 2) \times 10^{-4}$ tergantung pada berat jenis air bersangkutan. Tiga jenis isotop oksigen yang ada yakni oksigen bermassa atom 16 (^{16}O), oksigen bermassa atom 17 (^{17}O) dan oksigen bermassa 18 (^{18}O). Kelimpahan (^{17}O) adalah $1/10.000$, dan (^{18}O) adalah $1/250$, masing-masing terhadap (^{16}O). Oleh karena itu ada berbagai kemungkinan komposisi isotop stabil penyusun molekul air yaitu $\text{H } ^{16}\text{O}$, $2\text{H } ^{16}\text{O}$, $\text{H } ^{17}\text{O}$, $2\text{H } ^{17}\text{O}$, $\text{H } ^{18}\text{O}$, $\text{H } ^{16}\text{O}$ dan $2\text{H } ^{18}\text{O}$. Dari kesembilan kemungkinan komposisi tersebut yang terpenting dalam kaitan ketelitian analisis selain $\text{H } ^{16}\text{O}$ adalah $\text{H } ^{16}\text{O}$ dan $\text{H } ^{18}\text{O}$.

b. Isotop stabil ^{18}O dan D

Komposisi isotop dalam air di alam dinyatakan dengan suatu nilai harga selisih relatif terhadap standar yaitu *Standard Mean Ocean Water* (SMOW) yang merupakan rasio isotop- isotop molekul air seperti $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dan $2\text{H}/1\text{H}$. Rasio yang diukur adalah rasio relatif yang diberi simbol dengan delta (δ) dan dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\text{delta } (\delta)(\text{‰}) = \frac{(R_{\text{sampel}} - R_{\text{SMOW}})}{(R_{\text{SMOW}})} \times 100\%$$

Dimana R_{sample} adalah rasio isotop $2\text{H}/1\text{H}$ atau $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dari sampel dan R_{SMOW} adalah rasio isotop $2\text{H}/1\text{H}$ atau $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dari standar SMOW.

Untuk kepentingan kalibrasi dipergunakan standard IAEA yaitu *standard mean ocean water* (SMOW) yang menetapkan nilai $\delta^{18}\text{O}$ dan nilai $\delta\text{D} = 0.0 \text{ ‰}$. atau standard liquid antarctic precipitation (SLAP) yang menggunakan nilai $\delta^{18}\text{O}$ dan nilai δD di alam sebagai koreksi, dimana $\delta^{18}\text{O} = -55.5 \text{ ‰}$ dan $\delta\text{D} = -42.85 \text{ ‰}$ terhadap SMOW seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.9. Harga positif dari δ menunjukkan bahwa sampel air mempunyai komposisi isotop lebih besar dari standar (enrich), sebaliknya harga negatif menunjukkan bahwa sampel mempunyai komposisi isotop lebih kecil dari komposisi standar (depleted).

Dalam analisis isotop stabil, data oksigen ^{18}O dan deuterium didapat dari keseimbangan CO_2 pada suhu 25°C konstan dan reduksi seng pada 420°C sebelum diukur oleh spektrometri massa pada Finnigan Mat 251 delta S apparatus. Hasil diekspresikan dalam deviasi ‰ dari Vienna Standard

Mean Ocean Water (VSMOW) dan akan ditulis sebagai $\delta^{18}\text{O}$ dan δD atau 2H . Akurasi dari pengukuran adalah sekitar $\pm 0.1\text{‰}$ dan $\pm 1\text{‰}$ baik untuk $\delta^{18}\text{O}$ maupun 2H (Clark et.al, 1997 dalam Sudaryanto and Lubis, 2011)

$$\text{Isotop } ^2\text{H} (\text{‰}) = \left[\frac{\left(\frac{^2\text{H}}{^1\text{H}} \right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{^2\text{H}}{^1\text{H}} \right)_{\text{standar}}} - 1 \right] \times 1000$$

$$\text{Isotop } ^{18}\text{O} (\text{‰}) = \left[\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{standar}}} - 1 \right] \times 1000$$

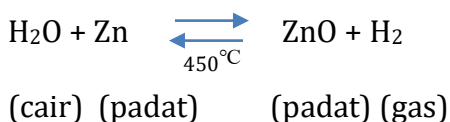
Dalam penentuan komposisi oksigen (^{18}O), dalam contoh air digunakan metode Epstein dan Mayeda yaitu dengan mengukur gas CO_2 hasil reaksi kesetimbangan pertukaran isotop H_2O cair dengan CO_2 . Sampel direaksikan dengan gas CO_2 sebanyak 2 ml, diaduk selama 8 jam dan diketahui reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Reaksi dilakukan dengan ISOPREP-18 secara otomatis, dengan setiap batas berisi 24 sampel termasuk standar kerja. Gas CO_2 hasil keseimbangan dilakukan pengukuran dengan menggunakan spektrometer massa secara simultan dan berurut, dihubungkan langsung dengan ISOPREP-18 dan secara otomatis menggunakan pengendali komputer. Hasil

pengukuran berupa rasio isotop $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ terhadap spektrometer massa dan selanjutnya dikoreksi terhadap SMOW. Hasil analisis komposisi ^{18}O dinyatakan dalam satuan per mil (‰) SMOW.

Dalam analisis deuterium (2H) dilakukan dengan cara mereaksikan contoh air sebanyak 10 ml dengan Zn aktif seberat 0,25 gram pada temperatur 450°C selama 30 menit. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Contoh air tanah yang diambil dari lapangan, dijaga agar tidak terjadi penguapan, dengan cara menutup botol kedap udara, dengan harapan nilai komposisi deuterium tidak mengalami pengayaan akibat penguapan selama di dalam perjalanan ataupun selama penyimpanan. Untuk memperoleh gas H_2 dilakukan di laboratorium dengan cara manual menggunakan rangkaian vakum tingkat tinggi. Hasil gas H_2 selanjutnya dianalisis dengan menggunakan spektrometer massa kolektor ganda dengan hasil pengukuran berupa 6 isotop yang merupakan rasio isotop ($2\text{H}/1\text{H}$). Dari hasil ini selanjutnya dilakukan perhitungan dengan program komputer untuk memperoleh nilai deuterium terhadap SMOW.

Informasi mengenai lokasi daerah imbuhan atau resapan dibutuhkan dalam upaya konservasi sumber daya air tanah. Beberapa penelitian terdahulu terkait identifikasi daerah imbuhan airtanah dengan menerapkan metode pelacak alami (environmental tracers) isotop stabil O ($\delta^{18}\text{O}$) dan H ($\delta^2\text{H}$) telah dilakukan oleh Matter et al. (2005); Sudaryanto and Lubis (2011); González-Trinidad, Pacheco-Guerrero, H.E. Júnez-Ferreira, et al. (2017); Siftianida et al. (2017); Parlov et al.

(2019); dan Tsuchihara et al. (2020). Isotop oksigen dan hidrogen dari air telah secara luas digunakan sebagai pelacak alami untuk memahami proses hidrogeologi seperti hujan, imbuhan airtanah, hubungan airtanah dan air permukaan, dan hidrologi suatu daerah aliran sungai (Gat, 1996 dalam Sudaryanto dan Lubis, 2011). Perbandingan komposisi isotopik oksigen dan hidrogen dari hujan dan airtanah merupakan pendekatan yang baik untuk menggambarkan mekanisme imbuhan airtanah (Blasch and Bryson, 2007; Li *et al.*, 2008; Heilweil *et al.*, 2009; Yin, Hou, *et al.*, 2011; Singh *et al.*, 2013).

5.4.2 Pendekatan Penginderaan Jauh dalam Penentuan Area Imbuhan

Pengindraan jauh (*Remote sensing*) didefinisikan sebagai ilmu (serta beberapa pengembangannya, seni) dari pengambilan informasi tentang bumi tanpa kontak langsung. Pengindraan jauh dilakukan dengan merekam pantulan atau hamburan energi dan memproses, menganalisis, serta mengaplikasikan informasi. Pengindraan jauh terbagi atas citra sensor aktif dan pasif. Sensor pasif menggunakan energi matahari yang terpantul, terserap dan terpancarkan setelah mengenai permukaan bumi dengan memanfaatkan panjang gelombang *visible*, *near infrared* hingga *shortwave infrared*. Sensor aktif menyediakan sendiri sumber energinya dengan memancarkan radiasi yang dipantulkan dari target kemudian dideteksi dan diukur oleh sensor dengan memanfaatkan gelombang mikro.

Diambil dalam *Global Forest Observation Initiative* (2015), *SAR (Synthetic Aperture Radar)* merupakan salah satu contoh pengindraan jauh sensor aktif yang bekerja seperti *flash* pada kamera saat mengambil foto di ruangan gelap. Radar merupakan laser yang beroperasi dengan *band* yang sempit dan panjang gelombang yang terdefinisi dengan baik serta

polarisasi yang spesifik. Beberapa *band* beserta satelit yang menggunakan sistem operasi radar ialah:

1. *Band P*: ~ 69,0 cm (*BIOMASS*)
2. *Band L*: ~ 25,5 cm (*ALOS PALSAR-2, SAOCOM-, NISAR-L*)
3. *Band S*: ~ 9,4 cm (*NovaSAR, NISAR-S*)
4. *Band C*: ~ 5,6 cm (*Sentinel-1, Radarsat-2. RCM*)
5. *Band X*: ~ 3,1 cm (*TerraSAR-X, TanDEM-X, COSMO-SkyMed*)

Polarisasi SAR merupakan parameter yang mempengaruhi kekuatan hamburan balik (*backscatter*) pada umumnya dinotasikan menggunakan 2 huruf. Huruf pertama menggambarkan polarisasi yang disalurkan dan huruf selanjutnya menggambarkan polarisasi yang diterima.

1. HH: mentransmisikan gelombang horizontal dan menerima gelombang horizontal
2. HV: mentransmisikan gelombang horizontal dan menerima gelombang vertikal
3. VH: mentransmisikan gelombang vertikal dan menerima gelombang horizontal
4. VV: mentransmisikan gelombang vertikal dan menerima gelombang vertikal
5. *Quad-Pol* (QP): mentransmisikan gelombang horizontal dan vertikal, menerima gelombang horizontal dan vertical (HH+HV+VH+VV).

DAFTAR PUSTAKA

- (Adji, T.N., Haryono, E., Suprojo, S.. 1999. 'Kawasan Karst dan Prospek Pengembangannya di Indonesia', *Prosiding Seminar PIT IGI di UI 26-27 Oktober 1999. Jakarta: UI* [Preprint].
- Celalettin, Ş., Demirkesen, A.C., Baba, A., Kumanl, A., Durukan, S. and Aksoy, N. 2020. 'Estimation Groundwater Total Recharge and Discharge Using GIS-Integrated Water Level Fluctuation Method: A Case Study From The Alaşehir Alluvial Aquifer Western Anatolia, Turkey', *Arabian Journal of Geosciences*, 13(143), pp. 1–14.
- Darsono. 2016. 'Identifikasi Akuifer Dangkal dan Akuifer Dalam dengan Metode Geolistrik (studi kasus: Kecamatan Masaran, Sragen)', *Indonesian Journal of Applied Physics.*, pp. 40–49.
- Febriarta, E., Haryono, E. and Adji, T.N. 2015. 'Aplikasi Teknologi Isotop Alam untuk Menentukan Asal Usul Airtanah Pesisir', *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Pesisir & Daerah Aliran Sungai*, 1, pp. 100–105.
- Ford, D. C., dan W.P.. 1992. *Karst Geomorphology and Hydrology*. Chapman & Hall, London.
- Hendrayana, H., Nuha, A., Wiyatna, A.B., Muhammad, A.. 2019. 'Hydrogen Isotope Study to Determine Groundwater Genesis in Mambal Spring, Bali, Indonesia Location', *11th Regional Conference on Geological and Geo-Resources Engineering 'Innovations and Emerging Technologies for Responsible Mineral Resource Development'*. [Preprint], (National Insitute of Geological Sciences, College of Science, University of the Philippines).
- Kodoatie, J.K. 2012. *Tata Ruang Airtanah*. Yogyakarta: Andy.

- Pujiindiyati, E.R. 2010. 'Aplikasi Teknologi Nuklir - Peranan Isotop Alam dalam Studi Airtanah.', *Buletin BATAN Nuklir Mengabdi Kemanusiaan* [Preprint].
- Putranto, T.T. and Purba, S. 2019. 'Application of Spatial Analysis for Delineating Groundwater Recharge Zone for Industrial Usage in Tanah Bumbu Regency , South Borneo / Indonesia Application of Spatial Analysis for Delineating Groundwater Recharge Zone for Industrial Usage in Tanah Bumbu', *Materials Science and Engineering*. [Preprint].
- Sudaryanto and Lubis, R.F. 2011. 'Penentuan Lokasi Imbuhan Airtanah Dengan Pelacak Isotop Stabil 180 dan 2H di Cekungan Airtanah Dataran Rendah Semarang, Jawa Tengah', *Riset Geologi dan Pertambangan*, 21(2), pp. 121-129.
- Wijatna Budhie, A., Sudarmadji, Sunarno and Hendrayana, H. 2013. 'Studi Variabilitas Isotop Air Hujan Sebagai Fungsi Elevasi untuk Mendapatkan Merapi Meteoric Water Line (MMWL', *Forum Teknik*, 35(1), pp. 50-57.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 17 Tahun 2012 tentang Penetapan Kawasan Bentang Alam Karst
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 31 Tahun 2018 tentang Pedoman Penetapan Zona Konservasi Airtanah
- Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air

BAB 6

ENERGI DAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN

Oleh Isran Asnawi

6.1 Sumber Daya Energi Terbarukan

Sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang alami dan tidak ada habisnya apabila digunakan secara terus menerus sebab jumlahnya tersedia secara melimpah di alam. Sumber energi terbarukan juga tidak menyebabkan kerusakan terhadap lingkungan karena limbah yang dihasilkan cukup minim atau dapat terolah kembali secara alamiah. Berdasarkan UU no 30 tahun 2007 tentang Energi, yang tergolong sebagai energi terbarukan antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut (Pemerintah Republik Indonesia, 2007).

Latar belakang pengalihan dari sumber energi fosil ke sumber energi terbarukan di dasari oleh dampak buruk yang ditimbulkan oleh sumber energi fosil. Saat ini sumber energi fosil masih menjadi energi yang paling banyak digunakan di indonesia, terutama batubara. Batubara sebagai sumber energi penghasil listrik melalui PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) kini banyak digunakan. Pada tahun 2021, telah tercatat 177 PLTU beroperasi di Indonesia dengan total kapasitas 33.000 MW. Angka ini merupakan tertinggi dibandingkan pembangkit listrik lain (Ahdiat, 2022)(Syahni, 2020). Namun angka tersebut juga sejalan dengan permasalahan yang ditimbulkan, terutama dari aspek lingkungan. Pembangkit

listrik tenaga batu bara ini merupakan penyumbang besar emisi gas rumah kaca penyebab perubahan iklim. Greenpeace menyatakan PLTU bertanggung jawab atas 46% gas CO₂ yang telah diemisikan secara global. PLTU telah menyumbang gas CO₂ yang dihasilkan seluruh PLTU di dunia yang mencapai 258,394 juta ton dengan rata-rata emisi tahunan sekitar 6,463 juta ton (Syahni, 2020). Masalah ini memicu perlunya beralih ke sumber energi terbarukan.

6.2 Jenis dan Potensi Sumber Daya Energi Terbarukan

6.2.1 Energi Matahari

Energi dari matahari dapat diubah menjadi energi listrik melalui pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Negara Indonesia sangat cocok menerapkan sumber energi dari matahari karena terletak pada garis khatulistiwa dengan paparan sinar matahari yang lebih intens dari negara lain. Pemasangan, pengoperasian dan pemeliharaan PLTS sangat sederhana sehingga sangat mudah diterima secara sosial.

Prinsip konversi pada PLTS terletak pada panel surya. Panel surya terdiri dari sel surya, yang umumnya terbuat dari bahan semikonduktor, yaitu silikon. Ketika cahaya matahari jatuh ke permukaan sel surya, sebagian besar cahaya yang terdiri dari foton energi diserap oleh sel surya. Ketika foton matahari diserap oleh sel surya, foton melepaskan elektron dari atom-atom dalam bahan semikonduktor. Hal ini menghasilkan efek fotovoltaiik, yaitu kondisi aliran elektron terpicu dan menghasilkan arus listrik. Ketika elektron bergerak melalui bahan semikonduktor, maka dari proses tersebut dihasilkan arus listrik.

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik, pada tahun 2021 jumlah kapasitas energi surya yang telah terhubung ke PLN adalah 86 MW. Angka ini masih tergolong lebih rendah

dibandingkan pembangkit lain (Badan Pusat Statistik, 2021). Tantangan terbesar pada pembangkit energi surya adalah harga bahan baku komponen sel surya yang relatif mahal dan masih diimpor. Silikon polikristalin atau monokristalin sebagai bahan dasar utama untuk sel surya masih tergolong mahal. Proses produksi silikon murni yang diperlukan untuk sel surya memerlukan tahapan pemurnian yang rumit dan energi intensif.

Namun di balik itu, terdapat beberapa keuntungan yang diperoleh dari pembangkit listrik dengan panel surya. Beberapa diantaranya adalah panel surya yang ramah lingkungan dengan tidak menghasilkan emisi dan kebisingan. Selain itu, instalasi panel surya cukup mudah dilakukan. Hal tersebut tentu menjadi tantangan untuk mengembangkan potensi panel surya sebagai pembangkit listrik.

6.2.2 Energi Angin

Pada pembangkit listrik tenaga angin, energi kinetik dari angin diubah menjadi energi mekanik menggunakan turbin, yang kemudian diubah menjadi energi listrik melalui generator. Energi angin berasal dari pergerakan udara akibat perubahan suhu udara dari pemanasan oleh radiasi matahari. Potensi energi angin di Indonesia relatif kecil karena berada di garis khatulistiwa. Curah angin yang rendah di daerah khatulistiwa terkait dengan beberapa faktor atmosfer dan geografis yang mempengaruhi pola angin di wilayah tersebut. Namun tidak menutup potensi, terdapat beberapa daerah di Indonesia dengan curah angin yang cukup untuk dijadikan sebagai pembangkit listrik.

Turbin angin dirancang untuk menangkap energi kinetik angin. Ketika angin bertiup, tekanan angin di bagian depan baling-baling turbin akan lebih rendah daripada tekanan di bagian belakang. Hal tersebut menciptakan gaya dorong yang

menggerakkan baling-baling. Gaya dorong yang dihasilkan oleh angin membuat baling-baling turbin berputar. Baling-baling ini terhubung ke poros yang terhubung ke generator. Putaran baling-baling menghasilkan energi mekanik pada poros turbin. Energi mekanik kemudian diubah menjadi energi listrik yang dapat digunakan. Poros turbin terhubung ke generator. Generator adalah perangkat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui prinsip elektromagnetik. Ketika poros turbin berputar, medan magnet di dalam generator juga bergerak sehingga dihasilkan arus listrik.

Pembangkit listrik tenaga angin menjadi solusi yang semakin populer dalam upaya menghasilkan energi bersih dan berkelanjutan, karena angin merupakan sumber daya yang dapat diperbarui dan tidak menghasilkan emisi. Namun perlu diperhatikan beberapa hal terkait pengembangan pembangkit listrik di Indonesia. Diantaranya adalah pemilihan lokasi, desain baling-baling, dan perawatan serta pemeliharaan.

Lokasi pembangunan turbin angin sangat penting dengan memperhatikan daerah geografis tertentu yang mendukung intensitas jumlah angin yang cukup. Desain baling-baling turbin juga menjadi salah satu fokus perhatian untuk memperoleh efisiensi penangkapan energi angin dan menghindari masalah getaran atau stres yang berlebihan. Turbin angin juga memerlukan pemeliharaan rutin untuk menjaga kinerja dan memastikan keamanan operasi. Pada tahun 2018, jumlah kapasitas pembangkit listrik tenaga angin di Indonesia adalah 978 MW. Tantangan kedepannya terkait pengembangan energi angin sebagai pembangkit listrik di Indonesia adalah teknologi turbin angin modern yang belum sepenuhnya dikuasai. Teknologi tersebut masih memerlukan kajian penelitian untuk pengembangan turbin angin yang sesuai dengan kondisi potensi angin di Indonesia.

6.2.3 Energi Air

Negara Indonesia sangat cocok menerapkan sumber energi dari air karena kondisi topografi, sumber mata air, dan curah hujan yang cukup. Pembangkit listrik tenaga air menjadi salah satu opsi yang umum digunakan untuk menghasilkan energi bersih dan terbarukan. Prinsip kerja pembangkit listrik menggunakan energi dari air adalah pemanfaatan energi kinetik dan potensi dari aliran air yang bergerak.

Energi kinetik oleh aliran air dan energi potensial oleh letak air pada ketinggian, diubah menjadi energi mekanik yang kemudian menggerakkan motor sehingga menghasilkan energi listrik melalui generator. Air dialirkan dari sungai, danau, atau waduk dan dikumpulkan di penampungan yang lebih tinggi, yang dikenal sebagai waduk penampungan. Penampungan ini memungkinkan pengaturan aliran air yang lebih terkontrol dan pemanfaatan potensi energi potensial air. Air yang disimpan dalam penampungan dilepaskan melalui saluran atau pipa yang disebut saluran pengaliran. Kemiringan alami atau struktur seperti terowongan atau pipa dapat digunakan untuk memandu aliran air ke turbin.

Air yang mengalir mendorong baling-baling turbin, yang menyebabkan turbin berputar. Ketika turbin berputar, poros menggerakkan generator. Energi mekanik dari turbin berputar diubah menjadi energi listrik oleh generator, saat medan magnet di dalam generator juga bergerak.

Pada tahun 2021, sebanyak 162 PLTA telah beroperasi di Indonesia dengan jumlah kapasitas pembangkit listrik tenaga air yang terpasang PLN adalah 5661 MW (Badan Pusat Statistik, 2021). Tantangan dalam mengembangkan PLTA di Indonesia adalah curah hujan dan kondisi air yang tidak menentu. Masalah tersebut dapat mempengaruhi debit air sungai.

6.2.4 Energi Panas Bumi

Pembangkit listrik menggunakan panas bumi, juga tergolong sumber daya energi yang ramah lingkungan. Pembangkit listrik energi panas bumi yang juga dikenal sebagai pembangkit listrik geotermal, adalah pembangkit listrik yang mengubah panas bumi menjadi energi listrik. Proses ini memanfaatkan panas alami yang dihasilkan dalam perut bumi. Panas ini berasal dari aktivitas tektonik, panas matahari yang diserap permukaan bumi, dan peluruhan unsur radioaktif yang tersimpan di dalam inti bumi.

Zona panas bumi terletak di bawah kerak bumi, yaitu di dalam mantel bumi. Suhu di zona ini sangat tinggi, bahkan melebihi titik cairan batuan. Bagian paling dalam dari zona panas bumi disebut sebagai zona plastis, di mana batuan berubah menjadi cairan karena suhu yang sangat tinggi. Panas bumi dapat dianggap sebagai sumber energi terbarukan karena alam akan terus memproduksi panas ini dalam jangka waktu yang sangat panjang.

Prinsip kerja pembangkit listrik geotermal adalah pemanasan air oleh panas bumi hingga membentuk uap bertekanan tinggi yang dapat memutar turbin hingga diperoleh energi listrik. Ketika air mengalir atau disuntikkan ke dalam formasi panas bumi, air akan terpapar suhu yang tinggi dan menjadi uap air. Uap air ini memiliki tekanan yang tinggi karena suhu di dalam bumi. Uap air bertekanan tinggi dari formasi panas bumi dialirkan melalui sumur geotermal ke permukaan. Ketika uap air ini mencapai permukaan, tekanannya turun tajam, menyebabkan uap air mendidih pada suhu yang lebih rendah dari suhu bumi di dalam. Uap air yang mendidih digunakan untuk menggerakkan turbin. Putaran turbin menghasilkan energi mekanik pada poros. Energi mekanik ini diubah menjadi energi listrik oleh generator saat medan magnet di dalam generator juga bergerak.

Indonesia memiliki potensi energi panas bumi terbesar di dunia, dengan setidaknya 29 GW total potensi panas bumi. Hal ini dikarenakan letak geografisnya yang berada di cincin api pasifik. Seiring dengan komitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan beralih ke energi bersih, Indonesia terus mengembangkan proyek-proyek geotermal untuk memanfaatkan sumber daya energi terbarukan ini. Pada tahun 2021, sebanyak 13 pembangkit listrik geotermal telah beroperasi di Indonesia dengan jumlah kapasitas pembangkit listrik tenaga air yang terpasang PLN adalah 2529 MW (Fandari, Daryanto and Suprayitno, 2014) (Badan Pusat Statistik, 2021).

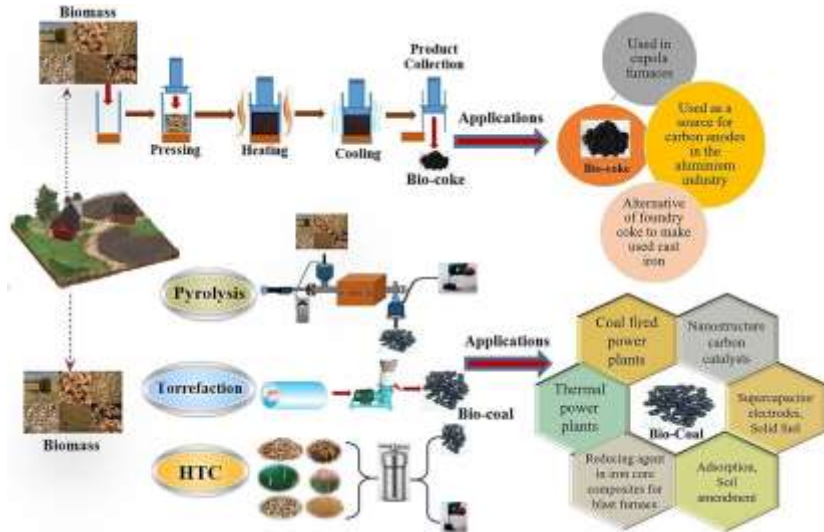
6.2.5 Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang berasal dari makhluk hidup yang meliputi tumbuhan dan hewan beserta hasil sampingnya. Biomassa yang diolah menjadi bahan lain yang dapat menghasilkan energi disebut bioenergi. Bahan organik ini dapat diubah menjadi berbagai bentuk bioenergi yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk pembangkit listrik, bahan bakar kebutuhan rumah tangga, dan bahan bakar transportasi.

1. Biomassa untuk bahan bakar kebutuhan rumah tangga

Bio briket adalah salah satu contoh biomassa yang digunakan untuk bahan bakar kebutuhan rumah tangga. Bio Briket adalah bahan bakar yang dibuat dari biomassa kayu atau sisa tanaman lain yang mengandung serat (selulosa), misalnya ampas tebu, tempurung kelapa, kulit durian, dan kulit buah lainnya yang bertekstur keras. Kayu yang dibakar pada suhu tertentu akan berubah menjadi karbon dan bentuk fisik warna hitam. Karbon merupakan salah satu unsur penyumbang energi karena dapat membentuk ikatan yang cukup kuat dengan unsur lain.

Beberapa metode pembuatan bio briket yang saat ini dikembangkan antara lain pelletisasi, pirolisis, torefaksi (pemanasan secara perlahan), karbonisasi, hidrotermal, dan ledakan uap ((Alamgir Ahmad *et al.*, 2023).



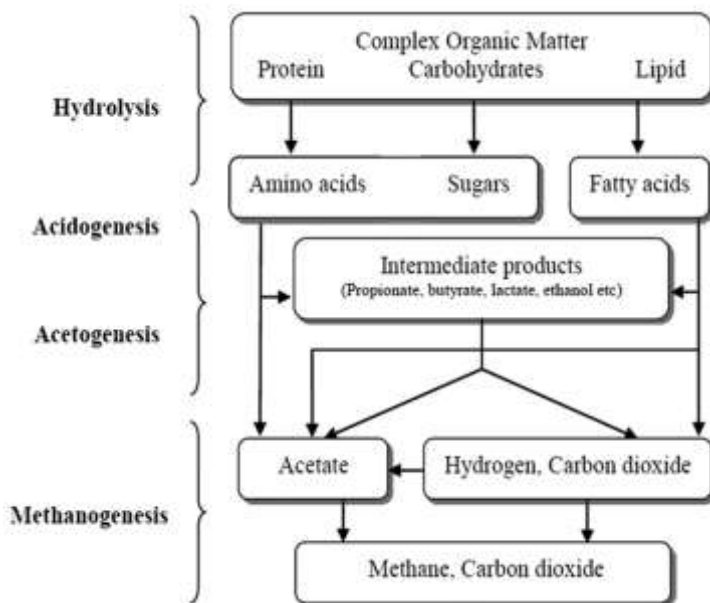
Gambar 6.1. Metode pembuatan bio-briket
(Sumber: (Alamgir Ahmad *et al.*, 2023))

Bio briket yang populer adalah briket yang terbuat dari tempurung kelapa karena bahan baku yang mudah didapatkan dan menghasilkan efisiensi pembakaran yang baik dan nilai kalori yang tinggi. Tempurung kelapa sebagai bahan baku briket merupakan sumber daya yang mudah ditemukan karena tergolong limbah atau hasil samping pengolahan buah kelapa. Bio briket ini banyak digunakan pada kebutuhan memasak di rumah dan industri. Perlu diketahui bahwa pada saat pembakaran menggunakan briket masih dihasilkan emisi gas CO₂. Namun hal ini dapat

diatasi dengan penerapan teknologi memasak bersih (*clean cook*).

Biogas juga merupakan salah satu contoh biomassa yang digunakan untuk bahan bakar kebutuhan rumah tangga. Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses dekomposisi bahan organik seperti sampah dapur, kotoran hewan, atau limbah organik lainnya menggunakan bantuan bakteri anaerob di dalam suatu reaktor. Biogas yang dihasilkan adalah campuran gas yang terutama terdiri dari metana. Biogas ini ditampung pada sebuah wadah penampungan yang kemudian dapat dialirkan ke masing-masing rumah tangga untuk kebutuhan memasak. Selain itu, biogas yang dihasilkan juga dapat dikonversi menjadi energi listrik.

Biogas dapat dibuat dari biomassa kayu, ranting pepohonan, sampah daun, rerumputan, sampah sayur, sampah buah-buahan, kotoran hewan, dan alga. Proses pembuatan biogas melalui beberapa tahapan yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Pada tahap-tahap tersebut dihasilkan produk akhir berupa metana (CH_4) dan CO_2 yang tidak lain merupakan biogas.



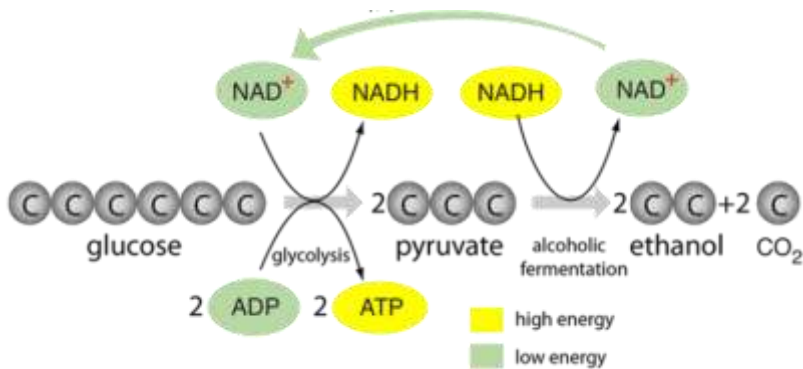
Gambar 6.2. Tahapan biokimia produksi biogas
(Sumber: (Sawyerr *et al.*, 2019) dan (Jewitt *et al.*, 2009))

Pembuatan biogas adalah proses yang efektif untuk mengubah limbah organik menjadi sumber energi yang dapat digunakan, sambil mengurangi dampak lingkungan. Penggunaan biogas juga merupakan bagian dari upaya untuk mengurangi emisi gas metana yang berpotensi merusak lingkungan jika limbah organik dibiarkan terurai secara alami di tempat pembuangan sampah. Pemanfaatan energi biogas di seluruh Indonesia adalah sekitar 167,7 MW dari limbah tebu dan 9,26 MW dari biogas yang dihasilkan melalui gasifikasi. Biaya investasi biomassa berkisar antara 900 USD/kW hingga 1400 USD/kW dan biaya listrik sebesar Rp75/kW hingga Rp250/kW (Lubis *et al.*, 2007).

2. Biomassa untuk bahan bakar transportasi

Bioetanol adalah salah satu contoh biomassa yang digunakan untuk bahan bakar transportasi. Bioetanol adalah bahan bakar cair berupa etanol yang dihasilkan dari fermentasi gula atau pati. Bahan baku yang digunakan untuk pembuatan bioetanol dapat berupa tebu, jagung, sorgum, singkong, dan tanaman lainnya yang mengandung lignoselulosa. Lignoselulosa merupakan biomassa yang berasal dari tanaman dengan komponen utama lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Ketersediaannya yang cukup melimpah, terutama sebagai limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan, menjadikan bahan ini berpotensi sebagai bioetanol.

Prinsip kerja pembuatan bioetanol melalui proses fermentasi adalah mengubah pati yang terkandung dalam bahan baku menjadi etanol (alkohol) dengan bantuan mikroba, khususnya ragi. Proses fermentasi ini berlangsung melalui serangkaian tahapan yang melibatkan reaksi biokimia. Setelah proses fermentasi dilakukan proses pemisahan etanol dari campuran senyawa lain melalui proses destilasi dan dehidrasi. Hal ini dilakukan untuk memperoleh etanol yang lebih murni yang siap ditampung dan didistribusikan (Sánchez and Montoya, 2013)).



Alcoholic fermentation

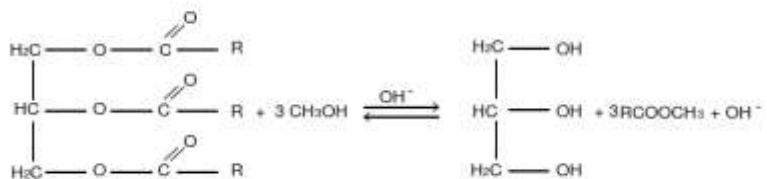
Gambar 6.3. Reaksi fermentasi etanol

Bioetanol dapat digunakan sebagai pengganti bensin atau dicampur dengan bensin dalam berbagai rasio yaitu E10 (10% bioetanol) dan E85 (85% bioetanol). Hal ini dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan keberlanjutan energi karena menghasilkan efisiensi pembakaran yang cukup signifikan. Potensi perolehan etanol dari ampas tebu yang dihasilkan pabrik gula Indonesia adalah 614.827 kL/tahun. Potensi ini dapat berkontribusi pada upaya pemenuhan kebutuhan etanol sebagai bahan bakar yang diperkirakan mencapai 1,10 juta kL (Hermiati *et al.*, 2010).

Contoh lain biomassa yang digunakan untuk bahan bakar transportasi adalah biodiesel. Biodiesel adalah jenis bahan bakar untuk mesin diesel yang diproduksi dari bahan baku nabati yang dapat diperbaharui. Bahan bakar ini berbeda dengan bahan bakar diesel fosil. Biodiesel biasanya digunakan sebagai pengganti bahan bakar diesel konvensional dalam mesin diesel, termasuk mesin kendaraan bermotor, truk, dan mesin diesel industri lainnya.

Bahan baku yang umum digunakan dalam produksi biodiesel meliputi minyak nabati seperti minyak jarak pagar, minyak rapa (*rapeseed*), minyak kelapa sawit, dan minyak biji rami. Pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit atau minyak jarak pagar melibatkan serangkaian proses kimia melalui reaksi transesterifikasi.

Reaksi transesterifikasi adalah reaksi kimia yang mengubah ester satu jenis menjadi ester yang lain dengan menggantikan gugus alkil pada atom karbon pusat ester dengan gugus alkil yang berbeda. Reaksi ini umumnya melibatkan ester yang mengandung gugus asil (RCO-) yang digantikan oleh ester yang mengandung gugus alkil (R'). Pada pembuatan biodiesel, minyak nabati atau lemak yang mengandung trigliserida (triestester gliserol) bereaksi dengan metanol atau etanol melalui bantuan katalis basa (biasanya NaOH atau KOH). Hasil reaksi ini adalah ester metil atau etil sebagai biodiesel dan gliserol sebagai hasil samping.



Gambar 6.4. Reaksi transesterifikasi biodiesel

B-10 adalah salah satu jenis campuran biodiesel dengan bensin diesel. B-10 berarti campuran 10% biodiesel dan 90% bensin diesel konvensional. Pencampuran dengan rasio ini memberi beberapa keuntungan potensial. Biodiesel tidak mengandung sulfur dan senyawa benzena yang karsinogenik. Hal tersebut membuat biodiesel sebagai bahan bakar bersih yang mudah ditangani. Penggunaan biodiesel juga tidak

memerlukan modifikasi mesin. Selain itu, energi yang dihasilkan biodiesel setara dengan solar. Tantangan pengembangan biodiesel di Indonesia adalah harga bahan baku kelapa sawit (CPO) yang masih fluktuatif.

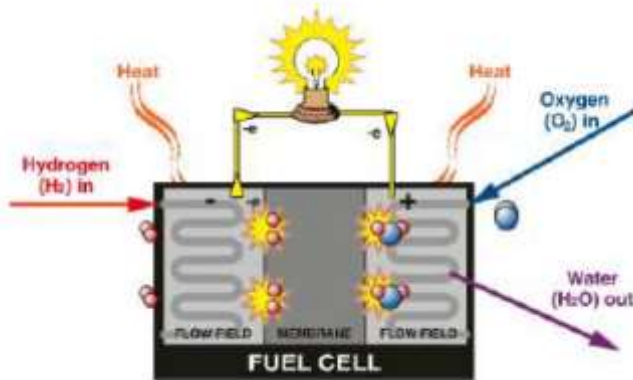
6.2.6 Hidrogen

Bahan bakar hidrogen (*hydrogen fuel*) merupakan bahan bakar nol emisi yang dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan listrik dan bahan bakar kendaraan. Prinsip kerja hidrogen sebagai bahan bakar energi didasarkan pada reaksi kimia yang mengubah hidrogen menjadi energi yang disebut sebagai *hydrogen cell fuel* (HFC). HFC digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk kendaraan bertenaga hidrogen (*hydrogen fuel cell vehicles*), pembangkit listrik, dan perangkat-portabel, seperti baterai cadangan untuk laptop dan ponsel.

HFC sebagai penghasil energi listrik bekerja dengan prinsip elektrokimia. Sel bahan bakar terdiri dari dua elektroda (katoda dan anoda) yang dipisahkan oleh elektrolit. Hidrogen diumpankan ke anoda, di mana hidrogen melepaskan elektron dan menghasilkan proton. Proton bergerak melalui elektrolit ke katoda, sedangkan elektron bergerak melalui sirkuit eksternal, menghasilkan arus listrik. Pada bagian katoda, proton dan elektron bergabung dengan oksigen untuk membentuk air yang dihasilkan sebagai emisi. Emisi berupa air tentu merupakan limbah bersih yang tidak merusak lingkungan.

Hidrogen sebagai bahan baku pada proses HFC dapat diproduksi melalui metode *steam reforming*, gasifikasi, elektrolisis, dan proses biologis. Metode produksi hidrogen ini menjadi tantangan terhadap pengembangan HFC sebab diperlukan efisiensi produksi hidrogen yang berkelanjutan. Selain itu, tantangan lain penggunaan hidrogen sebagai bahan bakar adalah infrastruktur terminal pengisian hidrogen yang terbatas, dan harga mobil hidrogen yang relatif tinggi (tidak

kompetitif). Seiring pengembangan teknologi dan peningkatan infrastruktur, penggunaan hidrogen sebagai bahan bakar energi dapat menjadi lebih luas dan berkelanjutan di masa depan.



Gambar 6.5. Ilustrasi prinsip kerja HFC
(Sumber: (Hariyanto, 2009))

6.2.7 Energi Laut

Energi dari laut adalah bentuk energi terbarukan yang berasal dari lautan dan dapat digunakan untuk menghasilkan listrik atau energi lainnya. Ada beberapa cara untuk memanfaatkan energi dari laut, dan prinsip kerjanya dapat berbeda tergantung pada teknologi yang digunakan. Berikut adalah beberapa cara umum bagaimana energi dari laut dapat dimanfaatkan:

1. Energi Gelombang: Prinsip kerja energi gelombang adalah melibatkan pengambilan energi kinetik yang terkandung dalam gelombang laut.
2. Energi Arus Laut: Arus laut adalah aliran air laut yang konsisten dan kuat. Prinsip kerja energi arus laut melibatkan penggunaan turbin air yang ditempatkan di

bawah permukaan laut untuk menangkap energi kinetik dari arus laut.

3. Energi Panas Laut: Energi panas laut memanfaatkan perbedaan suhu antara lapisan air laut yang lebih hangat di permukaan dan yang lebih dingin di kedalaman laut. Prinsip kerja energi panas laut melibatkan penggunaan siklus Rankine organik atau termik untuk menghasilkan uap
4. Energi Osilasi Pasang Surut: Pasang surut adalah perubahan periodik dalam permukaan laut yang disebabkan oleh interaksi gravitasi antara Bumi, Bulan, dan Matahari. Prinsip kerja energi osilasi pasang surut melibatkan penggunaan perangkat yang menangkap energi dari perubahan pasang surut.

Teknologi energi dari laut terus berkembang, dan penelitian terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan. Di Indonesia, potensi energi laut sangat besar karena Indonesia adalah negara yang areanya didominasi oleh laut dengan perbandingan luas laut dan daratan adalah sekitar 3:1.

6.3 Dampak Sosial, Ekonomi, dan Lingkungan

Penggunaan dan pengembangan sumber daya energi terbarukan memiliki dampak yang beragam pada berbagai aspek, termasuk sosial, ekonomi, dan lingkungan. Dampak ini dapat bervariasi tergantung pada jenis sumber daya energi terbarukan, skala proyek, lokasi geografis, dan langkah-langkah mitigasi yang diterapkan.

Dampak sosial yang dapat dirasakan terhadap penggunaan dan pengembangan sumber daya energi terbarukan antara lain sebagai berikut:

1. Penciptaan Lapangan Kerja: Pengembangan sumber daya energi terbarukan dapat menciptakan lapangan kerja lokal dalam konstruksi, operasi, dan pemeliharaan fasilitas energi terbarukan seperti pembangkit listrik tenaga surya, angin, atau hidro.
2. Peningkatan Akses Energi: Di daerah yang belum memiliki akses yang memadai ke listrik, pengembangan sumber daya energi terbarukan dapat meningkatkan akses energi bagi masyarakat, yang dapat meningkatkan kualitas hidup.
3. Pemberdayaan Komunitas Lokal: Proyek energi terbarukan yang dikembangkan secara berkelanjutan dapat memberdayakan komunitas lokal untuk memiliki dan mengelola sumber daya energi.

Dampak ekonomi yang dapat dirasakan terhadap penggunaan dan pengembangan sumber daya energi terbarukan antara lain sebagai berikut:

- 1) Investasi dan Pertumbuhan Ekonomi: Pengembangan sumber daya energi terbarukan memerlukan investasi besar dalam infrastruktur dan teknologi, yang dapat mendorong pertumbuhan ekonomi di daerah tersebut.
- 2) Reduksi Ketergantungan pada Bahan Bakar Fosil Impor: Negara-negara yang memanfaatkan sumber daya energi terbarukan secara aktif dapat mengurangi ketergantungan pada impor bahan bakar fosil, yang dapat mengurangi tekanan terhadap neraca perdagangan.

Dampak lingkungan yang jelas terasa terhadap penggunaan dan pengembangan sumber daya energi terbarukan antara lain sebagai berikut:

1. Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca: Sumber daya energi terbarukan seperti energi surya dan angin menghasilkan sedikit atau bahkan nol emisi gas rumah kaca selama

- pengoperasian. Dengan demikian, hal ini membantu mengurangi dampak perubahan iklim.
2. Pengurangan Polusi Udara dan Air: Mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dapat mengurangi pencemaran udara dan air, yang dapat memiliki manfaat signifikan bagi kesehatan manusia dan lingkungan.
 3. Konservasi Sumber Daya Alam: Sumber daya energi terbarukan umumnya memerlukan penggunaan yang lebih rendah dari sumber daya alam, seperti air atau bahan bakar fosil, dibandingkan dengan pembangkit listrik konvensional.

Namun, penting untuk diingat bahwa pengembangan sumber daya energi terbarukan juga dapat memiliki dampak negatif, seperti konflik lahan, dampak terhadap satwa liar, dan masalah terkait pengelolaan limbah. Oleh karena itu, perencanaan, pengelolaan, dan pengembangan yang bijaksana serta berkelanjutan sangat penting untuk memaksimalkan manfaat positif sambil meminimalkan dampak negatifnya.

6.4 Sumber Energi dan Pembangunan Berkelanjutan

Suatu pembangunan dapat disebut berkelanjutan apabila memenuhi kriteria ekonomis, bermanfaat bagi masyarakat, dan menjaga lingkungan. Konsep pembangunan berkelanjutan mengacu pada upaya untuk mencapai pertumbuhan ekonomi dan perkembangan sosial yang seimbang dan harmonis dengan pelestarian lingkungan alam. Hal ini merupakan pendekatan holistik yang mempertimbangkan kebutuhan generasi saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi masa depan.

Tiga konsep penting yang terkait dengan pengelolaan sumber daya energi dan upaya untuk menciptakan sistem energi yang lebih berkelanjutan adalah konservasi energi,

diversifikasi energi, dan intensifikasi energi (Lubis, 2007) . Konservasi energi adalah praktik mengurangi penggunaan energi dengan cara yang efisien dan bijaksana. Tujuan utamanya adalah mengurangi konsumsi energi tanpa mengorbankan kualitas layanan atau kenyamanan. Diversifikasi energi adalah upaya untuk mendiversifikasi sumber daya energi yang digunakan dalam sistem energi. Ini melibatkan penggunaan beragam jenis energi, seperti energi terbarukan (surya, angin, hidro, biomassa), energi nuklir, dan energi fosil, dalam portofolio energi suatu negara atau wilayah. Intensifikasi energi adalah praktik meningkatkan efisiensi penggunaan energi dan kinerja sistem energi yang ada untuk menghasilkan lebih banyak output energi dengan input yang sama atau lebih sedikit.

Berdasarkan kajian oleh (Sugiyono, 2004), untuk mencapai pembangunan energi berkelanjutan maka diperlukan kebijakan yang komprehensif dan didukung oleh kemandirian finansial, teknologi, dan sumber daya manusia. Pembiayaan operasional perolehan dan penggunaan energi di tingkat nasional dapat mencapai kemandirian finansial, tidak bergantung pada impor asing. Kemandirian teknis harus dicapai melalui tahapan yang panjang. Pada tahap awal, 6 kemampuan teknologi nasional dalam meningkatkan penyediaan barang dan jasa di bidang energi sedemikian rupa sehingga kandungan lokal teknologi nasional pada barang atau jasa tersebut meningkat. Kemandirian sumber daya manusia (SDM) dapat dicapai dengan terus meningkatkan kapasitas sumber daya manusia energi dalam negeri melalui keterlibatan aktif masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahdiat, A. 2022. *Indonesia Punya 126 Unit PLTU, Terbanyak di Kalimantan*, *databooks*. Available at: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/10/20/indonesia-punya-126-unit-pltu-terbanyak-di-kalimantan> (Accessed: 30 August 2023).
- Alamgir Ahmad, K. *et al.* 2023. 'Bio-coal and bio-coke production from agro residues', *Chemical Engineering Journal*, 473, p. 145340. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.145340>.
- Badan Pusat Statistik. 2021. *Kapasitas Terpasang PLN menurut Jenis Pembangkit Listrik (MW), 2019-2021*. Available at: <https://www.bps.go.id/indicator/7/321/1/kapasitas-terpasang-pln-menurut-jenis-pembangkit-listrik.html> (Accessed: 31 August 2023).
- Fandari, A. El, Daryanto, A. and Suprayitno, G. 2014. 'Pengembangan Energi Panas Bumi (Sustainable Development of Geothermal Energy in Indonesia)', *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, 17(1), pp. 68–82.
- Hariyanto, H. 2009. 'Membangun Strategi Pengembangan Fuel Cell Di Indonesia: Tinjauan Ringkas', *Jurnal Ilmiah Teknologi Energi*, 1(9), pp. 15–21.
- Hermiati, E. *et al.* 2010. 'Pemanfaatan Biomassa Lignoselulosa Ampas Tebu untuk Produksi Bioetanol', *Jurnal Litbang Pertanian*, 29(4), pp. 121–130. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/265917138>.
- Jewitt, G. P. W. *et al.* 2009. 'Scoping study on water use of crops/trees for biofuels in South Africa', *WRC Report*, (1772/1/09).
- Lubis, A. 2007. 'Energi Terbarukan Dalam Pembangunan Berkelanjutan', *Teknologi Lingkungan*, 8(2), pp. 155–162.

- Lubis, A. *et al.* 2007. 'Energi Terbarukan Untuk Pembangunan Berkelanjutan Di Indonesia', *Jurnal Green Growth dan Manajemen Lingkungan*, 8(2), pp. 68–82. doi: 10.14710/alj.v1i4.398-412.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2007. *UU RI Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi*. Indonesia.
- Sánchez, Ó. J. and Montoya, S. 2013. 'Production of Bioethanol from Biomass: An Overview', in Gupta, V. K. and Tuohy, M. G. (eds) *Biofuel Technologies: Recent Developments*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 397–441. doi: 10.1007/978-3-642-34519-7_16.
- Sawyerr, N. *et al.* 2019. 'An overview of biogas production: Fundamentals, applications and future research', *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(2), pp. 105–116. doi: 10.32479/ijeep.7375.
- Sugiyono, A. 2004. 'Perubahan Paradigma Kebijakan Energi Menuju Pembangunan yang', *Seminar Akademik Tahunan Ekonomi I, Pascasarjana FEUI & ISEI*, (February), pp. 1–12.
- Syahni, D. 2020. *Kala PLTU Batubara Picu Perubahan Iklim dan Ancam Kesehatan Masyarakat*, Mongabay. Available at: <https://www.mongabay.co.id/2020/03/15/kala-pltu-batubara-picu-perubahan-iklim-dan-ancam-kesehatan-masyarakat/> (Accessed: 30 August 2023).

BAB 7

LIMBAH DAN DAUR ULANG

Oleh Sudiro

7.1 Pengertian Limbah

Berdasarkan Undang Undang Republik Indonesia Nomer 32 Tahun 2009 dinyatakan bahwa limbah adalah sisa dari suatu kegiatan dan/atau usaha proses produksi (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2009). Sedangkan menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia menyatakan bahwa limbah sebagai bahan yang tidak berguna atau tidak berguna untuk tujuan biasa atau utama dalam pembuatan atau pemakaian. Secara umum limbah bisa dinyatakan sebagai bahan sisa dari suatu proses. Selain itu, dinyatakan bahwa limbah adalah sisa produksi yang dianggap tidak berguna lagi dan harus dibuang.

Jika ditinjau dari kedua pengertian diatas dapat dinyatakan bahwa penghasil utama limbah adalah makhluk hidup, khususnya manusia. Manusia dalam kesehariannya guna memenuhi kebutuhan hidupnya selalu beraktivitas dan/atau memproduksi. Dalam beraktifitas maupun berkegiatan tersebut manusia selalu menghasilkan limbah selain daripada barang produksi yang dihasilkan. Sehingga dalam hal ini limbah tidak bisa dilepaskan dari kehidupan sehari hari. Limbah akan selalu ada selama kehidupan ini ada, sebab manusia akan selalu berupaya beraktivitas guna memenuhi kebutuhan hidupnya.

7.2 Jenis limbah, Karakteristik dan Komposisi

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa limbah adalah hasil samping dari segala aktivitas manusia, sehingga

jenis jenis limbah juga bermacam macam terkait dengan aktivitas tersebut. Menurut (Grameinie and Neolaka, 2022) dalam bukunya menyebutkan berbagai jenis limbah yang didasarkan atas wujudnya, sumbernya serta sifatnya. Jenis limbah dapat dibedakan berdasarkan wujudnya, berdasarkan sumbernya serta berdasarkan karakteristiknya.

Terdapat tiga jenis limbah ditinjau berdasarkan wujudnya. yaitu :

1. Limbah cair
2. Limbah gas
3. Limbah padat

Secara umum sering limbah cair disebut sebagai air limbah. Dalam (Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2016) menyatakan bahwa air limbah adalah sisa dari suatu hasil usaha dan/atau kegiatan proses produksi yang berwujud cair. Limbah cair merupakan limbah yang berbentuk cair (Pinontoan, Sumampouw and Nelwan, 2019). Limbah ini pada kondisi terlarut dalam air dan perairan. Limbah cair terjadi karena adanya gabungan antara air dan material pencemar dalam limbah. Material ini terbawa oleh air baik dalam kondisi terlarut maupun tersuspensi yang terbuang dari sumbernya (Apriyani, 2018).



Gambar 7.1. Limbah Cair

Sumber: (Patrick, 2016)

Limbah gas adalah sisa-sisa dari suatu kegiatan atau proses pengolahan yang berwujud gas atau asap (Pratiwi *et al.*, 2023). Limbah gas adalah material buangan berbentuk gas yang terdapat di udara sekitar atau di lapisan atmosfer bumi (Mukharomah, Fadhillah and Harfian, 2018).



Gambar 7.2.Limbah Gas

Sumber: (Heerden, 2017)

Limbah padat adalah hasil samping dari segala aktivitas manusia yang berbentuk padat. Limbah ini seringkali disebut sebagai sampah. Sampah merupakan sisa aktivitas produksi sehari-hari manusia dan proses alam yang berwujud padat (Pemerintah Republik Indonesia, 2008).



Gambar 7.3. Limbah Padat
Sumber: Dokumentasi pribadi

Berdasarkan tinjauan terhadap sumbernya, limbah ini berasal dari berbagai kegiatan :

1. Limbah rumah tangga
2. Limbah industri
3. Limbah pertanian
4. Limbah konstruksi
5. Limbah radioaktif.

Limbah rumah tangga berasal dari sisa atau hasil samping dari kegiatan rumah tangga dan sejenisnya sehari-hari. Limbah rumah tangga ini dapat berupa limbah cair, limbah padat serta dimungkinkan adanya limbah gas. Limbah rumah tangga yang berbentuk cair dapat berasal dari aktivitas kamar

mandi, dapur serta cucian (laundry). Sedangkan limbah yang berbentuk padat dapat berasal dari aktivitas dapur, belanja serta sisa makanan. Limbah yang berbentuk gas dimungkinkan timbul dari aktivitas rumah tangga yang berupa bakar membakar maupun juga aktivitas dapur.

Limbah industri adalah hasil samping dari suatu proses produksi yang dianggap tidak berguna lagi. Limbah ini dapat berupa cair, padat dan gas. Limbah cair dari proses produksi berasal dari aktivitas yang banyak menggunakan air sebagai bahan baku utama maupun penunjang dari suatu proses tersebut. Limbah padat industri timbul akibat penggunaan bahan baku proses maupun bahan penolong proses yang berupa padatan. Sedangkan limbah gas dari suatu industri dapat berasal dari aktivitas permesian produksi yang menghasilkan gas atau asap.

Limbah pertanian merupakan hasil samping atau sisa dari suatu kegiatan pertanian dan sejenisnya, termasuk dalam hal ini kegiatan peternakan maupun kehutanan. Limbah ini juga dapat berasal dari lanjutan kegiatan pertanian, salah satunya agroindustri. Bentuk limbah pertanian dapat berupa cair, padat serta gas. Aktivitas pemupukan adalah salah satu sumber limbah pertanian yang menghasilkan limbah gas maupun cair. Area peternakan lebih banyak menghasilkan limbah cair dan limbah padat.

Limbah konstruksi merupakan bagian dari limbah spesifik yang berasal dari aktivitas konstruksi bangunan. Limbah ini bisa berasal dari bahan bangunan yang dianggap sudah tidak bisa dipakai karena sesuatu dan lain hal. Sisa material bangunan ini yang bisa berupa batu bata yang sudah tidak utuh lagi, pecahan beton, potongan kabel listrik, semen yang sudah tidak bisa difungsikan lagi, potongan potongan besi maupun kawat serta material material lain dari proses penunjangnya yang terbuang dari proses penunjangnya.

Limbah konstruksi cenderung lebih banyak berupa limbah padat. Salah satu sumber limbah konstruksi ini berasal dari pesanan material yang gagal. Dimana kegagalan tersebut diakibatkan oleh spesifikasi pesanan yang tidak sesuai, kekeliruan pengiriman serta pesanan harus dalam jumlah yang banyak (Ahmad *et al.*, 2021).

Limbah radioaktif adalah zat radioaktif dan bahan serta peralatan yang telah terkena zat radioaktif atau menjadi radioaktif karena pengoperasian instalasi nuklir yang tidak dapat digunakan lagi (Indonesia, 2013). Limbah ini dapat dihasilkan dari beberapa kegiatan berikut: pembangkit listrik tenaga nuklir, rumah sakit, laboratorium, pusat pengembangan teknologi nuklir. Berdasarkan (Indonesia, 2013) limbah radioaktif terklasifikasi dalam tiga bagian, yaitu: (i) limbah radioaktif tingkat rendah; (ii) limbah radioaktif tingkat sedang; (iii) limbah radioaktif tingkat tinggi.

Berdasarkan sifatnya limbah dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Limbah korosif
2. Limbah beracun
3. Limbah reaktif
4. Limbah mudah meledak

7.3 Dampak Limbah Terhadap Lingkungan

Limbah yang tidak terkelola dengan baik sudah pasti akan berdampak negatif terhadap lingkungan. Pada kondisi tertentu, lingkungan akan tercemar oleh keberadaan limbah. Pada tingkatan kondisi dan ukuran konsentrasi tertentu, limbah mempunyai dampak negatif terhadap lingkungan, terutama bagi kesehatan manusia dan kehidupan lain (Enrico, 2019). Dampak yang diakibatkan oleh limbah terhadap lingkungan bergantung juga dari jenis dan karakteristik limbah, demikian juga fase lingkungan yang terdampak juga akan

berbeda. Sehingga masing masing bentuk limbah akan menyebabkan dampak pada lingkungan dengan fase yang berbeda.

Limbah cair dapat menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan perairan maupun lahan (tanah). Dampak limbah cair terhadap lingkungan antara lain adalah:

1. Penurunan kualitas air permukaan
2. Penurunan kualitas air tanah
3. Peningkatan vector penyakit

Limbah padat dapat menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan perairan, lahan (tanah) maupun udara. Dampak limbah padat terhadap lingkungan antara lain:

1. Penurunan kualitas air permukaan

Limbah padat yang menumpuk diatas permukaan tanah (tanpa terkelola) dapat mengkontaminasi sungai. Kontaminasi ini disebabkan oleh adanya proses dekomposisi alami material organik dan bertemu dengan air hujan akan menghasilkan lindi yang berpotensi mengalir ke badan air.

2. Penurunan kualitas air tanah

Timbulnya lindi dari sampah yang terdekomposisi dapat menyebabkan penurunan kualitas air tanah akibat proses infiltrasi.

3. Penurunan kualitas udara

Salah satu dampak yang terjadi pada dekomposisi sampah pada Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA) adalah timbulnya Gas Methan. Gas Methan dari sektor pengolahan sampah ini adalah salah satu komponen penyumbang dalam peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (Novia and Mulyani, 2022) .

Limbah gas lebih banyak menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan udara. Dampak limbah gas terhadap lingkungan antara lain adalah :

1. Penurunan kualitas udara

Peningkatan suhu, peningkatan partikulat debu, peningkatan kebisingan adalah salah satu bentuk penurunan kualitas udara. Peningkatan suhu bumi yang menyebabkan pemanasan global adalah salah satu dampak yang ditimbulkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) (Novia and Mulyani, 2022). GRK adalah

2. Penurunan kualitas air permukaan

Material anorganik dan partikulat debu yang terbawa oleh limbah gas ke udara semakin lama akan semakin terakumulasi. Akumulasi material tersebut dapat jatuh ke permukaan bumi bersama dengan air hujan. Proses ini selanjutnya dapat menyebabkan penurunan kualitas air permukaan. Proses ini juga dipengaruhi oleh adanya siklus hidrologi.

7.4 Konsep Pengolahan Limbah

Pengolahan limbah dapat dilakukan sesuai dengan bentuknya. Proses pengolahan limbah cair sebagian berbeda konsep dengan pengolahan limbah padat maupun gas. Secara prinsip terdapat tiga metode utama dalam pengolahan limbah, yaitu :

1. Metode Fisik
2. Metode Kimiawi
3. Metode Mikrobiologi

Pengolahan limbah dengan metode fisik ini adalah memproses limbah sedemikian rupa sehingga terjadi perubahan bentuk maupun ukuran pada fisiknya, namun tidak terjadi pada sifat zatnya. Sedangkan pengolahan limbah dengan

metode kimia adalah memproses limbah sedemikian rupa sehingga terjadi perubahan kimia dari suatu zat menjadi zat lain yang berbeda. Pengolahan limbah dengan metode biologis adalah memproses sedemikian rupa limbah dengan menggunakan bantuan aktivitas mikroorganisme guna menghilangkan material pencemar (H and Himma, 2017).

Penurunan kekeruhan limbah cair dengan proses pengendapan serta penyaringan adalah salah bentuk penggunaan metode fisik. Proses ini akan memisahkan material penyebab kekeruhan pada limbah dengan cairannya. Proses desinfeksi guna “membunuh” mikroorganisme patogen adalah salah bentuk penggunaan metode kimiawi dalam pengolahan limbah. Limbah domestik maupun non domestik yang terdapat bakteri Coli yang tinggi dapat dihilangkan salah satunya dengan proses desinfeksi kimiawi. Pengomposan sampah organik pada prinsipnya adalah proses pengolahan sampah dengan memanfaatkan kemampuan mikroorganisme dalam mendekomposisi sampah.

7.5 Daur Ulang Limbah

Daur ulang adalah suatu upaya untuk memproses kembali bahan yang telah digunakan, agar mendapatkan bahan atau baru yang dimungkinkan untuk dapat digunakan kembali. Sehingga daur ulang limbah dapat dikatakan sebagai suatu tindakan yang dilakukan guna memproses kembali limbah sebagai bahan yang sudah tidak diinginkan lagi menjadi material atau bahan yang bisa difungsikan kembali. Langkah daur ulang juga bisa dikatakan sebagai upaya untuk memperpanjang fungsi suatu bahan agar tidak segera menjadi limbah. Upaya ini ditujukan agar limbah yang dihasilkan dari suatu proses kegiatan tidak cepat terpapar ke lingkungan. Tentu saja upaya demikian diharapkan juga dapat melindungi lingkungan dari terjadinya pencemaran.

Saat ini sudah banyak yang melakukan berbagai bentuk upaya daur ulang. Berbagai bentuk limbah sudah ditemukan upaya penggunaan kembali, baik limbah cair, limbah padat maupun limbah gas.

Limbah cair baik yang bersifat organik maupun anorganik masih memungkinkan untuk difungsikan kembali. Berikut beberapa bentuk penggunaan kembali limbah cair:

1. Untuk Pertanian dan Perikanan

Salah satu upaya paling sederhana dalam daur ulang limbah cair domestik adalah menggunakan langsung sebagai air penyiraman tanaman. Air limbah yang dimanfaatkan ini khususnya berasal dari buangan dapur antara lain air bekas mencuci makanan dan sayuran, air bekas mencuci beras, dan air limbah lainnya yang tidak terkontaminasi oleh deterjen dan sabun cuci (Yunita, 2019). Air limbah yang berasal dari kawasan non domestik juga masih berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai penyiram tanaman dan perikanan. Namun tentu saja sebelum dilakukan pemanfaatan kembali terhadap limbah tersebut harus dilakukan pengolahan agar sesuai dengan baku mutu peruntukannya. Upaya pemanfaatan air limbah domestik untuk perikanan tawar sudah dicoba di salah satu pondok pesantren. Upaya ini dengan memanfaatkan air bekas wudhu yang dialirkan ke kolam ikan (Susanti *et al.*, 2022).

2. Untuk Penunjang Proses Industri

Industri beton memerlukan air bersih untuk proses produksinya. Sehingga industri ini menghasilkan limbah cair yang tidak sedikit. Air limbah yang dihasilkan dari pembuatan beton yang berasal dari Instalasi Pengolahan Air Limbah masih dapat digunakan sebagai penyusun beton. Dimana beton yang dihasilkan masih dalam katagori memenuhi persyaratan prEN 1008 dan ASTM C94

(Widodo, 2010). Upaya lain dalam daur ulang air limbah adalah pemanfaatan limbah alumunium sebagai kaogulan (Rosyidah and Purwanti, 2018). Koagulan yang dihasilkan dari proses daur ulang ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan penunjang pengolahan air bersih.

3. Untuk Konservasi Air Tanah

Secara prinsip dalam daur ulang limbah juga harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu sampai pada pemenuhan baku mutu peruntukannya. Setelah melalui proses pengolahan maka air limbah terolah baru diijinkan untuk diinjeksi ke dalam tanah sebagai upaya daur ulang. Standard Baku mutu untuk air limbah ini seperti yang tercantum dalam Peraturan Pemerintah No.22 Tahun 2021. Bentuk lain dari konservasi air adalah pengawetan air. Pengawetan air dapat dilakukan dengan penggunaan air yang efektif dan efisien. Kegiatan flushing toilet, Pencucian kendaraan dan air pendingin mesin dapat memanfaatkan air hasil olahan limbah (Nugroho, 2014).

Limbah padat, terutama sampah dapat di fungsikan kembali dalam berbagai bentuk. Sampah organik pada dasarnya lebih mudah diterima oleh lingkungan (alam) untuk di degradasi. Namun demikian jika jumlahnya terlalu banyak maka akan memperberat proses degradasinya dan berpotensi menyebabkan penurunan kualitas lingkungan. Sampah anorganik lebih sulit untuk di degradasi oleh lingkungan. Limbah padat anorganik ini memerlukan perhatian khusus untuk upaya reduksinya, salah satunya adalah penggunaan kembali. Berbagai upaya telah dilakukan untuk daur ulang sampah, baik yang organik maupun anorganik. Model model daur ulang ini tentu saja dilakukan dengan mempertimbangkan sifat fisik maupun kimiawinya. Berikut beberapa bentuk penggunaan kembali limbah padat :

1. Pengomposan

Saat ini sudah banyak dikembangkan model model pembuatan kompos dari sampah organik. Proses pelapukan bahan organik karena interaksi mikroorganisme pengurai di dalamnya menghasilkan kompos. (Suwahyono, no date). Untuk selanjutnya kompos ini difungsikan sebagai pupuk organik yang dapat menambah unsur hara tanah.

2. Nutrisi peternakan dan perikanan

Limbah organik padat saat ini sudah banyak diolah untuk dimanfaatkan kembali sebagai pakan ternak maupun perikanan. Limbah tanaman pangan, seperti jerami padi, jerami, jerami ubi kayu, jerami ubi kayu, jerami kacang tanah dan jerami kacang hijau mempunyai potensi yang baik digunakan sebagai alternatif pakan ternak (Yamin and Syamsu, 2020). Limbah yang berasal dari cangkang kepiting dapat digunakan sebagai penambah nutrien dalam pakan ternak. Dengan melalui proses penggilingan sehingga menjadi tepung, limbah cangkang kepiting diolah sebagai pakan ternak (Ratri, 2021).

3. Kerajinan

Saat ini limbah padat yang berasal dari material anorganik (kertas, plastik, kain dan sejenisnya) dapat dimanfaatkan kembali menjadi barang barang kerajinan. Dimana barang barang tersebut selanjutnya mempunyai nilai guna dan nilai ekonomi yang baik.

4. Sebagai bahan bakar

Pembuatan briket yang berasal dari sampah organik maupun anorganik adalah salah satu upaya pemanfaatan limbah padat sebagai bahan bakar. Beberapa briket sudah mempunyai kualitas yang cukup baik dalam penggunaanya sebagai bahan bakar. Salah satu contohnya adalah terhadap hasil kadar air, kadar abu, nilai kalor, dan kadar zat

menguap pada briket yang terbuat dari arang tempurung kelapa telah memenuhi standar SNI (Iskandar, Nugroho and Feliyana, 2019). Bentuk lain dari pemanfaatan limbah padat sebagai bahan bakar adalah mendaur ulang plastik menjadi bahan bakar cair. Metode pirolisis banyak dikembangkan untuk mewujudkannya. Pada prosesnya teknik ini dapat menghasilkan minyak sampai dengan 81%, gas, serta arang. Minyak yang didapatkan mengandung parafin, isoparafin, olefin, naphthene dan aromatik sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar (Sari, 2017).

Limbah gas dapat dihasilkan dari kegiatan domestik maupun non domestik. Salah satu contoh kegiatan domestik yang menghasilkan gas adalah pengolahan limbah black water menggunakan septic tank. Proses ini akan menghasilkan gas methan. Demikian juga penimbunan sampah permukiman di Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA) juga menghasilkan gas methan. Gas Methan yang dihasilkan dapat dikonversi menjadi bahan bakar gas.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, S.N. *et al.* 2021. *Pemanfaatan Material Alternatif (Sebagai Bahan Penyusun Konstruksi)*. Indonesia: TOHAR MEDIA.
- Apriyani, N. 2018. 'Industri Batik: Kandungan limbah cair dan metode engolahannya', *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 3(1), pp. 21–29. Available at: <https://doi.org/10.33084/mitl.v3i1.640>.
- Enrico, E. 2019. 'Dampak Limbah Cair Industri Tekstil Terhadap Lingkungan Dan Aplikasi Teknik Eco Printing Sebagai Usaha Mengurangi Limbah', *Moda : The Fashion Journal*, 1(1 SE-Articles), pp. 1–9. Available at: <https://doi.org/10.37715/moda.v1i1.706>.
- Grameinie, G.M. and Neolaka, A. 2022. *Ilmu Pendidikan Lingkungan*. 1st edn. Prenada Media.
- H, A.S.D.S.N. and Himma, N.F. 2017. *Perlakuan Fisiko-Kimia Limbah Cair Industri*. Universitas Brawijaya Press. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=klRjDwAAQBAJ>.
- Heerden, F. Van. 2017. *Locomotive train beside factory*, Pexels. Available at: <https://www.pexels.com/photo/grayscale-photography-of-locomotive-train-beside-factory-682078/> (Accessed: 31 July 2023).
- Indonesia, P.R. 2013. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif*. Indonesia. Available at: <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/5395>.
- Iskandar, N., Nugroho, S. and Feliyana, M.F. 2019. 'Uji kualitas produk briket arang tempurung kelapa berdasarkan standar mutu SNI', *Majalah Ilmiah Momentum*, 15(2).

- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. 2009. *Undang-undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Indonesia. Available at: <https://jdih.menlhk.go.id/new2/home/portfolioDetails/32/2009/6#>.
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2016. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor R: P.68/Menlhk-Setjen/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA REPUBLIK INDONESIA*. Indonesia. Available at: <https://jdih.menlhk.go.id/new2/home/portfolioDetails/68/2016/4>.
- Mukharomah, E., Fadhilah, E.N. and Harfian, B.A.A. 2018. 'Pemberdayaan ibu rumah tangga Di Kelurahan 12 ULU dalam upaya menjaga kebersihan lingkungan dengan keterampilan seni Daur Ulang Limbah Plastik', *JURNAL PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT*, 24(4), pp. 918–922.
- Novia, F. and Mulyani, T. 2022. 'Potensi Emisi Gas Rumah Kaca Dari Sektor Persampahan Di Kabupaten Bandung', *Jurnal Lingkungan dan Sumberdaya Alam (JURNALIS)*, 5(2), pp. 147–158.
- Nugroho, R. 2014. 'Pemasyarakatan daur ulang air limbah untuk mengantisipasi kelangkaan air akibat perubahan iklim global', *Jurnal Air Indonesia*, 7(1).
- Patrick. 2016. *Pengolahan Limbah Cair Industri, Tanindo*. Available at: <https://www.tanindo.net/pengolahan-limbah-cair-industri/> (Accessed: 31 July 2023).
- Pemerintah Republik Indonesia. 2008. *Undang Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah*. Indonesia.

- Pinontoan, O.R., Sumampouw, O.J. and Nelwan, J.E. 2019. *Epidemiologi Kesehatan Lingkungan*. 1st edn. Jakarta: Deepublish. Available at: https://www.google.co.id/books/edition/Epidemiologi_Kesehatan_Lingkungan/pd_nMDwAAQBAJ?hl=id&gbpv=0.
- Pratiwi, A.M. *et al.* 2023. 'Analisis dampak pencemaran limbah industri PT. S terhadap kehidupan masyarakat di Kabupaten Sidoarjo', *Madani: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(4). Available at: <https://jurnal.penerbitdaarulhuda.my.id/index.php/MAJIM/article/view/97/105>.
- Ratri, A.B.C. 2021. 'Pemanfaatan Limbah Cangkang Kepiting sebagai Bahan Penambahan Pakan Ternak Berkalsium Tinggi dalam Tinjauan Moderasi Beragama', *Transformatif: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(1), pp. 101–124.
- Rosyidah, A. and Purwanti, E. 2018. 'Pemanfaatan Limbah Aluminium Sebagai Koagulan dalam Pengolahan Limbah Cair dan Penjernihan Air', *IPTEK Journal of Proceedings Series*, (5), pp. 243–247.
- Sari, G.L. 2017. 'Kajian potensi pemanfaatan sampah plastik menjadi bahan bakar cair', *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(1), pp. 6–13.
- Susanti, D. *et al.* 2022. 'Pemanfaatan Limbah Air Wudhu untuk Budidaya Perikanan Air Tawar dan Tanaman Hidroponik di Ponpes Al Khoiriyah, Sumbergempol-Tulungagung', *Sewagati*, 6(3), pp. 367–374.
- Suwahyono, U. (no date) *Cara Cepat Buat Kompos dari Limbah*. Penebar Swadaya Grup. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=uTplCAAQBAJ>.
- Widodo, S. 2010. 'Pemanfaatan Air Limbah Produksi Beton Ready-Mix Sebagai Bahan campuran untuk Pembuatan Beton Baru', *INERSIA Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur*, 6(1).

- Yamin, A.A. and Syamsu, J.A. 2020. 'Limbah Tanaman Pangan Sebagai Pakan Ternak Sapi Potong di Kabupaten Sidenreng Rappang', *Jurnal Peternakan Sriwijaya*, 9(1), pp. 26–34.
- Yunita, D. 2019. 'Pemanfaatan Kembali Air Limbah Rumah Tangga dalam Upaya Efisiensi Penggunaan Air', *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(1), pp. 24–28.

BAB 8

LINGKUNGAN: PEMAHAMAN, MASALAH, DAN SOLUSI LINGKUNGAN PERKOTAAN

Oleh Eris Nur Dirman

8.1 Pendahuluan

Lingkungan perkotaan (*urban*) adalah wilayah yang mempunyai kegiatan utama bukan pertanian dengan susunan fungsi kawasan sebagai tempat permukiman perkotaan, pemusatan dan distribusi pelayanan jasa pemerintahan, pelayanan sosial, dan kegiatan ekonomi (Suharyanto et al., 2023). Lingkungan perkotaan merupakan salah satu aspek penting dalam kehidupan saat ini. Seiring dengan pertumbuhan populasi yang terus meningkat, lingkungan perkotaan telah menjadi pusat aktivitas ekonomi, sosial, dan budaya. Pertumbuhan lingkungan perkotaan ini juga membawa tantangan serius terhadap kualitas lingkungan di dalamnya (Kinanti *et al.*, 2022).

Dalam PP Nomor 34 Tahun 2009 disebutkan kawasan Perkotaan adalah wilayah yang mempunyai kegiatan utama bukan pertanian, dengan susunan fungsi kawasan sebagai tempat pemukiman, perkotaan, pemusatan dan distribusi pelayanan jasa pemerintahan, pelayanan sosial, dan kegiatan ekonomi”

Dalam UU Penataan Ruang No.26 tahun 2007 dinyatakan bahwa kawasan Perkotaan adalah wilayah yang mempunyai kegiatan utama bukan pertanian, dengan susunan fungsi kawasan sebagai tempat pemukiman, perkotaan,

pemusatan dan distribusi pelayanan jasa pemerintahan, pelayanan sosial, dan kegiatan ekonomi” dan kawasan perkotaan adalah wilayah yang mempunyai kegiatan utama bukan pertanian dengan susunan fungsi kawasan sebagai tempat permukiman perkotaan, pemusatan dan distribusi pelayanan pemerintahan, pelayanan sosial dan kegiatan ekonomi.

Dalam Peraturan Kepala Badan Pusat Statistik No. 120 Tahun 2020 tentang Klasifikasi Perkotaan dan Pedesaan di Indonesia mendefinisikan perkotaan adalah suatu wilayah administrasi setingkat desa/kelurahan yang memenuhi kriteria klasifikasi wilayah perkotaan. Kriteria wilayah perkotaan adalah prasyarat tertentu dalam hal kepadatan penduduk, persentase rumah tangga pertanian, dan keberadaan/akses pada fasilitas perkotaan, yang dimiliki suatu desa/kelurahan untuk menentukan status perkotaan suatu desa/kelurahan. Fasilitas yang di wilayah perkotaan berupa TK (Taman Kanak – Kanak), SMP (Sekolah Menengah Pertama), SMA (Sekolah Menengah Umum), pasar, pertokoan, bioskop, rumah sakit, Hotel/Biliar/.Diskotik/Panti Pijat/Salon.

8.2 Definisi Lingkungan Perkotaan

Lingkungan perkotaan mencakup berbagai elemen fisik, biologis, dan sosial yang ada dalam kota. Ini mencakup infrastruktur, gedung-gedung, jaringan transportasi, ruang terbuka hijau, sumber daya air, dan banyak aspek lainnya (Manik, 2022). Lingkungan perkotaan juga mencakup interaksi kompleks antara manusia dan lingkungan alaminya.

8.3 Konsep Lingkungan Perkotaan

Lingkungan perkotaan melibatkan interaksi kompleks antara manusia dan elemen fisik, biologis, dan sosial dalam kota. Ini mencakup struktur fisik seperti bangunan, jalan,

jembatan, dan transportasi, serta unsur alami seperti air, udara, tanah, dan vegetasi (Dinata & Dhewantara, 2012). Selain itu, lingkungan perkotaan mencakup berbagai aspek sosial, seperti budaya, gaya hidup, dan aktivitas ekonomi. Interaksi yang kompleks ini menciptakan dinamika unik yang mempengaruhi kualitas hidup penduduk kota (Yogi, 2019).

Konsep lingkungan perkotaan mencakup berbagai aspek yang berhubungan dengan tata ruang, gaya hidup, infrastruktur, dan interaksi sosial di dalam kota (Fiqi, 2020). Beberapa aspek utama dalam konsep lingkungan perkotaan meliputi:

1. Tata Ruang: Perencanaan tata ruang di lingkungan perkotaan melibatkan pengaturan wilayah untuk pemukiman, komersial, industri, dan kawasan hijau. Desain yang baik mempertimbangkan aksesibilitas, keberlanjutan, dan fungsi yang efisien.
2. Mobilitas: Pengaturan transportasi yang efektif dan berkelanjutan sangat penting dalam lingkungan perkotaan. Ini melibatkan pengembangan transportasi publik yang baik, pengurangan polusi udara dari kendaraan, serta pemberian aksesibilitas yang baik bagi pejalan kaki dan pengendara sepeda.
3. Keberlanjutan Lingkungan: Konsep ini menekankan penggunaan energi terbarukan, pengurangan limbah, dan perlindungan ekosistem alam di dalam dan sekitar kota. Ini termasuk penggunaan teknologi hijau, pengolahan limbah yang efisien, dan pelestarian kawasan berharga ekologis.
4. Kawasan Hijau: Pemeliharaan taman, taman kota, dan kawasan hijau lainnya di lingkungan perkotaan penting untuk meningkatkan kualitas udara, menyediakan tempat rekreasi, dan mengurangi efek panas kota.
5. Kehidupan Sosial: Lingkungan perkotaan menciptakan keragaman budaya dan kesempatan sosial. Ruang publik

seperti taman, taman bermain, dan ruang komunitas penting dalam memfasilitasi interaksi antarpenduduk.

6. **Pengembangan Ekonomi:** Kota sering menjadi pusat ekonomi, dengan peluang pekerjaan dan akses terhadap layanan pendidikan dan kesehatan yang lebih baik. Namun, juga penting untuk mengelola ketidaksetaraan sosial dan ekonomi yang mungkin timbul.
7. **Inovasi Teknologi:** Konsep lingkungan perkotaan mencakup penerapan teknologi cerdas, seperti smart city solutions, untuk mengoptimalkan layanan kota, pengelolaan limbah, dan infrastruktur.
8. **Adaptasi Perubahan Iklim:** Mengingat dampak perubahan iklim, konsep lingkungan perkotaan perlu mempertimbangkan upaya adaptasi seperti pengelolaan banjir, pengurangan risiko bencana, dan infrastruktur yang tahan terhadap perubahan cuaca ekstrem.
9. **Kualitas Hidup:** Tujuan utama dari konsep ini adalah meningkatkan kualitas hidup penduduk kota melalui penyediaan layanan publik, infrastruktur yang baik, akses terhadap fasilitas, dan lingkungan yang sehat dan aman.

8.4 Tantangan Pertumbuhan Populasi

Pertumbuhan populasi di lingkungan perkotaan berbagai tantangan lingkungan. Pertumbuhan ini berkontribusi pada peningkatan konsumsi energi, peningkatan produksi limbah, dan tekanan pada sumber daya alam (Permanasari et al., 2013). Kepadatan penduduk yang tinggi dapat menyebabkan polusi udara, kekeringan air, dan kepadatan lalu lintas yang parah. Tantangan ini akan selalu ada dan berkembang yang diakibatkan tingkat urbanisasi yang terus meningkat.

Lingkungan perkotaan telah menjadi fokus perhatian global seiring dengan pertumbuhan pesat populasi di seluruh

dunia. Fenomena urbanisasi yang terus berlanjut telah membawa perubahan yang signifikan dalam tata ruang, gaya hidup, serta dampak lingkungan di wilayah perkotaan (Manik, 2022). Keberlanjutan lingkungan perkotaan menjadi isu penting, mengingat tantangan yang dihadapi dalam menjaga keseimbangan antara perkembangan ekonomi, kualitas hidup, dan kelestarian lingkungan. Studi mengenai lingkungan perkotaan mencakup berbagai aspek, seperti polusi udara, limbah, mobilitas, serta pengelolaan sumber daya alam (Malau & Hitapretiwi, 2020). Peningkatan konsumsi energi dan laju penggunaan lahan untuk pemukiman dan industri berdampak pada emisi gas rumah kaca dan kehilangan habitat alami. Selain itu, kesenjangan sosial ekonomi juga dapat memperburuk ketidaksetaraan dalam akses terhadap fasilitas lingkungan yang layak.

8.5 Polusi dan Kualitas Udara

Polusi udara adalah salah satu masalah utama lingkungan perkotaan. Peningkatan emisi kendaraan bermotor, industri, dan pembangkit listrik telah mengakibatkan peningkatan kadar polutan dalam udara, seperti partikel halus dan gas beracun (Akhriadi *et al.*, 2016). Dampak polusi udara terhadap kesehatan manusia termasuk masalah pernapasan, penyakit kardiovaskular, dan bahkan kematian dini.



Gambar 8.1. Polusi Udara di Jakarta

(Sumber:<https://www.ruparupa.com/blog/kualitas-udara-jakarta/>)

8.6 Krisis Air Bersih

Ketersediaan air bersih adalah permasalahan penting di lingkungan perkotaan. Permintaan air yang tinggi dari penduduk, industri, dan pertanian sering kali melebihi kapasitas pasokan air (Rumatarai *et al.*, 2017). Pencemaran air oleh limbah domestik dan industri juga dapat mengancam kualitas air dan kesehatan masyarakat. Krisis air bersih menjadi semakin kompleks dengan perubahan pola curah hujan yang diakibatkan oleh perubahan iklim.



Gambar 8.2. Krisis Air Bersih

(Sumber:

<https://www.suara.com/news/2022/02/22/155236/krisis-air-di-jakarta-kisah-warga-muara-angke-puluhan-tahun-berjuang-demi-air-bersih>)

8.7 Keanekaragaman Hayati dan Ruang Terbuka Hijau

Pertumbuhan perkotaan seringkali mengorbankan ruang terbuka hijau dan mengancam keanekaragaman hayati. Area hijau seperti taman, taman kota, dan hutan kota penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem perkotaan (Kinanti et al., 2022). Ruang terbuka ini tidak hanya memberikan tempat rekreasi, tetapi juga berkontribusi pada penyerapan karbon, penyaringan udara, dan pengaturan suhu.



Gambar 8.3. Ruang Terbuka Hijau

(Sumber: <https://dlh.semarangkota.go.id/mengenal-5-manfaat-ruang-terbuka-hijau-bagi-kehidupan/>)

8.8 Dampak Perubahan Iklim

Lingkungan perkotaan tidak hanya mendapat dampak dari perubahan iklim, tetapi juga berkontribusi padanya. Peningkatan emisi gas rumah kaca dari aktivitas perkotaan, seperti transportasi dan industri, berperan dalam pemanasan global. Dampak perubahan iklim seperti kenaikan suhu ekstrim, banjir, dan kekeringan semakin memperburuk tantangan lingkungan perkotaan (Jusuf, 2012). Sehingga ketersediaan infrastruktur sumber daya air yang berkelanjutan dinilai menjadi salah satu kunci dalam transformasi daerah perkotaan.



Sumber : <https://www.bnpb.go.id/berita/tiga-orang-meninggal-dunia-pasca-banjir-dan-tanah-longsor-di-kota-sorong>



Sumber : <https://bpbd.semarangkota.go.id/detailpost/kekeringan-di-rt-05-rw-ix-kelurahan-rowosari-kecamatan-tembalang-kota-semarang>

8.9 Peran Pendekatan Berkelanjutan

Keberlanjutan (*sustainability*) secara umum berarti kemampuan untuk menjaga dan mempertahankan keseimbangan proses atau kondisi suatu sistem, yang terkait dengan sistem hayati dan binaan (Roestamy & Fulazzaky, 2021). Dalam konteks ekologi, keberlanjutan dipahami sebagai kemampuan ekosistem menjaga dan mempertahankan proses, fungsi, produktivitas, dan keanekaragaman ekologis pada masa mendatang.

Dalam perkembangannya seiring dengan kebutuhan menjaga keberlanjutan kehidupan manusia di bumi, masyarakat dunia diperkenalkan pada pemahaman mengenai pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*). Walaupun hingga kini secara ilmiah belum terbukti adanya kehidupan manusia yang tidak berkelanjutan, namun pada prinsipnya pembangunan berkelanjutan memiliki tujuan agar pemanfaatan sumber daya alam dipertahankan pada laju dimana kelangkaan dan kepunahan sumber daya alam bersangkutan tidak dihadapi oleh generasi mendatang. Dalam prinsip tersebut terkandung makna adanya batas atau limitasi keberlanjutan (Yogi, 2019).

Pendekatan berkelanjutan menjadi kunci dalam mengatasi tantangan lingkungan perkotaan (Larasati *et al.*, 2022). Ini melibatkan perencanaan tata ruang yang cermat, penggunaan energi terbarukan, pengurangan limbah, dan promosi transportasi berkelanjutan. Konsep ini juga mengedepankan kolaborasi lintas sektor, termasuk pemerintah, bisnis, masyarakat sipil, dan akademisi.

8.10 Pendidikan dan Kesadaran Lingkungan

Pendidikan merupakan salah satu aspek penting yang memiliki peranan pokok dalam membentuk karakter generasi muda termasuk karakter peduli lingkungan (Cornelius Deni

Wijaya Putra *et al.*, 2022). Hal Ini pendidikan lingkungan hidup dijadikan pendidikan yang berbasis kecintaan terhadap alam dan lingkungan dalam menanamkan karakter peduli lingkungan. Karakter Peduli lingkungan merupakan sikap dan tindakan yang selalu berupaya mencegah kerusakan pada lingkungan alam di sekitarnya, dan mengembangkan upaya-upaya untuk memperbaiki kerusakan alam yang sudah terjadi. Selain itu, pendidikan lingkungan hidup juga merupakan program pendidikan untuk membina anak didik agar memiliki pengertian, kesadaran, sikap, dan perilaku yang rasional serta bertanggung jawab terhadap alam dan terlaksananya pembangunan yang berkelanjutan. Dalam pelaksanaannya, pendidikan lingkungan hidup dijadikan sebagai mata pelajaran yang berdiri sendiri atau mata pelajaran yang diintegrasikan ke berbagai mata pelajaran dalam kurikulum.

Permasalahan lingkungan seperti banjir, kerusakan hutan, pencemaran air, penyebaran penyakit masih terus mewarnai kehidupan manusia hingga saat ini. Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, beberapa pihak berusaha untuk mencegah masalah-masalah lingkungan yang akan terjadi maupun memperbaiki masalah lingkungan yang sedang berlangsung (Jusuf, 2012).

Berbagai cara dan upaya telah dilakukan oleh pemerintah, lembaga-lembaga sosial maupun perorangan seperti penetapan kebijakan mengenai lingkungan serta gerakan-gerakan lingkungan sebagai wujud kepedulian terhadap lingkungan dengan mengajak orang lain agar mau peduli terhadap lingkungan. Namun, upaya-upaya tersebut tidak sepenuhnya berjalan mulus dikarenakan tidak adanya kesamaan makna dan tujuan antara pihak yang mengupayakan solusi mengenai masalah lingkungan dengan pihak yang diharapkan memiliki kontribusi paling besar terhadap pemulihan ketidakseimbangan lingkungan.

Oleh karena itu, dalam pembangunan lingkungan hidup, yang dituju pada dasarnya adalah terwujudnya perubahan perilaku dari tiap anggota masyarakat mulai dari anak-anak hingga dewasa, agar memiliki pola tindak dan pola laku yang seimbang dengan daya dukung lingkungan. Pemikiran dan cara pandang manusia terhadap lingkungan yang cenderung memanfaatkan dan menyalahgunakan lingkungan tetapi tidak dapat melindungi lingkungan itu sendiri.

Hal ini menyebabkan kerusakan lingkungan akibat perilaku manusia yang tidak memahami hubungan antara manusia dengan alam. Alam telah menyediakan sumber daya yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Seiring dengan kebutuhan manusia yang terus berkembang, keduanya merupakan sumber daya hayati dan nonhayati yang harus dilestarikan dan dilestarikan untuk kelangsungan hidup di masa depan (Manik, 2022).

Untuk melindungi alam dari bahaya dan bertahan hidup, dibutuhkan kesadaran dan kecerdasan. Adanya pendidikan lingkungan yang tepat diharapkan dapat menanamkan kepada generasi muda pentingnya kesadaran lingkungan, karena generasi muda adalah pewaris kekayaan alam yang ada di muka bumi. Kesadaran lingkungan perlu diajarkan di semua jenjang, mulai dari pendidikan anak usia dini hingga pendidikan tinggi.

Pendidikan dan kesadaran lingkungan memiliki peran krusial dalam mengubah perilaku masyarakat perkotaan (Manik, 2022). Melalui kampanye penyuluhan dan pendidikan, masyarakat dapat memahami dampak individu terhadap lingkungan. Kesadaran ini dapat mendorong tindakan kolektif untuk mengurangi konsumsi berlebihan, meminimalkan pemborosan, dan mengadvokasi kebijakan berkelanjutan. Lingkungan perkotaan yang buruk dapat berdampak serius terhadap kualitas hidup penduduknya. Polusi udara dapat

menyebabkan masalah pernapasan dan penyakit lainnya. Kepadatan penduduk yang tinggi dapat mengakibatkan stres dan isolasi sosial. Selain itu, perubahan iklim juga terkait erat dengan aktivitas manusia di perkotaan.

8.11 Pendekatan Berkelanjutan dalam Pengembangan Lingkungan Perkotaan

Pendekatan berkelanjutan dalam pengembangan lingkungan perkotaan mengacu pada strategi dan prinsip-prinsip yang mengutamakan keseimbangan antara pertumbuhan perkotaan, pelestarian lingkungan, dan kualitas hidup masyarakat. Tujuannya adalah menciptakan kota yang ramah lingkungan, inklusif, ekonomis, dan berkelanjutan dalam jangka panjang. Berikut beberapa aspek kunci dari pendekatan berkelanjutan dalam pengembangan lingkungan perkotaan:

1. **Perencanaan Terpadu:** Pendekatan berkelanjutan memerlukan perencanaan tata ruang yang terintegrasi, mempertimbangkan aspek pemukiman, transportasi, dan lingkungan. Ini membantu menghindari kerusakan lingkungan dan meminimalkan dampak negatif pertumbuhan perkotaan.
2. **Transportasi Berkelanjutan:** Fokus pada transportasi berkelanjutan, seperti transportasi publik yang efisien, jalur sepeda, dan trotoar yang aman, membantu mengurangi polusi udara, kemacetan, dan ketergantungan pada kendaraan pribadi.
3. **Efisiensi Energi dan Sumber Daya:** Menerapkan teknologi dan praktik efisiensi energi dalam bangunan dan infrastruktur membantu mengurangi konsumsi energi dan dampak lingkungan. Ini termasuk penggunaan bahan bangunan yang ramah lingkungan dan penerapan sistem energi terbarukan.

4. Pengelolaan Limbah dan Air: Sistem pengelolaan limbah yang efisien dan pengelolaan air yang baik membantu mencegah pencemaran lingkungan dan menjaga kualitas air dan udara.
5. Pelestarian Ruang Hijau: Mempertahankan dan mengembangkan ruang hijau seperti taman kota, taman rekreasi, dan kawasan alami bukan hanya memberikan nilai estetika, tetapi juga membantu mengurangi efek panas kota, meningkatkan keanekaragaman hayati, dan menyediakan tempat rekreasi.
6. Partisipasi Masyarakat: Melibatkan masyarakat dalam proses perencanaan dan pengambilan keputusan memastikan bahwa kebijakan dan proyek-proyek perkotaan mencerminkan kebutuhan dan aspirasi warga.
7. Ekonomi Berkelanjutan: Pengembangan ekonomi yang berkelanjutan berarti menciptakan lapangan kerja, peluang usaha, dan pertumbuhan ekonomi yang tidak merugikan lingkungan.
8. Adaptasi Perubahan Iklim: Mengantisipasi dan mengatasi dampak perubahan iklim seperti banjir, kenaikan suhu, dan cuaca ekstrem dalam perencanaan dan desain infrastruktur kota.
9. Pendidikan dan Kesadaran Lingkungan: Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya lingkungan berkelanjutan melalui pendidikan, kampanye, dan informasi dapat mendorong perilaku yang lebih ramah lingkungan.
10. Pendekatan berkelanjutan dalam pengembangan lingkungan perkotaan mengakui bahwa pertumbuhan perkotaan yang tidak terkendali dapat memiliki dampak negatif yang serius. Oleh karena itu, fokus pada keseimbangan antara kebutuhan ekonomi, sosial, dan

lingkungan adalah kunci dalam menciptakan kota-kota yang berkualitas tinggi dan berkelanjutan.

8.12 Pentingnya Ruang Terbuka Hijau

Ruang terbuka hijau memiliki peran penting dalam meningkatkan kualitas lingkungan perkotaan. Taman, taman rekreasi, dan area hijau lainnya membantu mengurangi polusi udara, memberikan tempat rekreasi bagi penduduk, dan mempertahankan keanekaragaman hayati. Pengembangan ruang terbuka hijau yang baik juga dapat meningkatkan estetika kota.

Ruang terbuka hijau (RTH) sangat penting dalam lingkungan perkotaan karena memberikan sejumlah manfaat bagi lingkungan, masyarakat, dan ekosistem secara umum (Kinanti *et al.*, 2022). Beberapa manfaat utamanya meliputi:

1. **Kualitas Udara:** Vegetasi dalam ruang terbuka hijau dapat menyerap polutan udara seperti karbon dioksida, sulfur dioksida, dan partikel-partikel berbahaya, serta menghasilkan oksigen melalui proses fotosintesis.
2. **Iklim Mikro:** Ruang terbuka hijau dapat membantu mengatur suhu udara di area perkotaan, mendinginkan suhu udara melalui efek pendinginan penguapan air oleh tanaman (evapotranspirasi). Ini membantu mengurangi efek pulau panas perkotaan (Mwase *et al.*, 2022).
3. **Kesehatan Mental:** Akses mudah ke ruang terbuka hijau telah terbukti memiliki dampak positif pada kesehatan mental manusia. Taman dan area bervegetasi dapat menjadi tempat rekreasi, relaksasi, dan pelarian dari rutinitas sehari-hari (Kinanti *et al.*, 2022).
4. **Keanekaragaman Hayati:** Ruang terbuka hijau dapat menjadi tempat bagi berbagai spesies tanaman dan hewan, membantu dalam menjaga keanekaragaman hayati perkotaan.

5. Sarana Olahraga dan Rekreasi: Lapangan dan taman dapat digunakan untuk berbagai aktivitas fisik dan olahraga, seperti jogging, bersepeda, bermain sepak bola, dan lain-lain.
6. Pengendalian Banjir: Vegetasi dalam ruang terbuka hijau dapat menyerap air hujan dan mengurangi risiko banjir dengan meredam aliran air.
7. Estetika dan Identitas Kota: Ruang terbuka hijau membantu meningkatkan estetika kota dan memberikan identitas unik pada suatu daerah.
8. Pendidikan Lingkungan: Ruang terbuka hijau juga dapat menjadi sumber pendidikan lingkungan, tempat di mana orang bisa belajar tentang alam, ekologi, dan praktik berkelanjutan.

8.13 Pemanfaatan Teknologi untuk Solusi Lingkungan Perkotaan

Kemajuan teknologi dapat dimanfaatkan untuk mengatasi tantangan lingkungan perkotaan. Sensor pintar, analisis data, dan teknologi informasi dapat membantu dalam pemantauan kualitas udara, pengelolaan sampah yang lebih efisien, dan perencanaan transportasi yang lebih baik. Teknologi juga memungkinkan partisipasi warga dalam pengelolaan lingkungan perkotaan. Pemanfaatan teknologi dalam konteks lingkungan perkotaan memiliki potensi besar untuk mengatasi sejumlah tantangan yang dihadapi. Berikut adalah beberapa cara teknologi dapat membantu:

1. Pemantauan Kualitas Udara: Sensor pintar yang terpasang di berbagai titik di kota dapat secara real-time memantau kualitas udara, mengukur tingkat polutan seperti PM2.5, PM10, ozon, dan gas-gas berbahaya lainnya. Data ini bisa digunakan untuk mengambil tindakan cepat jika kualitas

udara buruk, serta membantu dalam perencanaan jangka panjang untuk mengurangi pencemaran udara.

2. **Pengelolaan Sampah yang Efisien:** Teknologi dapat membantu dalam pengumpulan dan pengelolaan sampah yang lebih efisien. Kontainer sampah pintar dengan sensor dapat memberi tahu petugas ketika mereka hampir penuh, mengoptimalkan rute pengumpulan sampah dan mengurangi limbah yang berserakan.
3. **Perencanaan Transportasi yang Lebih Baik:** Data dari berbagai sumber, seperti GPS dan aplikasi transportasi umum, dapat digunakan untuk menganalisis pola perjalanan masyarakat. Dengan informasi ini, perencana kota dapat merancang sistem transportasi yang lebih efisien, termasuk rute bis, kereta, dan sepeda.
4. **Partisipasi Warga:** Aplikasi dan platform teknologi dapat memungkinkan partisipasi warga dalam pengelolaan lingkungan perkotaan. Masyarakat dapat melaporkan masalah lingkungan seperti kerusakan infrastruktur, kebocoran air, atau sampah yang berserakan melalui aplikasi. Ini juga dapat meningkatkan transparansi dan akuntabilitas dalam tindakan pemerintah.
5. **Pemantauan dan Prediksi Bencana:** Teknologi dapat membantu dalam memantau potensi bencana seperti banjir, gempa bumi, dan longsor. Data yang diperoleh dari sensor dan analisis dapat membantu dalam perencanaan mitigasi dan tanggap darurat.
6. **Penggunaan Energi yang Efisien:** Teknologi canggih seperti sistem pencahayaan dan pendingin yang otomatis dapat mengoptimalkan penggunaan energi dalam bangunan-bangunan perkotaan, mengurangi jejak karbon dan biaya operasional.

Pemanfaatan teknologi juga harus diimbangi dengan pertimbangan etika, privasi, dan keberlanjutan. Selain itu, akses yang merata terhadap teknologi bagi semua lapisan masyarakat perlu diperhatikan agar manfaatnya bisa dirasakan secara adil oleh semua warga kota.

8.14 Peran Masyarakat dalam Pelestarian Lingkungan Perkotaan

Partisipasi aktif masyarakat sangat penting dalam menjaga lingkungan perkotaan yang sehat. Melalui pendidikan lingkungan dan kesadaran, masyarakat dapat mengambil langkah-langkah untuk mengurangi konsumsi energi, mengelola limbah dengan bijaksana, dan mendukung kebijakan berkelanjutan (Sari, 2016).

1. Pola Pertumbuhan:

Pertumbuhan penduduk di perkotaan cenderung lebih cepat dan intensif dibandingkan dengan pedesaan. Ini disebabkan oleh urbanisasi, di mana orang-orang bermigrasi ke kota untuk mencari peluang ekonomi, pendidikan, dan pelayanan kesehatan yang lebih baik. Di sisi lain, pertumbuhan penduduk di pedesaan cenderung lebih lambat karena faktor-faktor seperti keterbatasan akses terhadap layanan dasar dan peluang pekerjaan yang terbatas.

2. Laju Pertumbuhan:

Laju pertumbuhan penduduk di perkotaan biasanya lebih tinggi, terutama di kota-kota besar dan metropolitan, karena daya tarik ekonomi dan sosial yang kuat. Sedangkan di pedesaan, laju pertumbuhan cenderung lebih stabil atau bahkan mengalami penurunan karena beberapa faktor, termasuk akses terbatas terhadap layanan kesehatan dan pendidikan yang menyebabkan angka kelahiran lebih rendah.

3. Faktor Penyebab:

Faktor utama pertumbuhan penduduk di perkotaan adalah urbanisasi dan migrasi. Peningkatan lapangan pekerjaan, akses terhadap pendidikan tinggi, dan fasilitas umum yang lebih baik adalah beberapa alasan utama orang berbondong-bondong menuju perkotaan. Di pedesaan, pertumbuhan penduduk lebih terkait dengan tingkat kelahiran dan angka kematian, serta faktor-faktor seperti perubahan dalam struktur ekonomi dan pertanian.

4. Dampak Lingkungan:

Pertumbuhan penduduk di perkotaan seringkali berdampak pada peningkatan polusi udara dan air, tekanan pada infrastruktur, serta kehilangan lahan hijau. Di pedesaan, pertumbuhan penduduk yang terbatas cenderung memiliki dampak yang lebih rendah terhadap lingkungan alaminya, meskipun masih ada isu-isu seperti deforestasi dan degradasi lahan pertanian.

5. Peningkatan Kualitas Hidup:

Pertumbuhan di perkotaan dapat memberikan akses lebih baik terhadap pendidikan, pekerjaan, dan pelayanan kesehatan yang berkualitas, meskipun juga seringkali disertai dengan tantangan seperti kemacetan, kesenjangan sosial, dan biaya hidup yang tinggi. Di pedesaan, peningkatan kualitas hidup dapat melibatkan upaya dalam meningkatkan infrastruktur, akses terhadap layanan dasar, dan diversifikasi ekonomi.

Perbandingan pertumbuhan penduduk di perkotaan dan pedesaan menggambarkan dinamika yang kompleks antara dua lingkungan yang berbeda. Faktor sosial, ekonomi, dan lingkungan memainkan peran penting dalam mengarahkan arah pertumbuhan dan dampaknya terhadap masyarakat dan lingkungan di kedua wilayah tersebut. Pengembangan solusi

berkelanjutan di lingkungan perkotaan melibatkan kerjasama antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat sipil. Upaya untuk mengoptimalkan transportasi publik, merancang kawasan hijau, mengurangi limbah plastik, serta mendorong penggunaan energi terbarukan menjadi langkah kunci dalam menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih ramah lingkungan. Dengan demikian, pendahuluan ini menggaris bawahi kompleksitas tantangan dan peluang yang dihadapi dalam menjaga kualitas lingkungan perkotaan demi kesejahteraan generasi saat ini dan mendatang.

8.15 Sasaran Menuju Lingkungan Perkotaan yang Lebih Baik

Dalam menghadapi tantangan lingkungan perkotaan, penting bagi pemerintah, organisasi, dan masyarakat untuk bekerja bersama menuju visi perkotaan yang lebih baik. Ini melibatkan kerjasama lintas sektor, perencanaan yang berfokus pada keberlanjutan, serta investasi dalam teknologi dan infrastruktur yang mendukung lingkungan perkotaan yang sehat dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhriadi, A., Djakfar, L., & Suharyanto, A. 2016. Pengaruh Aksesibilitas Dan Kualitas Pelayanan Terhadap Pemilihan Moda Transportasi Udara (Studi Kasus Bandara Abdurachman Saleh Malang-Bandara Juanda Surabaya). *Jurnal Tata Kota Dan Daerah*, 8(1), 1–12.
- Cornelius Deni Wijaya Putra, Nucifera, F., & Sola Tri Astuti. 2022. Distribusi Spasial dan Temporal Urban Heat Island dan Penggunaan Lahan di Wilayah Perkotaan Yogyakarta Tahun 1999-2019. *Jurnal Geografi, Edukasi Dan Lingkungan (JGEL)*, 6(1), 1–16. <https://doi.org/10.22236/jgel.v6i1.7785>
- Dinata, A., & Dhewantara, P. W. 2012. Karakteristik Lingkungan Fisik, Biologi, Dan Sosial Di Daerah Endemis Dbd Kota Banjar Tahun 2011. *Indonesian Journal of Health Ecology*, 11(4).
- Fiqi, B. 2020. Analisa Desain Konstruksi Tanggul Laut untuk Meminimalisir Hilangnya Garis Pantai Pasca Tsunami Tahun 2018 di Teluk Palu. *Jurnal Alami: Jurnal Teknologi Reduksi Risiko Bencana*, 4(1), 52–62. <https://doi.org/10.29122/alami.v4i1.4067>
- Jusuf, M. I. 2012. Ekologi Daerah Bencana Tsunami Dengan Gangguan Kesehatan. *Jurnal Sainstek*, 6(6), 12. <http://ejurnal.ung.ac.id/index.php/ST/article/view/1151>
- Kinanti, A. A., Ayu, I. I. P., & Sulistyoningsih, T. 2022. Dampak Dari Fenomena Urban Sprawl Terhadap Penggunaan Ruang Terbuka Hijau Di Perkotaan (Studi Kasus Di Kota Malang). *Jurnal Inovasi Dan Kreativitas (JIKa)*, 2(1), 69–78. <https://doi.org/10.30656/jika.v2i1.4539>

- Larasati, A. P., Rahman, B., & Kautsary, J. 2022. Pengaruh Perkembangan Perkotaan Terhadap Fenomena Pulau Panas (Urban Heat Island). *Jurnal Kajian Ruang*, 2(1), 35. <https://doi.org/10.30659/jkr.v2i1.20469>
- Malau, F. H. Y., & Hitapretiwi, M. A. 2020. Analisis Risiko Kesehatan Akibat Paparan Karbon Monoksida Pada Hari Kerja Dan Car Free Day Di Kawasan Jalan Raya Puputan Niti Mandala Renon Denpasar Tahun 2016. *Archive of Community Health*, 5(1), 19. <https://doi.org/10.24843/ach.2018.v05.i01.p03>
- Manik, Y. M. 2022. Perbedaan Sosial Ekonomi Pedesaan-Perkotaan (dalam kajian Kepedulian Lingkungan, Sikap dan Tindakan). *EQUILIBRIUM: Jurnal Ilmiah Ekonomi Dan Pembelajarannya*, 10(2), 106. <https://doi.org/10.25273/equilibrium.v10i2.12368>
- Mwase, N. S., Olutola, B. G., & Wichmann, J. 2022. Temperature modifies the association between air pollution and respiratory disease hospital admissions in an industrial area of South Africa: The Vaal Triangle Air Pollution Priority Area. *Clean Air Journal*, 32(2). <https://doi.org/10.17159/CAJ/2022/32/2.14588>
- Permanasari, P., Bisri, M., & Suharyanto, A. 2013. Pengaruh Implementasi Rencana Tata Ruang Wilayah Terhadap Konservasi Sumber Daya Air Pada Wilayah Studi Kota Batu Jawa Timur. *Prokons: Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), 10–18.
- Roestamy, M., & Fulazzaky, M. A. 2021. A review of the water resources management for the Brantas River basin: challenges in the transition to an integrated water resources management. *Environment, Development and Sustainability*, 1. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01933-9>

- Rumatarai, M. H., Suharyanto, A., & Devia, Y. P. 2017. Studi Evaluasi Pemanfaatan Debit Sumber Air Kali Remu untuk Kebutuhan Air Bersih Kota Sorong. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya*, 1(3), 206850.
- Sari, A. C. 2016. *Implementasi Ecopreneurship Untuk Keberlanjutan Lingkungan (environment Sustainability) (studi Kasus Pada Bank Sampah Bms Mayungan Yogyakarta*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:157700272>
- Suharyanto, A., Maulana, A., Suprayogo, D., Devia, Y. P., & Kurniawan, S. 2023. Land surface temperature changes caused by land cover/ land use properties and their impact on rainfall characteristics. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 9(3), 353–372.
<https://doi.org/10.22035/gjesm.2023.03.01>
- Yogi, W. N. P. 2019. Pembangunan Ekowisata Melalui Konsep Ekonomi Kreatif Berbasis Seni Dan Budaya. *JCIC : Jurnal CIC Lembaga Riset Dan Konsultan Sosial*, 1(2), 100–109.
<https://doi.org/10.51486/jbo.v1i2.16>

BAB 9

TANGGUNG JAWAB SOSIAL DAN ETIKA LINGKUNGAN

Oleh Yosef Adicita

Tanggung jawab sosial dan etika lingkungan adalah dua konsep yang semakin mendapatkan perhatian dalam era modern ini. Seiring dengan meningkatnya kesadaran tentang isu-isu lingkungan dan dampak sosial dari aktivitas manusia, tanggung jawab perusahaan dan individu terhadap masyarakat dan lingkungan semakin menjadi sorotan utama. Kehidupan manusia tidak dapat dipisahkan dari ketergantungan dengan lingkungan sekitar, dan dengan semakin kompleksnya tantangan lingkungan dan sosial, penting bagi kita untuk mempertimbangkan peran tanggung jawab sosial dan etika lingkungan dalam membentuk masa depan yang berkelanjutan.

Tanggung jawab sosial perusahaan menjadi semakin relevan dalam konteks global saat ini, ketika perusahaan memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap masyarakat dan lingkungan tempat mereka beroperasi. Penerapan tanggung jawab sosial tidak hanya mencakup aspek ekonomi, tetapi juga melibatkan upaya untuk berkontribusi secara positif terhadap masyarakat di sekitarnya. Praktik tanggung jawab sosial perusahaan dapat mencakup berbagai hal, seperti memperhatikan hak-hak pekerja, mendukung komunitas setempat, mengurangi dampak lingkungan, dan berkomitmen untuk transparansi dalam operasi bisnisnya.

Selain itu, etika lingkungan juga menjadi poin penting dalam upaya kita untuk melindungi dan melestarikan alam. Etika lingkungan melibatkan pertimbangan moral tentang

bagaimana kita berinteraksi dengan alam dan bagaimana kegiatan manusia dapat mempengaruhi ekosistem. Pentingnya etika lingkungan bukan hanya sekadar menjaga keseimbangan ekosistem, tetapi juga mencerminkan nilai-nilai manusia dalam menghargai keanekaragaman hayati dan memelihara bumi untuk generasi mendatang.

Dalam bab ini, kami akan menyelami lebih dalam mengenai konsep tanggung jawab sosial dan etika lingkungan, serta relevansinya dalam berbagai sektor dan tingkatan masyarakat. Kami akan mengidentifikasi aspek-aspek utama dari tanggung jawab sosial perusahaan dan tanggung jawab sosial individu, serta memeriksa manfaat yang dapat diperoleh dari penerapan prinsip-prinsip ini. Selain itu, kami akan menyoroti tantangan dan hambatan yang mungkin dihadapi dalam menerapkan tanggung jawab sosial dan etika lingkungan, serta mencari solusi untuk mengatasinya.

Di samping itu, kami akan membahas peran pemerintah dalam mendorong tanggung jawab sosial dan etika lingkungan melalui kebijakan dan regulasi yang tepat. Peran perusahaan multinasional juga akan menjadi bagian penting dalam konteks global, karena dampak mereka tidak terbatas pada satu negara saja, tetapi menyebar ke berbagai negara di seluruh dunia.

Bab ini juga akan menyajikan studi kasus dari perusahaan-perusahaan yang telah berhasil menerapkan tanggung jawab sosial dan etika lingkungan, sehingga kita dapat memahami dampak positif yang dihasilkan dari upaya mereka. Selain itu, kita juga akan mempertimbangkan pentingnya keterlibatan individu dalam mengadopsi prinsip-prinsip tanggung jawab sosial dan etika lingkungan dalam kehidupan sehari-hari.

Dengan demikian, bab ini bertujuan untuk memberikan wawasan mendalam tentang tanggung jawab sosial dan etika lingkungan, serta mendorong kesadaran tentang pentingnya

memprioritaskan isu-isu lingkungan dan sosial dalam pengambilan keputusan di berbagai tingkatan. Semoga bab ini dapat menjadi referensi berharga bagi para pembaca dalam memahami bagaimana tanggung jawab sosial dan etika lingkungan dapat menjadi pilar dalam menciptakan dunia yang berkelanjutan dan harmonis bagi seluruh makhluk hidup di bumi ini.

9.1 Definisi dan Aspek Tanggung Jawab Sosial dan Etika Lingkungan

9.1.1 Pengertian tanggung jawab sosial dan etika lingkungan secara umum

Tanggung Jawab Sosial (TJS) dan Etika Lingkungan adalah dua konsep yang saling terkait dalam konteks tanggung jawab perusahaan dan individu terhadap dampak sosial dan lingkungan dari aktivitas mereka. Tanggung jawab sosial mengacu pada kewajiban dan komitmen perusahaan atau individu untuk bertindak secara etis dan memberikan kontribusi positif kepada masyarakat dan lingkungan di sekitarnya. Sedangkan etika lingkungan melibatkan pertimbangan moral tentang bagaimana kita berinteraksi dengan alam dan bagaimana kegiatan manusia dapat mempengaruhi ekosistem (Suprpto *et al.*, 2023).

Tanggung jawab sosial berarti bahwa perusahaan atau individu harus mempertimbangkan tidak hanya keuntungan finansial, tetapi juga dampak sosial dan lingkungan dari kegiatan bisnis atau aktivitas mereka. Dengan adanya tanggung jawab sosial, perusahaan diharapkan untuk berkontribusi positif bagi masyarakat di sekitarnya, seperti menciptakan lapangan kerja yang layak, mendukung program sosial, dan berinvestasi dalam proyek-proyek yang memberi manfaat bagi masyarakat.

Penerapan tanggung jawab sosial juga melibatkan upaya untuk mengurangi dampak negatif pada lingkungan. Ini termasuk praktik-praktik yang berkelanjutan, seperti penggunaan sumber daya yang lebih efisien, pengelolaan limbah yang bertanggung jawab, dan perlindungan terhadap keanekaragaman hayati.

Sementara itu, etika lingkungan mencakup pertimbangan moral tentang bagaimana manusia harus berperilaku terhadap alam dan makhluk hidup lainnya. Etika lingkungan menekankan pentingnya menghormati hak alam dan menanggapi isu-isu lingkungan secara bertanggung jawab. Ini mencakup perlakuan etis terhadap hewan, pengelolaan sumber daya alam dengan bijaksana, dan perlindungan terhadap ekosistem yang rentan.

Konsep tanggung jawab sosial dan etika lingkungan semakin penting di tengah meningkatnya kesadaran akan dampak negatif manusia terhadap lingkungan dan masyarakat. Dalam era globalisasi dan interkoneksi yang semakin kuat, isu-isu lingkungan dan sosial menjadi lebih kompleks dan global. Oleh karena itu, perusahaan dan individu harus mempertimbangkan implikasi jangka panjang dari tindakan mereka terhadap planet ini dan memastikan bahwa kegiatan mereka berada dalam batas-batas etika dan keberlanjutan(Mardijono, 2014).

Penting untuk diingat bahwa tanggung jawab sosial dan etika lingkungan bukan hanya tanggung jawab perusahaan besar atau pemerintah, tetapi juga tanggung jawab individu dalam kehidupan sehari-hari. Setiap orang memiliki peran dalam menjaga keberlanjutan lingkungan dan mempromosikan etika lingkungan, mulai dari meminimalkan limbah, menghemat energi, hingga mendukung produk dan layanan yang ramah lingkungan.

Selain itu, tanggung jawab sosial dan etika lingkungan juga dapat memberikan manfaat bagi perusahaan atau individu itu sendiri. Dengan mengadopsi praktik yang bertanggung jawab secara sosial dan lingkungan, perusahaan dapat meningkatkan citra merek, menarik lebih banyak pelanggan, dan mengurangi risiko hukum dan reputasi. Bagi individu, berperilaku etis dan bertanggung jawab terhadap lingkungan juga mencerminkan nilai-nilai moral yang baik dan dapat menciptakan dampak positif dalam komunitas tempat mereka tinggal.

Tanggung jawab sosial dan etika lingkungan juga memiliki keterkaitan erat dengan pembangunan berkelanjutan. Pembangunan berkelanjutan berarti memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri. Dalam konteks ini, tanggung jawab sosial dan etika lingkungan berfungsi sebagai panduan untuk memastikan bahwa kegiatan manusia mendukung keseimbangan sosial, ekonomi, dan lingkungan yang berkelanjutan.

Dalam bab ini, kita akan mengeksplorasi lebih lanjut tentang konsep tanggung jawab sosial dan etika lingkungan, serta implikasi dan aplikasinya dalam berbagai sektor dan tingkatan masyarakat. Dengan memahami pentingnya tanggung jawab sosial dan etika lingkungan, kita dapat mengembangkan kesadaran yang lebih kuat tentang dampak tindakan kita terhadap lingkungan dan masyarakat, serta berperan aktif dalam menciptakan dunia yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan bagi seluruh makhluk hidup.

9.1.2 Keterkaitan antara tanggung jawab sosial dan etika lingkungan dalam konteks modern

Keterkaitan antara tanggung jawab sosial dan etika lingkungan dalam konteks modern sangat erat dan saling mempengaruhi satu sama lain. Dalam era yang semakin kompleks ini, isu-isu lingkungan dan sosial semakin terlihat saling terkait dan tidak dapat dipisahkan. Kedua konsep ini menjadi penting karena dampak negatif aktivitas manusia terhadap lingkungan dan masyarakat semakin terasa dan kompleks. Berikut adalah penjelasan tentang keterkaitan antara tanggung jawab sosial dan etika lingkungan dalam konteks modern:

1. Tujuan Bersama untuk Kebijakan Berkelanjutan

Tanggung jawab sosial dan etika lingkungan berbagi tujuan yang sama, yaitu mencapai pembangunan berkelanjutan. Dalam hal ini, tanggung jawab sosial bertujuan untuk mengintegrasikan pertimbangan sosial, ekonomi, dan lingkungan dalam keputusan bisnis, sementara etika lingkungan menekankan pada perlindungan dan pelestarian lingkungan. Keduanya bekerja bersama untuk menciptakan lingkungan yang berkelanjutan bagi generasi mendatang.

2. Dampak Sosial dan Lingkungan dari Aktivitas Bisnis

Tanggung jawab sosial mempertimbangkan dampak sosial dari aktivitas bisnis, seperti pengaruhnya terhadap karyawan, masyarakat, dan konsumen. Sementara itu, etika lingkungan menekankan dampak lingkungan dari operasi perusahaan, seperti penggunaan sumber daya alam dan emisi karbon. Keterkaitan ini menuntut perusahaan untuk mempertimbangkan kedua aspek ini dalam mengambil keputusan bisnis.

3. Transparansi dan Akuntabilitas

Dalam konteks modern yang cenderung transparan, tanggung jawab sosial dan etika lingkungan memainkan peran penting dalam meningkatkan akuntabilitas perusahaan. Perusahaan yang berkomitmen terhadap tanggung jawab sosial akan lebih terbuka tentang dampak sosial dari operasi mereka, sedangkan perusahaan yang menerapkan etika lingkungan akan lebih transparan mengenai dampak lingkungan dari kegiatan mereka.

4. Keberlanjutan Bisnis

Penerapan tanggung jawab sosial dan etika lingkungan juga berkontribusi pada keberlanjutan bisnis jangka panjang. Perusahaan yang mempertimbangkan dampak sosial dan lingkungan cenderung lebih baik dalam menghadapi perubahan lingkungan dan permintaan pasar yang semakin tinggi akan keberlanjutan.

5. Peran Konsumen

Dalam konteks modern, konsumen semakin sadar akan dampak lingkungan dan sosial dari produk dan layanan yang mereka beli. Konsumen cenderung lebih mendukung perusahaan yang memiliki tanggung jawab sosial dan menerapkan etika lingkungan, dan sebaliknya, mereka dapat menghindari perusahaan yang dianggap tidak bertanggung jawab secara sosial atau lingkungan.

6. Pengaruh Regulasi

Keterkaitan antara tanggung jawab sosial dan etika lingkungan juga tercermin dalam pengaruh regulasi pemerintah. Di banyak negara, perusahaan diwajibkan untuk mematuhi standar sosial dan lingkungan tertentu, dan

etika lingkungan sering kali menjadi bagian dari kerangka regulasi ini.

7. Risiko Reputasi

Dalam era media sosial dan akses informasi yang mudah, risiko reputasi perusahaan menjadi lebih signifikan. Perusahaan yang terbukti tidak bertanggung jawab secara sosial atau lingkungan dapat menghadapi kemarahan masyarakat dan penurunan kepercayaan konsumen, yang berdampak pada citra merek dan keberlangsungan bisnis.

Dalam konteks modern, keterkaitan antara tanggung jawab sosial dan etika lingkungan menjadi semakin penting karena kompleksitas tantangan lingkungan dan sosial yang semakin meningkat. Perusahaan dan individu perlu memahami bagaimana keduanya berinteraksi dan saling mempengaruhi dalam rangka mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan dan menciptakan dampak positif bagi lingkungan dan masyarakat. (Suprpto *et al.*, 2023)

9.1.3 Aspek-aspek utama dari tanggung jawab sosial perusahaan dan tanggung jawab sosial individu.

Tanggung jawab sosial adalah komitmen dan kewajiban perusahaan atau individu untuk bertindak secara etis dan berkontribusi positif terhadap masyarakat dan lingkungan. Dalam konteks tanggung jawab sosial perusahaan dan tanggung jawab sosial individu, terdapat beberapa aspek utama yang menjadi fokus dalam upaya menciptakan dampak positif bagi lingkungan dan masyarakat (Hudory and Taufiq, 2019). Berikut adalah penjelasan mengenai aspek-aspek utama dari tanggung jawab sosial perusahaan dan tanggung jawab sosial individu. Aspek-aspek Utama tanggung jawab sosial perusahaan:

1. Pegawai dan Kondisi Kerja

Aspek ini mencakup kesejahteraan dan hak-hak pekerja, seperti gaji yang adil, lingkungan kerja yang aman, kesempatan pengembangan karir, dan keadilan dalam hubungan kerja. Perusahaan diharapkan memprioritaskan kesejahteraan dan keselamatan karyawan agar dapat menciptakan lingkungan kerja yang produktif dan positif.

2. Lingkungan

Aspek ini melibatkan langkah-langkah untuk mengurangi dampak negatif pada lingkungan. Perusahaan diharapkan mengelola limbah dengan bijaksana, menggunakan sumber daya alam secara efisien, serta menerapkan praktik ramah lingkungan untuk meminimalkan jejak karbon dan polusi.

3. Keterlibatan dengan Komunitas

Perusahaan memiliki tanggung jawab untuk berkontribusi positif pada komunitas lokal atau di wilayah operasinya. Ini dapat dilakukan melalui dukungan terhadap pendidikan, kesehatan, kegiatan sosial, atau bantuan dalam situasi darurat.

4. *Governance* dan Transparansi

Aspek ini mencakup praktik tata kelola perusahaan yang baik dan transparansi dalam pelaporan kinerja sosial dan lingkungan. Perusahaan diharapkan mengikuti standar etika bisnis yang tinggi dan menjaga integritas dalam operasionalnya

5. Pemasaran dan Komunikasi

Tanggung jawab sosial perusahaan mencakup cara perusahaan memasarkan dan berkomunikasi dengan konsumen. Perusahaan diharapkan tidak menyesatkan atau menipu konsumen mengenai produk atau layanan yang mereka tawarkan.

Aspek-aspek Utama tanggung jawab sosial individu:

1. Kesadaran Lingkungan

Aspek ini mencakup kesadaran individu terhadap isu-isu lingkungan dan bagaimana perilaku mereka dapat mempengaruhi ekosistem. Kesadaran ini meliputi pengurangan penggunaan plastik, penghematan energi, dan partisipasi dalam kegiatan konservasi.

2. Etika Konsumen

Tanggung jawab sosial individu mencakup pemilihan produk dan layanan yang beretika dan ramah lingkungan. Individu diharapkan mempertimbangkan dampak lingkungan dan sosial dari pembelian mereka.

3. Partisipasi dalam Komunitas

Aspek ini melibatkan partisipasi aktif dalam komunitas dan berkontribusi pada kegiatan sosial atau lingkungan di sekitar mereka. Ini dapat berupa relawan di organisasi non-profit atau mendukung proyek komunitas yang berfokus pada keberlanjutan dan keadilan sosial.

4. Kesadaran Diri dan Lainnya:

Tanggung jawab sosial individu juga melibatkan kesadaran terhadap dampak perilaku dan tindakan mereka terhadap diri mereka sendiri dan orang lain. Ini termasuk menghormati hak asasi manusia, mempromosikan kesetaraan, dan menghindari perilaku yang merugikan orang lain.

5. Penggunaan Teknologi dan Media Sosial

Dalam era digital, tanggung jawab sosial individu juga melibatkan penggunaan teknologi dan media sosial dengan bijaksana. Individu diharapkan menggunakan media sosial untuk menyebarkan informasi positif dan mendukung isu-isu lingkungan dan sosial yang penting.

Kesadaran akan tanggung jawab sosial perusahaan dan tanggung jawab sosial individu semakin penting dalam menghadapi tantangan global, seperti perubahan iklim, kehilangan keanekaragaman hayati, dan kesenjangan sosial. Dengan memahami dan mengadopsi aspek-aspek utama dari tanggung jawab sosial ini, perusahaan dan individu dapat berkontribusi pada upaya menciptakan dunia yang lebih berkelanjutan dan lebih baik untuk generasi mendatang.

9.2 Peran dan Manfaat Tanggung Jawab Sosial

Ekologi adalah ilmu yang mempelajari hubungan antara makhluk hidup (organisme) dan lingkungannya. Ilmu ekologi membahas tentang cara-cara organisme beradaptasi dengan lingkungannya, bagaimana organisme berinteraksi dengan organisme lain dan bagaimana lingkungan berubah seiring waktu.

9.2.1 Peran tanggung jawab sosial dalam pembangunan berkelanjutan

Tanggung jawab sosial perusahaan memiliki peran yang krusial dalam mendorong dan mempromosikan pembangunan berkelanjutan. Pembangunan berkelanjutan merujuk pada upaya untuk memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri. Dalam konteks ini, tanggung jawab sosial perusahaan memiliki dampak yang signifikan dalam mengatasi tantangan lingkungan dan sosial yang semakin kompleks di era modern. Berikut adalah penjelasan mengenai peran tanggung jawab sosial dalam pembangunan berkelanjutan(Zsolnai, 2011)(Bucher, 2010).

1. Mendorong Inovasi Berkelanjutan

Praktik tanggung jawab sosial mendorong perusahaan untuk mencari solusi inovatif untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan masyarakat. Ini mendorong

pengembangan teknologi baru, proses produksi yang lebih efisien, dan praktik bisnis yang ramah lingkungan.

2. Meminimalkan Dampak Lingkungan

Tanggung jawab sosial menginspirasi perusahaan untuk mengadopsi praktik yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Dengan mengurangi konsumsi sumber daya alam, mengelola limbah dengan bijaksana, dan merancang produk yang tahan lama, perusahaan dapat meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

3. Menciptakan Nilai Jangka Panjang

Praktik tanggung jawab sosial membantu perusahaan untuk berfokus pada penciptaan nilai jangka panjang, bukan hanya keuntungan finansial singkat. Dengan mempertimbangkan dampak jangka panjang dari keputusan bisnis, perusahaan dapat menghindari risiko lingkungan dan sosial yang dapat merugikan citra merek dan kinerja finansial mereka.

4. Meningkatkan Hubungan dengan Stakeholder

Tanggung jawab sosial membantu membangun hubungan yang lebih kuat dengan berbagai pihak yang berkepentingan (*stakeholder*), seperti karyawan, konsumen, pemasok, dan masyarakat lokal. Dengan memperhatikan kebutuhan dan kepentingan stakeholder, perusahaan dapat membangun dukungan dan kepercayaan yang lebih besar.

5. Mengurangi Risiko Hukum dan Reputasi

Perusahaan yang mengabaikan tanggung jawab sosial berisiko menghadapi tuntutan hukum dan kerugian reputasi yang signifikan. Dengan mematuhi standar tanggung jawab sosial, perusahaan dapat menghindari sengketa hukum dan meraih reputasi yang lebih baik di mata konsumen dan masyarakat.

6. Mendorong Pertumbuhan Ekonomi yang Inklusif

Tanggung jawab sosial berkontribusi pada pembangunan ekonomi yang inklusif dengan menciptakan peluang kerja

dan mendukung komunitas setempat. Melalui praktik seperti pelatihan keterampilan dan dukungan terhadap usaha kecil dan menengah, perusahaan dapat membantu mengurangi kemiskinan dan ketidaksetaraan.

7. Transparansi dan Pelaporan

Praktik tanggung jawab sosial mendorong perusahaan untuk menjadi lebih transparan dalam pelaporan kinerja mereka terkait aspek sosial dan lingkungan. Ini membantu para pemangku kepentingan untuk memahami dampak positif dan negatif dari operasi perusahaan.

8. Mendukung Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs)

Tanggung jawab sosial berkontribusi pada pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*) yang ditetapkan oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa. Praktik tanggung jawab sosial, seperti mengurangi emisi karbon, meningkatkan akses pendidikan, dan memerangi kemiskinan, mendukung beberapa SDGs secara langsung.

9. Memberikan Contoh bagi Industri Lain

Perusahaan yang mengambil langkah-langkah tanggung jawab sosial yang signifikan dapat menjadi contoh bagi industri lain. Dengan memimpin dengan teladan, perusahaan dapat membantu mempercepat perubahan positif dalam cara bisnis dilakukan secara global.

Dalam kesimpulannya, tanggung jawab sosial perusahaan memainkan peran yang sangat penting dalam membentuk arah pembangunan berkelanjutan. Dengan mengintegrasikan pertimbangan sosial dan lingkungan dalam keputusan bisnis mereka, perusahaan dapat berkontribusi pada penciptaan dunia yang lebih adil, berkelanjutan, dan

berdaya tahan dalam menghadapi tantangan global yang semakin kompleks.

9.2.2 Manfaat bagi Perusahaan dalam Menerapkan Tanggung Jawab Sosial

Menerapkan tanggung jawab sosial (TJS) memiliki sejumlah manfaat signifikan bagi perusahaan, yang tidak hanya mempengaruhi kinerja bisnis, tetapi juga reputasi dan dampak positif terhadap masyarakat dan lingkungan. Dalam konteks yang semakin kompleks dan penuh tantangan ini, perusahaan yang menerapkan TJS mampu membangun fondasi yang kuat untuk keberlanjutan bisnis jangka panjang (Hudory and Taufiq, 2019). Berikut adalah penjelasan mengenai manfaat bagi perusahaan dalam menerapkan tanggung jawab sosial:

1. Meningkatkan Reputasi dan Citra Merek

Perusahaan yang secara aktif berkontribusi pada masyarakat dan lingkungan melalui TJS cenderung memiliki reputasi yang lebih baik dan citra merek yang positif. Hal ini dapat meningkatkan kepercayaan konsumen, meningkatkan loyalitas merek, dan memberikan keunggulan kompetitif di pasar.

2. Daya Tarik untuk Karyawan dan Retensi Bakat:

Menerapkan TJS dapat membuat perusahaan menjadi tempat yang lebih menarik bagi karyawan potensial. Individu cenderung lebih tertarik untuk bekerja di perusahaan yang memiliki komitmen terhadap keberlanjutan dan memberikan kontribusi positif kepada masyarakat. Selain itu, TJS juga dapat meningkatkan retensi karyawan dengan menciptakan lingkungan kerja yang bermakna dan berkontribusi pada tujuan yang lebih besar.

3. Inovasi dan Keunggulan Kompetitif

TJS dapat merangsang inovasi dalam perusahaan. Dengan berfokus pada keberlanjutan dan tanggung jawab sosial,

perusahaan perlu mencari solusi kreatif untuk mengurangi dampak lingkungan dan sosial mereka. Hal ini dapat membawa inovasi produk, proses, atau model bisnis baru yang memberikan keunggulan kompetitif di pasar.

4. Mengurangi Risiko Hukum dan Reputasi:

Dengan mematuhi standar etika bisnis yang tinggi dan memprioritaskan aspek-aspek tanggung jawab sosial, perusahaan dapat mengurangi risiko hukum dan kerugian reputasi yang mungkin muncul akibat pelanggaran etika atau dampak negatif pada masyarakat dan lingkungan.

5. Akses ke Modal dan Investasi

Investor semakin menganggap faktor tanggung jawab sosial sebagai pertimbangan penting dalam pengambilan keputusan investasi. Perusahaan yang menerapkan TJS dapat menarik perhatian investor yang menghargai komitmen terhadap keberlanjutan dan memilih untuk berinvestasi dalam entitas yang memiliki dampak positif.

6. Hubungan yang Baik dengan Pihak Terkait

Melalui TJS, perusahaan dapat membangun hubungan yang kuat dan harmonis dengan pihak terkait seperti pelanggan, pemasok, mitra bisnis, dan komunitas lokal. Praktik bisnis yang berfokus pada keberlanjutan dan dampak positif dapat menciptakan ikatan yang lebih dalam dan saling menguntungkan.

7. Efisiensi Operasional

TJS dapat memicu upaya untuk mengelola sumber daya secara lebih efisien, mengurangi limbah, dan meningkatkan efisiensi operasional. Ini dapat menghasilkan penghematan biaya jangka panjang dan mengurangi dampak lingkungan perusahaan.

8. Kepatuhan terhadap Regulasi:

Dengan menerapkan TJS, perusahaan cenderung lebih mematuhi peraturan dan regulasi terkait lingkungan dan

sosial. Ini membantu mengurangi risiko pelanggaran hukum dan sanksi yang mungkin timbul akibat tidak mematuhi regulasi yang berlaku.

9. Dukungan Komunitas dan Lisensi Sosial:

Menerapkan TJS memungkinkan perusahaan untuk berkontribusi pada kebutuhan masyarakat sekitar. Ini menciptakan ikatan positif dengan komunitas lokal dan dapat memberikan perusahaan "lisensi sosial" untuk beroperasi dengan dukungan masyarakat.

Dengan mengakui manfaat-manfaat ini, perusahaan semakin di dorong untuk mengadopsi praktik-praktik bisnis yang bertanggung jawab secara sosial dan lingkungan. TJS bukan hanya tentang kewajiban moral, tetapi juga merupakan strategi bisnis yang bijaksana untuk mencapai kesuksesan jangka panjang yang berkelanjutan.

9.2.3 Manfaat bagi Masyarakat dan Lingkungan dari Adopsi Tanggung Jawab Sosial

Adopsi tanggung jawab sosial oleh perusahaan dan individu memiliki dampak positif yang signifikan bagi masyarakat dan lingkungan. Penerapan praktik-praktik bertanggung jawab secara sosial memiliki potensi untuk menghasilkan perubahan positif yang dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat dan melestarikan lingkungan alam (Goel and Dewan, 2011)(Zsolnai, 2011). Berikut adalah penjelasan mengenai manfaat bagi masyarakat dan lingkungan dari adopsi tanggung jawab sosial:

1. Manfaat bagi Masyarakat

- a. Peningkatan Kesejahteraan Ekonomi: Perusahaan yang menjalankan tanggung jawab sosial seringkali memberikan kontribusi kepada komunitas melalui lapangan kerja, pelatihan, dan dukungan ekonomi. Ini

dapat meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan masyarakat di sekitar mereka.

- b. Peningkatan Akses ke Pendidikan dan Kesehatan: Perusahaan yang berinvestasi dalam tanggung jawab sosial sering mendukung program-program pendidikan dan kesehatan dalam komunitas. Hal ini dapat meningkatkan akses pendidikan dan perawatan kesehatan yang berkualitas bagi warga masyarakat.
- c. Pemberdayaan Masyarakat: Tanggung jawab sosial dapat memberdayakan masyarakat dengan memberikan pelatihan, keterampilan, dan dukungan untuk mengembangkan usaha kecil dan menengah. Ini membantu masyarakat menjadi lebih mandiri secara ekonomi.
- d. Peningkatan Infrastruktur dan Layanan: Perusahaan yang berfokus pada tanggung jawab sosial sering berkontribusi pada pengembangan infrastruktur dan penyediaan layanan dasar seperti air bersih, sanitasi, dan listrik bagi komunitas yang membutuhkan.
- e. Pembangunan Berkelanjutan: Dengan melibatkan masyarakat dalam inisiatif tanggung jawab sosial, perusahaan dapat membantu dalam pembangunan berkelanjutan yang berfokus pada keberlanjutan lingkungan, sosial, dan ekonomi.

2. Manfaat bagi Lingkungan:

- a. Pengurangan Dampak Lingkungan: Perusahaan yang menerapkan tanggung jawab sosial sering mengadopsi praktik bisnis yang lebih ramah lingkungan, seperti penggunaan sumber daya yang efisien, pengelolaan limbah yang baik, dan pengurangan emisi karbon. Hal ini membantu mengurangi dampak negatif pada ekosistem.

- b. Perlindungan Keanekaragaman Hayati: Melalui praktik-praktik yang bertanggung jawab secara lingkungan, perusahaan dapat berkontribusi pada pelestarian keanekaragaman hayati dan habitat alam. Ini membantu menjaga keberlanjutan ekosistem dan memelihara flora dan fauna.
- c. Pengembangan Teknologi Hijau: Praktik tanggung jawab sosial mendorong pengembangan teknologi yang lebih ramah lingkungan. Inovasi dalam teknologi hijau dapat membawa dampak positif dalam mengurangi polusi dan ketergantungan pada sumber daya alam yang terbatas.
- d. Dukungan untuk Energi Terbarukan: Perusahaan yang berinvestasi dalam tanggung jawab sosial seringkali mendukung pengembangan dan penerapan energi terbarukan. Hal ini berkontribusi pada transisi menuju sumber energi yang lebih berkelanjutan dan bersih.
- e. Edukasi dan Kesadaran Lingkungan: Perusahaan dengan tanggung jawab sosial seringkali berperan dalam meningkatkan edukasi dan kesadaran lingkungan dalam masyarakat. Ini membantu menciptakan generasi yang lebih peduli terhadap isu-isu lingkungan dan berkontribusi pada perubahan perilaku yang lebih berkelanjutan.

Secara keseluruhan, adopsi tanggung jawab sosial memiliki potensi untuk menciptakan dampak positif yang luas bagi masyarakat dan lingkungan. Dengan memprioritaskan kesejahteraan masyarakat dan keberlanjutan lingkungan dalam keputusan dan tindakan, perusahaan dan individu dapat menjadi agen perubahan yang berkontribusi pada dunia yang lebih baik dan lebih berkelanjutan.

9.3 Etika Lingkungan dan Perlindungan Lingkungan

9.3.1 Pengertian Etika Lingkungan dan Prinsip-Prinsip Utamanya

Etika lingkungan adalah cabang dari etika yang mempertimbangkan aspek moral dalam interaksi manusia dengan lingkungan alam. Ini mencakup pertimbangan mengenai bagaimana kita seharusnya berperilaku terhadap alam, hewan, dan ekosistem. Prinsip-prinsip utama etika lingkungan mencerminkan komitmen untuk menjaga keberlanjutan lingkungan dan menghormati semua bentuk kehidupan (Tanasescu and x, 2017)(Suprpto *et al.*, 2023). Beberapa prinsip utama etika lingkungan meliputi:

1. Keseimbangan Ekosistem: Etika lingkungan menghargai pentingnya keseimbangan ekosistem dan memahami bahwa semua makhluk hidup memiliki peran yang penting dalam menjaga keseimbangan alam.
2. Keanekaragaman Hayati: Prinsip ini menekankan pentingnya menjaga keanekaragaman hayati dan melindungi semua bentuk kehidupan, baik besar maupun kecil.
3. Penghormatan terhadap Hak Alam: Etika lingkungan mengakui hak alam untuk eksis dan berkembang tanpa gangguan manusia yang berlebihan.
4. Pertanggungjawaban Jangka Panjang: Prinsip ini menekankan perlunya mengambil keputusan yang mempertimbangkan dampak jangka panjang terhadap lingkungan dan memastikan ketersediaan sumber daya untuk generasi mendatang.

9.3.2 Pentingnya Etika Lingkungan dalam Mengambil Keputusan yang Berdampak pada Lingkungan

Etika lingkungan menjadi penting dalam mengambil keputusan yang berdampak pada lingkungan karena membantu memandu tindakan manusia sesuai dengan nilai-nilai moral yang menghormati alam dan makhluk hidup. Dalam menghadapi tantangan lingkungan seperti perubahan iklim, pencemaran, dan kerusakan habitat, etika lingkungan membantu mengatasi kepentingan jangka pendek dengan memprioritaskan keseimbangan jangka panjang dan keberlanjutan (Feronika *et al.*, 2020)(Mardijono, 2014).

Keputusan bisnis atau keputusan individu yang diambil tanpa pertimbangan etika lingkungan dapat menghasilkan dampak negatif yang tidak hanya merugikan lingkungan, tetapi juga masyarakat dan ekonomi. Etika lingkungan membantu mencegah degradasi lingkungan, hilangnya keanekaragaman hayati, dan konsekuensi sosial yang merugikan akibat tindakan yang tidak bertanggung jawab terhadap lingkungan.

9.3.3 Upaya Perlindungan Lingkungan Melalui Penerapan Etika Lingkungan

Penerapan etika lingkungan mendorong upaya perlindungan lingkungan yang lebih efektif dan berkelanjutan. Beberapa upaya perlindungan lingkungan yang dapat diwujudkan melalui penerapan etika lingkungan adalah sebagai berikut:

- a. Penggunaan Sumber Daya yang Bertanggung Jawab: Etika lingkungan mendorong penggunaan sumber daya alam dengan bijaksana, menghindari eksploitasi berlebihan, dan memastikan bahwa sumber daya tersebut tersedia untuk generasi mendatang.
- b. Praktik Pertanian dan Kehutanan Berkelanjutan: Etika lingkungan mendorong praktik pertanian dan kehutanan

- yang berkelanjutan, seperti menghindari deforestasi liar dan menggunakan teknik tanam yang ramah lingkungan.
- c. Penanggulangan Pencemaran: Dengan mengadopsi etika lingkungan, kita dapat mengurangi pencemaran dan polusi yang merugikan lingkungan dan kesehatan manusia.
 - d. Konservasi Keanekaragaman Hayati: Etika lingkungan mendorong upaya konservasi untuk melindungi spesies yang terancam punah dan menjaga keanekaragaman hayati.
 - e. Pemberdayaan Komunitas Lokal: Etika lingkungan dapat memotivasi kerja sama dengan komunitas lokal dalam upaya menjaga lingkungan mereka, seperti pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan.

Dalam menghadapi tantangan lingkungan yang semakin mendesak, etika lingkungan menjadi pedoman yang berharga dalam mengambil keputusan yang berdampak pada alam dan masyarakat. Melalui penerapan prinsip-prinsip etika lingkungan, kita dapat menciptakan dunia yang lebih berkelanjutan, seimbang, dan bermartabat bagi seluruh makhluk hidup (Starrs, 1984).

9.4 Prinsip-Prinsip Tanggung Jawab Sosial dan Etika Lingkungan

9.4.1 Prinsip-Prinsip Utama dalam Tanggung Jawab Sosial Perusahaan

1. Transparansi dan akuntabilitas

Perusahaan diharapkan untuk menjaga transparansi dalam operasional dan pelaporan mereka terkait dampak sosial dan lingkungan. Ini mencakup menyediakan informasi yang jelas tentang praktik bisnis dan upaya tanggung jawab sosial yang diambil serta siap untuk bertanggung jawab atas dampak yang dihasilkan.

2. Keterlibatan dengan pihak-pihak terkait (*stakeholders*)

Perusahaan harus memahami dan memenuhi kebutuhan dan harapan dari berbagai pihak yang terkait dengan bisnis mereka, seperti karyawan, konsumen, komunitas, dan pemegang saham. Melibatkan *stakeholders* dalam pengambilan keputusan dapat membantu menciptakan solusi yang lebih berkelanjutan.

3. Pengelolaan risiko lingkungan dan sosial

Perusahaan perlu mengidentifikasi dan mengelola risiko yang terkait dengan aspek sosial dan lingkungan dalam operasional mereka. Ini mencakup mengantisipasi dampak negatif potensial dan mengambil langkah-langkah pencegahan yang diperlukan.

4. Komitmen pada keanekaragaman dan kesetaraan

Prinsip ini mencakup komitmen perusahaan untuk menciptakan lingkungan kerja yang inklusif, adil, dan bebas dari diskriminasi. Ini mencakup perlakuan setara terhadap semua karyawan tanpa memandang latar belakang mereka.

5. Konservasi sumber daya dan efisiensi energi

Perusahaan perlu mengadopsi praktik berkelanjutan dalam penggunaan sumber daya alam dan energi. Ini mencakup pengurangan pemborosan, penggunaan bahan ramah lingkungan, dan penggunaan sumber energi terbarukan.

9.4.2 Prinsip-Prinsip Utama dalam Tanggung Jawab Sosial Individu terhadap Lingkungan

1. Kesadaran dan pendidikan lingkungan

Individu diharapkan untuk memiliki pengetahuan tentang isu-isu lingkungan dan dampaknya. Pendidikan lingkungan dapat membantu meningkatkan kesadaran dan pemahaman tentang tindakan individu terhadap lingkungan.

2. Pengurangan jejak lingkungan

Prinsip ini mencakup upaya individu untuk mengurangi jejak lingkungan mereka, seperti penggunaan energi yang hemat, pengurangan limbah, dan penggunaan transportasi berkelanjutan.

3. Pemilihan konsumsi berkelanjutan

Individu dapat mengambil langkah untuk mendukung praktik bisnis yang bertanggung jawab secara sosial dan lingkungan dengan memilih produk dan layanan yang ramah lingkungan dan dihasilkan secara etis.

4. Advokasi dan partisipasi

Individu dapat berperan sebagai advokat bagi isu-isu lingkungan dan sosial dengan berpartisipasi dalam kampanye, petisi, dan aksi-aksi yang mendukung perlindungan lingkungan dan keberlanjutan.

5. Penggunaan teknologi dengan bijaksana

Di era digital, individu diharapkan menggunakan teknologi dengan bijaksana dan mengurangi dampak negatifnya. Ini termasuk mengurangi penggunaan plastik elektronik dan menghindari konsumsi berlebihan.

9.4.3 Studi Kasus Perusahaan yang Berhasil Menerapkan Prinsip-Prinsip ini dan Hasil yang Dicapai

Contoh perusahaan yang berhasil menerapkan prinsip-prinsip tanggung jawab sosial dan etika lingkungan adalah Patagonia. Patagonia, sebuah merek pakaian luar ruangan, telah secara konsisten berkomitmen untuk keberlanjutan dan tanggung jawab sosial. Mereka menggunakan bahan-bahan ramah lingkungan, mendukung kampanye perlindungan lingkungan, dan menyumbangkan sebagian keuntungan mereka untuk tujuan konservasi (Patagonia, 2015; Dawson and Brunner, 2020; Sanna Viberg and Stephanie Balasingam, 2022).

Hasilnya, Patagonia telah membangun citra merek yang kuat dan mendapatkan kepercayaan pelanggan yang tinggi. Mereka juga berhasil menunjukkan bahwa bisnis yang bertanggung jawab secara sosial dan lingkungan tidak hanya berdampak positif pada masyarakat dan lingkungan, tetapi juga pada kinerja bisnis jangka panjang. Studi kasus ini menunjukkan bahwa perusahaan yang menerapkan prinsip-prinsip tanggung jawab sosial dan etika lingkungan dapat mencapai kesuksesan yang berkelanjutan, dengan memadukan keberlanjutan lingkungan dan tujuan bisnis yang menguntungkan.

9.5 Tantangan dan Hambatan dalam Menerapkan Tanggung Jawab Sosial dan Etika Lingkungan

9.5.1 Tantangan dalam Mengimplementasikan Tanggung Jawab Sosial Perusahaan

Menerapkan tanggung jawab sosial perusahaan tidak selalu mudah dan dapat melibatkan berbagai tantangan, antara lain:

1. Tingginya biaya awal

Upaya untuk meningkatkan praktik tanggung jawab sosial perusahaan sering kali membutuhkan investasi awal yang signifikan. Perusahaan perlu mengalokasikan sumber daya untuk melaksanakan perubahan dalam operasi, pengelolaan sumber daya, atau perlindungan lingkungan.

2. Kesulitan dalam mengukur dampak

Menilai dampak positif yang dihasilkan dari praktik tanggung jawab sosial bisa menjadi sulit. Mengukur kontribusi nyata terhadap masyarakat dan lingkungan, terutama dalam jangka pendek, bisa menjadi tantangan.

3. Ketidakpastian hasil

Beberapa perusahaan mungkin merasa ragu tentang hasil nyata dari investasi dalam tanggung jawab sosial. Mereka

mungkin merasa sulit untuk menghubungkan upaya tersebut dengan pertumbuhan bisnis atau pengembalian investasi yang langsung.

9.5.2 Kendala Etika Lingkungan dalam Memperjuangkan Perlindungan Lingkungan

Dalam upaya melindungi lingkungan, juga ada kendala etika yang sering kali dihadapi yaitu :

1. Konflik nilai

Dalam beberapa kasus, nilai-nilai etika individu atau kelompok dapat bertentangan dengan perlindungan lingkungan. Misalnya, situasi di mana perlindungan lingkungan dapat merugikan mata pencaharian manusia atau kebutuhan ekonomi lokal.

2. Isu prioritas

Lingkungan seringkali bersaing dengan kebutuhan dan masalah sosial lainnya dalam alokasi sumber daya. Memutuskan prioritas antara perlindungan lingkungan dan kebutuhan sosial bisa menjadi tantangan.

3. Dampak global dan lokal

Beberapa tindakan yang tampaknya positif dari sudut pandang global dapat memiliki dampak negatif di tingkat lokal atau sebaliknya. Ini dapat menghadirkan dilema etika dalam memutuskan bagaimana mengatasi dampak yang beragam ini.

9.5.3 Strategi dan Solusi untuk Mengatasi Tantangan dan Hambatan ini

1. Pendidikan dan kesadaran

Menyediakan pelatihan dan pendidikan tentang tanggung jawab sosial dan etika lingkungan kepada staf dan individu dapat membantu mengurangi ketidakpastian dan meningkatkan pengertian akan manfaat jangka panjang.

2. Kolaborasi dan kemitraan

Perusahaan dapat bekerja sama dengan pemerintah, LSM, dan komunitas lokal untuk mengatasi tantangan. Kolaborasi dapat membantu membagi biaya dan sumber daya serta memastikan pemahaman yang lebih baik tentang kebutuhan dan aspirasi setiap pihak.

3. Inovasi teknologi

Inovasi teknologi dapat membantu mengatasi tantangan praktis dan ekonomi dalam penerapan tanggung jawab sosial dan etika lingkungan. Teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan dapat membantu mengurangi biaya dan dampak negatif.

4. Penerapan kebijakan dan regulasi

Pemerintah dapat memainkan peran penting dengan memberlakukan regulasi yang mendorong praktik tanggung jawab sosial dan etika lingkungan. Ini dapat membantu menciptakan tingkat bermain yang adil dan mendorong semua perusahaan untuk berpartisipasi.

5. Pelaporan transparan

Mengadopsi praktik pelaporan transparan mengenai kinerja sosial dan lingkungan perusahaan dapat membantu mengatasi ketidakpastian dan merangsang persaingan positif di antara perusahaan-perusahaan dalam hal tanggung jawab sosial.

Dalam menghadapi tantangan dan hambatan dalam menerapkan tanggung jawab sosial dan etika lingkungan, penting bagi perusahaan dan individu untuk mengembangkan strategi yang sesuai dengan situasi dan tujuan mereka. Melalui pendekatan kolaboratif, inovatif, dan komprehensif, tantangan ini dapat diatasi dan kontribusi positif terhadap masyarakat dan lingkungan dapat tercapai (Tanasescu and x, 2017).

9.6 Penerapan Tanggung Jawab Sosial dan Etika Lingkungan dalam Skala Global

1. Implikasi Global dari Tanggung Jawab Sosial dan Etika Lingkungan

Implikasi global dari tanggung jawab sosial dan etika lingkungan mencerminkan pemahaman bahwa tindakan dan keputusan di satu wilayah dapat memiliki konsekuensi yang merambat ke wilayah lain. Perubahan iklim, degradasi lingkungan, dan isu-isu sosial seperti ketidaksetaraan dan kemiskinan menjadi perhatian global yang memerlukan solusi kolaboratif. Upaya untuk menjaga keberlanjutan dan menghormati etika lingkungan tidak hanya melibatkan individu dan perusahaan, tetapi juga melibatkan kerjasama lintas batas untuk mencapai dampak positif yang lebih besar.

2. Peran Perusahaan Multinasional dalam Menjaga Keberlanjutan dan Etika Lingkungan di Seluruh Dunia

Perusahaan multinasional memiliki peran yang sangat penting dalam menjaga keberlanjutan dan etika lingkungan di seluruh dunia. Karena aktivitas mereka melibatkan banyak negara, dampak mereka pada lingkungan dan masyarakat dapat sangat luas. Perusahaan multinasional memiliki tanggung jawab untuk memastikan bahwa operasi mereka mematuhi standar internasional yang tinggi terkait lingkungan, hak asasi manusia, dan etika bisnis. Mereka dapat memimpin dengan contoh dalam menerapkan praktik berkelanjutan dan berpartisipasi dalam inisiatif yang mendukung keberlanjutan global.

3. Peran Organisasi Internasional dan Inisiatif Lintas Batas dalam Mempromosikan Tanggung Jawab Sosial dan Etika Lingkungan

Organisasi internasional dan inisiatif lintas batas memiliki peran penting dalam mempromosikan tanggung jawab sosial dan etika lingkungan. Contohnya, Perserikatan

Bangsa-Bangsa (PBB) memiliki agenda Pembangunan Berkelanjutan 2030 yang menggarisbawahi pentingnya tanggung jawab sosial dan etika lingkungan dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan. Selain itu, lembaga seperti Bank Dunia dan Organisasi Buruh Internasional (ILO) berperan dalam memastikan bahwa praktik sosial dan lingkungan di seluruh dunia mematuhi standar internasional. Inisiatif lintas batas seperti Sistem Verifikasi Keberlanjutan (SVK) dan Label Lingkungan Internasional (LEI) juga membantu mengidentifikasi produk dan layanan yang memenuhi standar keberlanjutan dan etika lingkungan. Kolaborasi antara perusahaan, pemerintah, dan LSM internasional melalui platform-platform seperti Global Compact United Nations (Pakt Global PBB) berfungsi sebagai wadah bagi pemangku kepentingan untuk berdiskusi dan berbagi praktik terbaik dalam mengatasi isu-isu sosial dan lingkungan global (Bucher, 2010).

Dalam kesimpulannya, penerapan tanggung jawab sosial dan etika lingkungan dalam skala global mencerminkan pemahaman bahwa tantangan sosial dan lingkungan tidak mengenal batas negara. Perusahaan multinasional memiliki peran kunci dalam menjaga keberlanjutan di seluruh dunia, sementara organisasi internasional dan inisiatif lintas batas berfungsi sebagai katalisator untuk mempromosikan praktik berkelanjutan. Dengan kerjasama global, tanggung jawab sosial dan etika lingkungan dapat menjadi landasan untuk menciptakan dunia yang lebih berkelanjutan dan harmonis.

9.7 Pendekatan Pemerintah dalam Mendorong Tanggung Jawab Sosial dan Etika Lingkungan

Pemerintah memainkan peran krusial dalam mendorong tanggung jawab sosial dan etika lingkungan di tengah tantangan lingkungan dan sosial yang semakin kompleks. Melalui kebijakan dan regulasi yang tepat, serta upaya untuk mendukung etika lingkungan dan perlindungan lingkungan, pemerintah memiliki potensi besar untuk membentuk perilaku perusahaan dan individu dalam mencapai pembangunan berkelanjutan. Berikut adalah penjelasan mengenai pendekatan pemerintah dalam mendorong tanggung jawab sosial dan etika lingkungan.

1. Peran Pemerintah dalam Menciptakan Kebijakan dan Regulasi Terkait Tanggung Jawab Sosial Perusahaan.

Pemerintah memiliki kewenangan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan kebijakan serta regulasi yang mengatur tanggung jawab sosial perusahaan. Ini melibatkan pembuatan standar etika bisnis, lingkungan, dan sosial yang harus diikuti oleh perusahaan. Kebijakan ini dapat meliputi persyaratan pelaporan kinerja sosial dan lingkungan, tanggung jawab terhadap hak pekerja, serta dampak lingkungan dari operasi bisnis. Regulasi semacam ini memastikan bahwa perusahaan beroperasi dengan mempertimbangkan dampak mereka terhadap masyarakat dan lingkungan, dan juga menciptakan persaingan yang sehat dalam pasar.

2. Keterlibatan Pemerintah dalam Mendukung Etika Lingkungan dan Perlindungan Lingkungan.

Pemerintah memiliki peran penting dalam mendukung etika lingkungan dan perlindungan lingkungan dengan mengadopsi dan mempromosikan kebijakan yang mendukung keberlanjutan. Ini termasuk mengimplementasikan regulasi terkait penggunaan sumber

daya alam, pengelolaan limbah, pengurangan emisi karbon, dan pelestarian habitat alam. Pemerintah juga dapat mendorong inovasi teknologi yang ramah lingkungan melalui insentif dan bantuan. Selain itu, pemerintah dapat memfasilitasi pendidikan dan kesadaran masyarakat tentang pentingnya etika lingkungan dan perlindungan lingkungan.

3. Contoh Keberhasilan dan Tantangan dari Kebijakan Pemerintah Terkait Tanggung Jawab Sosial dan Etika Lingkungan

Contoh keberhasilan:

- a. Program Insentif Pajak untuk Keberlanjutan: Beberapa negara telah mengadopsi kebijakan pajak yang memberikan insentif kepada perusahaan yang menerapkan praktik berkelanjutan. Hal ini mendorong perusahaan untuk mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan tanggung jawab sosial mereka.
- b. Pembatasan Penggunaan Plastik Sekali Pakai: Beberapa pemerintah telah mengeluarkan larangan atau pembatasan terhadap penggunaan plastik sekali pakai. Ini merangsang inovasi dalam produksi dan penggunaan bahan pengganti ramah lingkungan serta membantu mengurangi polusi plastik.

Contoh tantangan:

- a. Ketidakkonsistenan Regulasi: Tantangan umum dalam mendorong tanggung jawab sosial dan etika lingkungan adalah ketidaksesuaian atau ketidakkonsistenan regulasi di berbagai wilayah. Ini dapat membuat perusahaan bingung dan mengurangi efektivitas regulasi tersebut.
- b. Ketidakeimbangan Antara Keuntungan dan Regulasi:** Beberapa perusahaan mungkin masih lebih fokus pada keuntungan finansial daripada mematuhi regulasi atau mengadopsi tanggung jawab sosial. Hal ini memerlukan penyesuaian pandangan jangka panjang perusahaan.

Maka kesimpulan yang bisa diambil adalah, Pendekatan pemerintah dalam mendorong tanggung jawab sosial dan etika lingkungan sangat penting untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan. Kebijakan dan regulasi yang tepat dapat membentuk praktik bisnis yang bertanggung jawab secara sosial dan lingkungan. Dengan mendukung etika lingkungan dan perlindungan lingkungan, pemerintah juga turut memastikan keberlanjutan lingkungan dan kehidupan yang lebih baik bagi generasi mendatang. Meskipun terdapat tantangan dalam implementasi, kerja sama antara sektor publik dan swasta dapat menciptakan dampak positif yang signifikan bagi masyarakat dan planet ini.

9.7 Kesimpulan

1. Ringkasan keseluruhan

Dalam dunia yang semakin kompleks ini, tanggung jawab sosial dan etika lingkungan telah muncul sebagai poin penting dalam menjaga keberlanjutan dan keseimbangan dalam masyarakat dan lingkungan. Tanggung jawab sosial memerlukan perusahaan dan individu untuk mempertimbangkan dampak sosial dari aktivitas mereka, sementara etika lingkungan menekankan perlunya menghormati dan melindungi lingkungan alam. Dua konsep ini tidak hanya saling terkait, tetapi juga saling memperkuat satu sama lain dalam menghadapi tantangan global yang semakin mendesak.

2. Pentingnya Adopsi dalam Masyarakat dan Lingkungan Berkelanjutan

Adopsi tanggung jawab sosial dan etika lingkungan sangat penting dalam menciptakan masyarakat dan lingkungan yang berkelanjutan. Tanpa pertimbangan etika lingkungan, manusia dapat dengan cepat merusak ekosistem yang

menyediakan kita dengan sumber daya penting. Tanpa tanggung jawab sosial, aktivitas bisnis dan individu dapat berkontribusi pada ketidaksetaraan sosial dan pengabaian terhadap kebutuhan masyarakat yang lebih luas. Keberlanjutan masyarakat dan lingkungan bergantung pada harmonisasi antara pertumbuhan ekonomi, kesejahteraan sosial, dan pelestarian lingkungan alam.

3. Peran Setiap Individu dan Pihak Terkait

Pentingnya tanggung jawab sosial dan etika lingkungan diperkuat oleh kesadaran bahwa setiap individu dan pihak terkait memiliki peran yang dapat berdampak besar. Individu dapat mengubah perilaku mereka dalam kehidupan sehari-hari, mulai dari pengurangan limbah hingga dukungan terhadap produk berkelanjutan. Perusahaan dapat merancang operasi mereka dengan mempertimbangkan dampak sosial dan lingkungan serta berpartisipasi dalam inisiatif berkelanjutan. Pemerintah memiliki peran dalam menciptakan regulasi yang mendorong tanggung jawab sosial dan etika lingkungan. Kesadaran dan tindakan kolektif dari berbagai pihak adalah kunci untuk menciptakan perubahan positif yang berkelanjutan.

Dalam dunia yang terus berkembang ini, tanggung jawab sosial dan etika lingkungan bukan hanya sekadar pilihan, tetapi menjadi keharusan dalam menghadapi tantangan sosial dan lingkungan yang semakin kompleks. Dengan mengadopsi prinsip-prinsip ini, kita dapat membentuk masa depan yang lebih baik, di mana harmoni antara manusia dan alam serta keadilan sosial menjadi landasan bagi perkembangan masyarakat yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bucher, S. 2010. 'The Role of Environmental Ethics and Educational Approaches', *Proceedings of The 4th International Conference on Teacher Education; Join Conference UPI & UPSI*, (November), pp. 8–10.
- Dawson, V.R. and Brunner, E. 2020. 'Corporate Social Responsibility on Wild Public Networks: Communicating to Disparate and Multivocal Stakeholders', *Management Communication Quarterly*, 34(1), pp. 58–84. Available at: <https://doi.org/10.1177/0893318919884920>.
- Feronika, E.S. *et al.* 2020. 'Tanggung Jawab Sosial Perusahaan Bidang Lingkungan', *Prosiding Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat*, 7(1), p. 1. Available at: <https://doi.org/10.24198/jppm.v7i1.28557>.
- Goel, B. and Dewan, B. 2011. 'Factors affecting consumer preferences of shopping at organised retail stores in Punjab', *Journal of Engineering, Science and Management Education*, 4, pp. 44–49. Available at: [http://nitttrbhupal.org/journal/volume4/Bharat Goel.pdf](http://nitttrbhupal.org/journal/volume4/Bharat%20Goel.pdf).
- Hudory, M. and Taufiq, M. 2019. 'Urgensi Etika Bisnis Dalam Wujudkan Tanggung Jawab Sosial Dan Lingkungan Perusahaan Sesuai Undang-Undang No. 40 Tahun 2007 Tentang Perseroan Terbatas', *Jurnal Ilmiah Living Law*, 11(1), p. 50. Available at: <https://doi.org/10.30997/jill.v11i1.1638>.
- Mardijono, H.A. 2014. 'Kajian Yuridis Mengenai Tanggung Jawab Sosial Dan Lingkungan', *Mimbar Keadilan, Jurnal Ilmu Hukum*, (40), pp. 29–38.
- Patagonia. 2015. 'Environmental & Social Initiatives 2015', p. 88. Available at: http://www.patagonia.com/pdf/en_US/ENV14-Printed_r2.pdf.

- Sanna Viberg and Stephanie Balasingam. 2022. 'Communicating Environmental CSR-Efforts in a Non-Sustainable Industry'. Available at: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1737899/FULLTEXT01.pdf>
- Starrs, C. 1984. 'Environmental ethics ... and beyond.', *Man-Environment Systems*, 14(1), pp. 7-24. Available at: <https://doi.org/10.9790/0837-2705080104>.
- Suprpto, Y. *et al.* 2023. 'Peran Etika, Keberlanjutan, dan Tanggung Jawab Sosial Perusahaan dalam Bisnis Internasional', *SEIKO: Journal of Management & Business*, 6(1), pp. 598-607. Available at: <https://doi.org/10.37531/sejaman.v6i1.3966>.
- Tanasescu, M. and x, x. 2017. 'Responsibility and the Ethics of Ecological Restoration', *Environmental Philosophy*, 14(2), pp. 255-274. Available at: <https://doi.org/10.5840/envirophil20179751>.
- Zsolnai, L. 2011. 'Environmental ethics for business sustainability', *International Journal of Social Economics*, 38(11), pp. 892-899. Available at: <https://doi.org/10.1108/03068291111171397>.

BAB 10

PENDIDIKAN LINGKUNGAN

Oleh Waode Azfari Azis

10.1 Pendahuluan

Makhluk hidup secara keseluruhan memainkan peran utama dalam menciptakan berbagai perubahan dalam sistem kehidupan. Namun, selama sejarah, kecuali manusia, makhluk hidup lainnya menyebabkan perubahan secara alami yang cenderung menjaga kelestarian, keseimbangan, dan harmoni. Manusia, di sisi lain, memiliki potensi dan kemampuan untuk menciptakan perubahan dengan cara yang berbeda, terutama karena pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang dimilikinya, serta perkembangan budaya secara umum. Seringkali perubahan yang diinduksi manusia sangat besar, drastis, bahkan dramatis. Terkadang, perubahan tersebut disengaja, bahkan jika diketahui bahwa hal itu dapat merugikan orang lain, makhluk hidup lain, atau merusak lingkungan, asalkan dianggap menguntungkan dalam jangka pendek (Darsono V, 1995).

Oleh karena itu, dalam studi lingkungan, kita tidak hanya mempertimbangkan hubungan timbal balik dan sebab-akibat, tetapi juga mengkaji apakah tindakan atau aktivitas kita memiliki manfaat dan risiko - baik bagi diri kita sendiri maupun bagi orang lain serta makhluk hidup lainnya. Jika tindakan tersebut memberikan manfaat dan risiko positif bagi semua pihak, maka tindakan tersebut dapat dianggap benar. Sebaliknya, jika tidak, tindakan tersebut dianggap salah. Dalam konteks ilmu lingkungan, ada pertimbangan etis mengenai benar atau salah, atau dengan kata lain, ilmu lingkungan adalah

ekologi yang disertai dengan pertimbangan moral mengenai benar atau salah. Karena itu, ilmu lingkungan harus mencakup dimensi "moral" alam dalam konteks moral manusia.

Belakangan ini, perhatian terhadap isu lingkungan telah meningkat menjadi sorotan utama di berbagai negara, terutama dalam konteks pencemaran dan degradasi lingkungan yang terungkap dalam beberapa laporan penelitian. Lingkungan, yang pada awalnya merupakan sumber kebahagiaan dalam kehidupan, sekarang malah menjadi sumber kekhawatiran dan kegelisahan. Sayangnya, yang ironisnya, hanya sedikit yang benar-benar tertarik dan peduli terhadap masalah lingkungan ini. Banyak anggota masyarakat saat ini menganggap fenomena, peristiwa, dan bencana lingkungan yang semakin sering terjadi sebagai hal yang lumrah dan tidak luar biasa. Ketidaknormalan sebagai penyebab terjadinya bencana lingkungan seringkali terabaikan dan tidak diperhatikan. Bencana lingkungan akan semakin dilupakan seiring berjalannya waktu. Mengapa situasi ini bisa terjadi?? Apakah sebenarnya lingkungan itu? Mengapa lingkungan tak begitu menarik perhatian banyak kalangan terdidik? Banyak pertanyaan yang dapat diajukan yang berkaitan dengan masalah lingkungan.

Penurunan kualitas lingkungan yang semakin mengkhawatirkan telah membahayakan kelangsungan hidup manusia dan makhluk lainnya. Seiring berjalannya waktu, cara manusia berinteraksi dengan lingkungan telah mengalami transformasi. Awalnya, manusia hidup berdampingan dengan lingkungan alam, tetapi seiring berjalannya waktu dan dorongan untuk memenuhi kebutuhan hidup, bahkan terkadang oleh keserakahan, manusia telah mulai memperlakukan lingkungan tanpa mempertimbangkan batasan daya dukungnya. Hasil dari perlakuan manusia terhadap lingkungan ini dapat dilihat dalam berbagai bencana

lingkungan yang telah terjadi. Oleh karena itu, semua pihak yang terlibat perlu melakukan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup secara serius dan berkelanjutan.

Permasalahan lingkungan hidup yang dihadapi oleh masyarakat, terutama di kota-kota besar, telah menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari. Situasi ini menciptakan kesan bahwa masyarakat mungkin kehilangan minat untuk memperhatikan isu lingkungan tersebut. Ketidakpedulian ini disebabkan oleh berbagai sebab, salah satunya adalah kurangnya pendidikan. Karena itu, diperlukan pendidikan mengenai lingkungan hidup dengan harapan bisa meningkatkan kesadaran masyarakat, terutama melalui pendidikan, dan akibatnya, meningkatkan keterlibatan aktif masyarakat dalam mengatasi masalah lingkungan hidup. Melalui pendidikan lingkungan, seseorang akan memiliki pemahaman tentang signifikansi lingkungan dan bagaimana lingkungan terhubung dengan aspek ekonomi, sosial, budaya, dan pembangunan. Oleh karenanya, bila pendidikan dipahami sebagai usaha sadar untuk membentuk sikap dan perilaku manusia, maka pendidikan lingkungan harus dipahami sebagai upaya untuk menggiring individu ke arah perubahan gaya hidup dan perilaku yang ramah lingkungan (Soerjani, 2008).

10.2 Pengertian Pendidikan Lingkungan

1. Berdasarkan UU RI No. 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional, disebutkan bahwa pendidikan adalah usaha sadar dan terencana untuk mewujudkan suasana belajar agar peserta didik secara aktif mengembangkan potensi dirinya untuk memiliki kekuatan spiritual keagamaan, pengendalian diri, kepribadian, kecerdasan, ahlak manusia serta keterampilan yang diperlukan dirinya, masyarakat bangsa dan Negara

(Undang Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003 Tentang Sistem Pendidikan Nasional, 2003).

2. Definisi awal pendidikan lingkungan yang disusun oleh IUCN/UNESCO pada tahun 1970 adalah sebagai berikut: "Pendidikan lingkungan merupakan suatu proses yang bertujuan untuk mengakui nilai-nilai dan menjelaskan konsep-konsep guna mengembangkan kemampuan dan sikap yang diperlukan untuk memahami serta menghargai hubungan yang saling memengaruhi antara manusia, budaya, dan lingkungan biofisiknya".
3. Menurut Konvensi UNESCO di Tbilisi pada tahun 1977, yang juga mengadopsi pernyataan UNESCO, pendidikan lingkungan adalah suatu proses yang bertujuan untuk membentuk masyarakat global yang memiliki kesadaran terhadap lingkungan dan isu-isu yang berkaitan dengan lingkungan tersebut. Masyarakat ini juga diharapkan memiliki pengetahuan, motivasi, komitmen, dan keterampilan yang memungkinkan mereka untuk berkontribusi secara individu maupun kolektif dalam mencari solusi untuk permasalahan lingkungan saat ini serta mencegah munculnya masalah-masalah lingkungan baru.
4. Pendidikan Lingkungan adalah proses di mana seseorang memperoleh pemahaman tentang lingkungan dan juga pengetahuan, keterampilan, nilai-nilai, pengalaman, dan motivasi yang memungkinkannya untuk bertindak secara individu atau bersama-sama dalam mengatasi tantangan lingkungan saat ini dan di masa depan.

Apabila diperhatikan atau diselidiki secara lebih mendalam, definisi ini mengindikasikan bahwa dalam pendidikan lingkungan, ada usaha untuk membimbing individu agar mengadopsi perubahan dalam gaya hidup dan perilaku

yang mendukung lingkungan. Pendidikan lingkungan memiliki tujuan untuk memperkuat pemahaman, motivasi, dan keterampilan yang didasari oleh kesadaran terhadap penggunaan sumber daya alam yang berkelanjutan dan bijaksana. Pendidikan lingkungan juga memiliki tujuan untuk membentuk sikap dan tindakan individu terkait dengan lingkungannya, dengan tujuan menciptakan manfaat bagi seluruh umat manusia di planet ini.

10.3 Sasaran Pendidikan Lingkungan

Lingkungan dapat memiliki dua pengertian:

1. Ketika kita berbicara tentang diri kita sendiri, lingkungan merujuk pada seluruh objek dan hubungannya yang kita abstraksikan dari pengalaman kita;
2. Ketika kita fokus pada sesuatu, lingkungan mengacu pada hal-hal di sekitarnya yang telah kita isolasi, dan dalam konteks ini, baik yang ada di luar maupun sekitar kita adalah bagian dari pengalaman kita sendiri, bukan dunia objektif yang terlepas dari pengamatan.

Lingkungan adalah hasil dari gabungan antara kondisi fisik, yang mencakup unsur-unsur seperti tanah, air, sumber daya energi surya, mineral, serta keberadaan flora dan fauna yang hidup di daratan dan lautan, bersama dengan struktur sosial yang diciptakan oleh manusia. Hal ini menjelaskan kepada kita bahwa lingkungan merupakan sumber penghasil dari setiap hal yang di butuhkan manusia untuk menunjang kebutuhan hidup dan sebagai tempat berkembang biak daripada makhluk hidup terutama manusia. Adalah suatu kenyataan pula, sejak kehidupan ada di muka bumi ini, manusia tak terlepas dari lingkungannya.

Lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan dan makhluk hidup, termasuk di

dalamnya manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi kelangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya, yang juga dapat berarti lingkungan hidup merujuk pada satu entitas ruang yang terdiri dari segala objek, kekuatan, kondisi, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang memiliki pengaruh terhadap kelangsungan hidup dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya (sesuai dengan Undang-Undang No. 23 tahun 1997). Lingkungan hidup merupakan sebuah sistem yang terdiri dari tiga sub-sistem, yaitu lingkungan alam (ekosistem), lingkungan sosial (sosiokultural), dan lingkungan buatan (teknosistem), di mana ketiga sub-sistem ini berinteraksi satu sama lain dan membentuk tingkat ketahanan yang diperlukan. Tingkat ketahanan masing-masing subsistem ini akan memiliki dampak pada keseimbangan ekosistem dan secara keseluruhan akan memengaruhi ketahanan lingkungan hidup. Kondisi ini akan memberikan jaminan untuk keberlanjutan, yang pada akhirnya akan meningkatkan kualitas hidup bagi semua makhluk yang ada dalam lingkungan tersebut (Daryanto, 2013).

10.4 Tujuan Pendidikan Lingkungan

Dalam menciptakan pendidikan lingkungan yang lebih baik diperlukan sebuah tujuan. Tujuan adalah apa yang ingin dicapai. Adapun yang ingin dicapai secara umum dengan memahami pendidikan lingkungan adalah :

1. Untuk membantu menggambarkan isu-isu yang berkaitan dengan kesadaran dan perhatian terhadap hubungan yang saling terkait antara aspek ekonomi, sosial, politik, dan ekologi baik di lingkungan perkotaan maupun di daerah pedesaan.

2. Untuk memberikan peluang kepada semua individu untuk mengeksplorasi pengetahuan, memperkaya nilai-nilai, mengembangkan sikap, memupuk komitmen, serta meningkatkan kemampuan yang diperlukan dalam rangka menjaga serta meningkatkan kondisi lingkungan.
3. Untuk menghasilkan pola tindakan yang inovatif dalam individu, kelompok, dan komunitas secara keseluruhan dalam rangka mengubah sikap dan perilaku terhadap lingkungan.

Dari uraian diatas, dapat disimpulkan bahwa dengan adanya pendidikan lingkungan, masyarakat dapat mengetahui isu-isu lingkungan secara global, dapat membentuk masyarakat yang eksploratif sehingga dapat menghasilkan menjadi sebuah tindakan sebagai sebuah tindak lanjut. Terdapat beberapa aspek yang akan tercapai ketika masyarakat sudah mengetahui tujuan dari pentingnya pendidikan lingkungan, antara lain :

1. Pengetahuan

Pengetahuan dikembangkan melalui konsep-konsep yang dimiliki oleh individu saat mereka berinteraksi dengan lingkungannya. Pengetahuan lebih mencerminkan pengalaman seseorang dalam menghadapi dunia daripada sekadar eksistensi dunia itu sendiri. Tanpa pengalaman, kemampuan seseorang untuk mengembangkan pengetahuan akan terbatas. Pengalaman ini mencakup tidak hanya pengalaman fisik, tetapi juga pengalaman kognitif dan emosional.

Berikut adalah definisi terkait dengan pengetahuan :

- a. Pengetahuan adalah kumpulan fakta yang dipandang sebagai suatu proses pembentukan yang terus-menerus, senantiasa berkembang, dan selalu berubah. –

- b. Pengetahuan yang kita miliki merupakan hasil konstruksi dari pengalaman dan pemahaman kita sendiri.
- c. Pengetahuan adalah bukanlah replika dari kenyataan (realitas).
- d. Pengetahuan bukanlah representasi dari realitas yang ada, melainkan selalu merupakan hasil dari proses kognitif individu dalam membangun pemahaman terhadap realitas melalui aktivitasnya.

2. Sikap

Sikap adalah representasi dari karakter seseorang yang muncul melalui tindakan fisik dan reaksi mental terhadap situasi atau objek tertentu. Sikap ini perlu dianalisis dengan sangat cermat karena gambaran yang muncul bisa dimanipulasi dengan cara tertentu yang pada akhirnya bisa membuat kita kehilangan pandangan terhadap situasi yang sebenarnya. Sikap dianggap sebagai serangkaian respons emosional terhadap suatu objek tertentu yang berasal dari pemikiran, pemahaman, dan pengalaman individu, serta merupakan tindakan yang tidak selalu terbuka. Jika kita sudah mengetahui sikap seseorang, kita dapat memprediksi kemungkinan perilaku yang akan dia tunjukkan dan sejauh mana dia akan bersedia melakukan tindakan tertentu. Sikap dibentuk melalui interaksi dengan individu lain, termasuk dalam berbagai konteks seperti rumah, sekolah, tempat ibadah, atau tempat lainnya. Interaksi ini bisa melibatkan nasihat, contoh, atau komunikasi verbal. Sikap merupakan penafsiran terhadap perilaku dan kecenderungan untuk mengambil tindakan. Maka, apabila seseorang memiliki sikap yang positif terhadap suatu objek, ia lebih mungkin bersedia memberikan bantuan, memberikan dukungan, mendekat,

dan menerima objek tersebut dengan tujuan mencapai keseimbangan.

Menciptakan sikap tersebut dapat dilakukan dengan mengungkapkan pemikiran atau reaksi melalui komunikasi lisan atau tertulis, yang mungkin muncul dalam dua bentuk, yakni sikap dualisme (ganda). Ini berarti ada perbedaan antara apa yang ada dalam pikiran atau hati, dan apa yang benar-benar disampaikan: ada yang hanya disimpan dalam hati dan ada pula yang diungkapkan sesuai dengan apa yang terdapat dalam pikiran.

Sikap dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yakni :

- a. Sikap yang bersifat fisik, mencakup tindakan dan gerakan fisik, serta
- b. Sikap yang bersifat non-fisik, yang sering disebut sebagai mentalitas, yang merupakan gambaran keadaan kepribadian seseorang yang tersembunyi dan memiliki kemampuan untuk mengarahkan tindakan-tindakan yang tidak tampak dan sulit dipahami.

3. Kepedulian

Sikap kepedulian terhadap lingkungan adalah faktor penentu dalam menentukan kondisi lingkungan, baik yang buruk maupun yang baik. Membiasakan sikap peduli terhadap lingkungan sangat penting untuk ditanamkan pada generasi muda sebagai persiapan dalam pengelolaan lingkungan hidup. Tindakan yang bersahabat dengan lingkungan timbul sebagai hasil dari kesiapan untuk bertindak. Kesiapan ini dipengaruhi oleh sikap, norma subjektif, dan kontrol perilaku yang dirasakan sebagai hambatan atau kemudahan dalam melakukan tindakan tertentu.

4. Keterampilan

Keterampilan berasal dari kata terampil yang berarti cakap, mampu, dan cekatan. Keterampilan merupakan

kemampuan yang berarti membantu setiap individu dalam mengembangkan kemampuan untuk mengenali dan menyelesaikan masalah lingkungan. Keterampilan dapat dijelaskan sebagai kemampuan individu dalam berbagai aspek seperti kecakapan, sikap, nilai, dan pemahaman, yang semuanya dianggap penting dalam mendukung kesuksesan dalam menyelesaikan tugas. Keterampilan merujuk pada serangkaian aktivitas yang bertujuan untuk mengelola dan mengoordinasikan informasi. Jenis keterampilan ini dapat dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu keterampilan fisik dan keterampilan intelektual. keterampilan membutuhkan pelatihan dan kemampuan dasar yang dimiliki setiap orang dapat lebih membantu menghasilkan sesuatu yang lebih bernilai dengan lebih cepat. Untuk meningkatkan pemahaman tentang lingkungan, individu yang memiliki keterampilan tertentu dapat mengajarkannya kepada siswa, yang merupakan generasi muda atau melalui proses pembelajaran yang dipandu oleh guru. Proses pembelajaran ini menekankan peran guru dalam mengelola pengalaman pembelajaran yang berfokus pada siswa.

5. Partisipasi

a. Pengertian

Terdapat beberapa definisi terkait dengan partisipasi, antara lain :

- 1) Partisipasi merupakan keterlibatan seseorang, baik secara pikiran maupun perasaan, dalam memberikan kontribusi pada proses pengambilan keputusan, terutama dalam masalah di mana individu tersebut memiliki tanggung jawab pribadi untuk tindakan tersebut.

- 2) Partisipasi adalah tindakan sukarela yang muncul dari kesadaran dan tanggung jawab terhadap kepentingan bersama atau kelompok.
- 3) Partisipasi adalah penggunaan waktu senggang untuk terlibat dalam aktivitas yang terkait dengan suatu kegiatan khusus.
- 4) Partisipasi adalah keterlibatan aktif dalam menggunakan atau menikmati fasilitas dan infrastruktur sosial yang tersedia.
- 5) Partisipasi adalah upaya aktif komunitas setempat dalam proses sosialisasi, pengambilan keputusan, atau pelaksanaan proyek-proyek pembangunan.
- 6) Partisipasi adalah bentuk keterlibatan seseorang secara mental dan emosional dalam mencapai tujuan, serta berbagi tanggung jawab dalam usaha tersebut.
- 7) Partisipasi adalah keterlibatan secara mental, emosional, dan fisik dari anggota dalam mengambil inisiatif dalam kegiatan yang dijalankan oleh organisasi, seperti sekolah.

Berdasarkan beberapa pengertian di atas, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa partisipasi merujuk pada keterlibatan individu secara mental, emosional, dan fisik dalam mengambil inisiatif terhadap kegiatan-kegiatan yang berkaitan dengan lingkungan. Terlibat dalam program pendidikan lingkungan merupakan elemen yang sangat krusial dalam mencapai sasaran pendidikan lingkungan. Individu yang aktif dalam program pendidikan lingkungan umumnya memiliki pemahaman yang lebih mendalam tentang pentingnya pelestarian lingkungan dan lebih termotivasi untuk melaksanakan tindakan konkret dalam melindungi alam. Meningkatkan partisipasi individu dalam

pendidikan lingkungan dapat ditingkatkan melalui beragam pendekatan pendidikan yang menarik dan inovatif, seperti memanfaatkan media yang menarik, kegiatan di luar ruangan, dan teknologi. Selain itu, penting juga untuk melibatkan setiap individu dalam perencanaan dan pelaksanaan pendidikan lingkungan, serta memberikan penghargaan dan pengakuan kepada mereka yang aktif berpartisipasi. Tindakan penghargaan dan pengakuan ini dapat memberikan motivasi dan insentif kepada siswa untuk lebih aktif dan terlibat dalam program pendidikan lingkungan (Schmieder, 1977).

b. Jenis-jenis partisipasi

Partisipasi dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu :

- 1) Partisipasi psikologis (*psychological participation*) adalah bentuk keterlibatan aktif dalam menggunakan pikiran dalam serangkaian aktivitas dengan tujuan khusus.
- 2) Keterlibatan fisik (*physical participation*) adalah bentuk partisipasi dari seseorang atau kelompok yang menggunakan tenaga mereka untuk terlibat dalam aktivitas tertentu dengan tujuan tertentu.
- 3) Partisipasi yang melibatkan aspek fisik dan mental (*physical and psychological participation*) adalah bentuk keterlibatan yang lebih komprehensif, yang mencakup keterlibatan dalam aktivitas baik secara fisik maupun mental secara bersamaan.
- 4) Partisipasi dengan kemampuan (*participation with skill*) adalah bentuk keterlibatan dari individu atau kelompok yang memiliki keahlian khusus yang mendukung kemampuan mereka.

- 5) Partisipasi dalam bentuk barang (*material participation*) adalah bentuk keterlibatan individu atau kelompok yang menyumbangkan barang yang mereka miliki untuk mendukung pelaksanaan kegiatan tersebut.
 - 6) Partisipasi dalam bentuk finansial (*money participation*) adalah bentuk keterlibatan di mana seseorang atau kelompok hanya menyumbangkan uang kepada kegiatan tanpa terlibat secara langsung dalam pelaksanaan kegiatan tersebut, mungkin karena mereka tidak dapat terlibat secara langsung (Dan, Mahasiswa and Kumurur, 2008).
- c. Faktor-faktor yang menyebabkan partisipasi
- Terdapat beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam partisipasi, yaitu:
- 1) Pengetahuan/kognitif, berupa pengetahuan tentang tema, fakta, aturan, dan ketrampilan membuat translation
 - 2) Kondisi situasional, seperti lingkungan fisik, lingkungan sosial, psikososial dan faktor-faktor sosial.
 - 3) Kebiasaan sosial, seperti kebiasaan menetap dan lingkungan.
 - 4) Kebutuhan, meliputi kebutuhan *approach* (mendekatkan diri), *avoid* (menghindari), dan kebutuhan individual.
 - 5) Sikap, meliputi pandangan/perasaan, kesediaan bereaksi, interaksi sosial, minat dan perhatian
- d. Prasyarat terjadinya partisipasi
- 1) Ketersediaan waktu yang memadai untuk berpartisipasi sangat penting. Ini berarti bahwa ada cukup waktu yang tersedia sebelum tindakan

diperlukan, dan partisipasi hampir tidak relevan atau tidak sesuai dalam situasi darurat.

- 2) Manfaat yang lebih tinggi daripada risiko. Ini berarti bahwa potensi keuntungan seharusnya melebihi risiko kerugian yang mungkin terjadi.
 - 3) Berkaitan dengan kepentingan siswa. Ini berarti bahwa bidang atau subjek partisipasi harus sesuai dan menarik.
 - 4) Kemampuan siswa. Ini berarti siswa harus memiliki pengetahuan, kecerdasan, dan pengetahuan yang cukup untuk dapat berpartisipasi.
 - 5) Kemampuan berkomunikasi timbal balik. Maksudnya para siswa haruslah mampu berkomunikasi timbal balik untuk berbicara dengan bahasa yang benar dengan orang lain.
 - 6) Tidak timbul perasaan terancam bagi kedua belah pihak. Artinya masing-masing pihak seharusnya tidak merasa bahwa posisinya terancam oleh partisipasi.
 - 7) Masih dalam lingkup fleksibilitas. Ini berarti partisipasi dalam mengarahkan tindakan dalam pembelajaran hanya diperbolehkan dalam konteks fleksibilitas pembelajaran yang memiliki batasan-batasan tertentu untuk mempertahankan kesatuan keseluruhan.
- e. Upaya menumbuhkan partisipasi
- Terdapat beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk menumbuhkan partisipasi :
- 1) Menerapkan prinsip pertukaran dasar adalah pendekatan yang didasarkan pada prinsip timbal balik manfaat yang langsung diperoleh oleh masyarakat.

- 2) Memberikan panduan dan kepercayaan kepada masyarakat melalui lembaga kemasyarakatan dengan memperhitungkan situasi sosial, sehingga mendorong motivasi masyarakat untuk berpartisipasi lebih kuat.
- 3) Kegiatan atau program yang dijalankan harus berperan sebagai pemicu yang dapat meningkatkan keterlibatan dan kontribusi sukarela masyarakat.
- 4) Rancangan program kegiatan harus memiliki kesederhanaan yang memungkinkan pemahaman mudah oleh masyarakat, sehingga mempermudah partisipasi mereka.
- 5) Harmonisasi program-program yang akan diimplementasikan dengan aspirasi yang sedang berkembang dalam masyarakat.
- 6) Mengikutsertakan masyarakat dalam membuat suatu rencana dan keputusan.

10.5 Prinsip-Prinsip Pendidikan Lingkungan

Prinsip-prinsip pendidikan lingkungan adalah sebagai berikut, yakni pendidikan lingkungan:

1. Merupakan suatu proses yang berlangsung sepanjang kehidupan;
2. Pendidikan yang berfokus pada alam dan penerapannya, dengan pendekatan yang bersifat interdisipliner dan holistik.
3. Pendidikan lingkungan adalah jenis pendidikan yang mengadopsi pendekatan holistik, bukan sekadar fokus pada satu topik saja.
4. Pendidikan lingkungan mengakui keterkaitan yang erat dan saling memengaruhi antara manusia dan sistem alam.

5. Dalam pendidikan lingkungan, lingkungan dipandang sebagai entitas komprehensif yang melibatkan aspek-aspek seperti sosial, politik, ekonomi, teknologi, etika, dimensi spiritual, dan keindahan.
6. Pendidikan lingkungan melibatkan pemahaman tentang sumber daya material dan energi, mengakui keterbatasan dan beragam aspek keberadaannya.
7. Mendorong partisipasi dalam proses pembelajaran melalui pengalaman.
8. Mengedepankan aspek tanggung jawab yang dijalankan secara aktif.
9. Menerapkan metode pengajaran dan pembelajaran yang inklusif, dengan fokus pada aktivitas praktis dan pengalaman langsung.
10. Pendidikan lingkungan terhubung dari masalah yang lokal hingga dimensi global, serta melibatkan aspek masa lalu, sekarang, dan masa yang akan datang.
11. Pengembangan pendidikan lingkungan harus mendapatkan peningkatan dan dukungan dari organisasi, lingkungan belajar yang terstruktur, dan institusi secara keseluruhan.
12. Mendorong perkembangan sensitivitas, kesadaran, pemahaman, kemampuan berpikir kritis, serta keterampilan pemecahan masalah.
13. Mendukung upaya untuk menjelaskan hal-hal yang bermanfaat dan mengembangkan nilai-nilai sensitivitas terhadap lingkungan.
14. Berkaitan dengan pembentukan etika lingkungan.

Apabila dianalisis lebih mendalam, dapat dilihat betapa esensialnya pendidikan lingkungan, dan bahkan diungkapkan bahwa tujuannya tidak hanya terbatas pada berbagai jenis dan tingkat pendidikan, melainkan juga mencakup organisasi dan perusahaan dalam masyarakat. Selain itu, prinsip-prinsip

tersebut juga menandakan bahwa pendidikan lingkungan tidak sama dengan studi lingkungan atau ilmu lingkungan, sebagaimana banyak orang mungkin memahaminya selama ini. Pentingnya dicatat juga bahwa pendidikan lingkungan memiliki pendekatan multidisiplin (Noverita, Darliana and Darsih, 2022)

10.6 Pendidikan lingkungan adalah sebuah kebutuhan

Harus dipahami bahwa kondisi lingkungan yang bagaimanapun keadaannya memiliki pengaruh yang sangat signifikan bagi hidup dan kehidupan manusia. Berdasar pada hal ini pula maka berbagai upaya guna membangun komitmen dalam forum-forum internasional, baik dalam bentuk perjanjian bilateral maupun unilateral harus dilakukan. sudah waktunya lingkungan mendapatkan perhatian yang sungguh-sungguh. Merawat keadaan ekosistem lingkungan agar dapat mendukung kehidupan adalah tugas yang harus dilakukan oleh setiap individu yang tinggal di planet ini, tanpa pengecualian. Perhatian individu terhadap keadaan dan kualitas lingkungan memiliki peran yang sangat signifikan dalam menjaga kelangsungan hidup manusia dengan standar yang memadai. Perilaku perilaku yang berdampak pada kerusakan ataupun dapat menurunkan kualitas lingkungan sudah harus ditinggalkan.

Kepedulian terhadap lingkungan harus ditumbuh kembangkan. Pentingnya lingkungan hidup dalam kesadaran individu tercermin dalam tindakan dan perilaku mereka. Sikap mental terhadap lingkungan bukanlah talenta maupun instink bawaan, tetapi merupakan hasil dari suatu proses pendidikan dalam arti luas. Salah asuh ataupun salah didik terhadap seorang individu bisa jadi akan menghasilkan sikap mental yang kurang terpuji terhadap lingkungan. Karena itu, sikap mental yang baik harus ditanamkan pada setiap individu

sehingga pada saatnya sikap mental yang baik dan bertanggung jawab seperti yang diharapkan akan dapat menjiwai setiap tindak dan perilaku setiap individu.

Pertanyaan yang dapat muncul adalah bagaimana agar kita dapat memahami secara lebih baik lingkungan sekitar kita yang rumit? bagaimana agar kita dapat memelihara sumberdaya alam untuk generasi masa depan, sementara kebutuhan akan sumberdaya alam terus meningkat?. Masih banyak pertannya lain yang dapat muncul. Secara sederhana jawaban yang dapat diberikan atas pertanyaan tersebut adalah mereka membutuhkan pengetahuan yang akan membuatnya “melek lingkungan” yang mampu mengantarkannya kepada pemahaman lingkungan yang kompleks. Mereka juga membutuhkan keterampilan dan visi untuk dapat berbuat serta bertanggung jawab terhadap kondisi lingkungan yang mampu mendukung kehidupan seluruh makhluk secara layak. Dan yang tidak kalah pentingnya adalah “pendidikan”. Pendidikan memiliki kemampuan untuk membentuk pola pikir dan tingkah laku individu sesuai dengan harapan yang diinginkan sebagai manusia. Hal ini karena manusia adalah makhluk yang berbudaya dalam arti memiliki kemampuan berpikir dan berkereasi guna meningkatkan kualitas kehidupannya. Melalui kemampuan tersebut, manusia akan menciptakan ilmu pengetahuan dan teknologi bermanfaat dalam kehidupannya. Fokus utama pendidikan adalah mengembangkan kedewasaan manusia, baik dalam aspek berpikir maupun bertindak, yang tercermin melalui perubahan dalam perilaku mereka (Hidup *et al*, no date).

Tantangan yang dihadapi adalah pelaksanaan pembelajaran untuk pengaplikasian pendidikan lingkungan. Implementasi pendidikan lingkungan saat ini masih beragam, dengan berbagai interpretasi tentang materi yang disampaikan kepada siswa. Hal ini disebabkan oleh ketidakadanya panduan

yang konsisten untuk diikuti, yang berakibat pada kurangnya fokus dalam pengajaran yang seragam mengenai apa yang seharusnya diajarkan. Adanya panduan yang konsisten akan membantu guru dalam merancang, mengadaptasi, dan memperbarui materi pembelajaran sesuai dengan kebutuhan yang dihadapi. Namun, kondisi ini seharusnya tidak menjadi hambatan dalam mengimplementasikan pendidikan lingkungan, terutama mengingat situasi lingkungan yang semakin mengkhawatirkan saat ini.

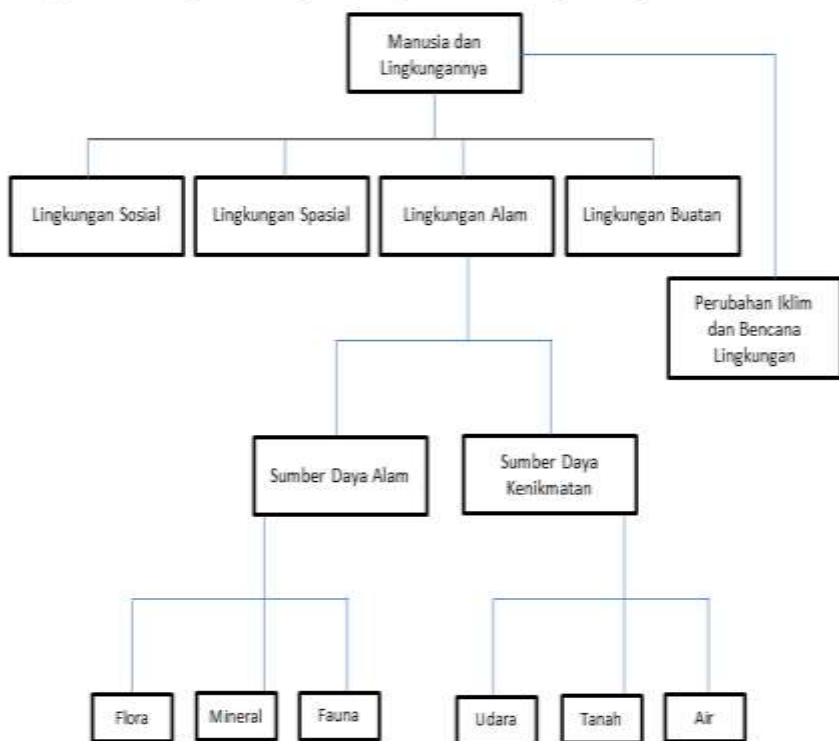
Jika kita perhatikan kurikulum pendidikan yang berlaku saat ini, sebenarnya telah mencantumkan materi-materi terkait dengan pendidikan lingkungan, meskipun belum secara eksplisit menguraikan materi inti yang harus disampaikan. Terlebih lagi, pendidikan lingkungan sering terintegrasi dengan mata pelajaran lain. Dalam konteks ini, peran guru menjadi sangat penting dalam menentukan materi yang akan diajarkan. Namun, permasalahan yang timbul adalah tidak semua guru memiliki pengetahuan dan kesadaran yang memadai tentang isu lingkungan. Konsekuensinya, materi pendidikan lingkungan mungkin tidak tercakup dalam pembelajaran yang mereka berikan. Kehadiran panduan standar yang dinyatakan dengan jelas setidaknya dapat mengurangi masalah seperti ini. Dalam hal ini, sangat penting bagi guru untuk memahami dan menyadari pentingnya memberikan pendidikan lingkungan kepada siswa (Nawawi, Amilda and Sari, 2017). Hal yang perlu dipahami oleh guru adalah pengembangan materi pendidikan lingkungan yang mengikuti prinsip "berpikir global, bertindak lokal". Pemahaman ini mutlak diperlukan karena isu lingkungan saat ini bukan hanya masalah lokal yang hanya mempengaruhi satu komunitas tertentu, tetapi telah menjadi masalah global yang melibatkan seluruh umat manusia dan negara. Manfaat lain dengan adanya standar materi ini, akan lebih memudahkan guru dalam menentukan lingkup materi

yang dibahas, terlebih bila adanya upaya sekolah untuk menyajikannya dalam satu mata pelajaran muatan lokal. Dengan adanya standar ini sangat dimungkinkan untuk mewujudkan capaian hasil yang sama dalam proses pembelajaran pendidikan lingkungan (Cholvistaria, 2012).

Pembelajaran pendidikan lingkungan yang diterapkan seharusnya bukan hanya tentang menyampaikan pengetahuan tentang lingkungan, tetapi juga harus memiliki beberapa tujuan yang lebih luas, termasuk ;

1. Membrantas kesenjangan antara pemahaman dan kesadaran tentang isu-isu lingkungan.
2. Membuat siswa menjadi sadar akan masalah lingkungan.
3. Mendorong siswa untuk memiliki kepedulian yang bertanggung jawab terhadap lingkungan.
4. Menginspirasi siswa untuk bertindak dan berkontribusi dalam menciptakan lingkungan yang layak, baik di tingkat lokal maupun global.

Secara substansi, cakupan pokok bahasan pendidikan lingkungan hidup di sekolah setidaknya harus mencakup hal hal sebagai berikut seperti terlihat dalam gambar bagan berikut :



Berdasarkan gambar bagan diatas lingkungan sosial merujuk pada semua lembaga sosial dan budaya, bentuk, pola, dan proses yang ada dan memengaruhi kehidupan individu atau masyarakat. Cara elemen-elemen ini beroperasi terkait dengan lokasi atau wilayah tempat mereka terjadi. Dengan demikian, berbagai materi yang dapat diberikan dalam konteks ini sangat beragam dan luas (Hamzah S, 2013).

Lingkungan spasial mengacu pada unsur-unsur seperti lokasi, jarak, kepadatan, arah, dan variasi yang ada dalam lingkungan fisik. Lingkungan alam menyangkut aspek-aspek seperti air, udara, makhluk hidup dan tak hidup, permukaan bumi, dan cahaya matahari. Lingkungan buatan berkaitan

dengan transformasi yang dilakukan manusia terhadap bentuk alam.

Perubahan iklim dan kebencanaan mencakup materi pembelajaran yang berkaitan dengan isu-isu perubahan iklim dan bagaimana hal itu memengaruhi manusia, terutama dalam konteks bencana yang dapat terjadi. Sementara kebencanaan menyangkut topik yang berkaitan dengan hal-hal terkait dengan keadaan darurat dan dampaknya.

Disamping itu, dengan merujuk pada referensi yang digunakan, terdapat beberapa pokok bahasan berikut ini yang dapat diberikan dalam pendidikan lingkungan, yaitu:

1. Ekosistem

Ekosistem adalah konsep yang menggambarkan semua sumber daya yang ada dalam lingkungan kita, baik yang bersifat fisik maupun non-fisik, yang saling berinteraksi dan berkaitan satu sama lain dalam proses menciptakan dan menjaga kondisi lingkungan yang dapat mendukung kehidupan manusia. Ini mencakup tidak hanya elemen-elemen fisik seperti alam dan unsur-unsur non-fisik seperti aspek-aspek sosial dan lingkungan binaan.

2. Sumber Daya Lingkungan

Sumber Daya Lingkungan adalah topik yang mencakup berbagai jenis sumber daya lingkungan dengan karakteristik individu masing-masing. Ini terkait dengan bagaimana makhluk hidup menggunakan sumber daya ini dengan tingkat dan derajat yang berbeda, yang pada gilirannya mempengaruhi keadaan sumber daya tersebut. Tantangan utamanya adalah bagaimana memanfaatkan sumber daya ini dengan bijak agar kelangsungan sumber daya tetap terjaga dan menciptakan keseimbangan dalam lingkungan.

3. Daya Dukung Lingkungan

Bagian ini harus mencakup topik yang berkaitan dengan kapasitas dan batasan yang dimiliki oleh lingkungan, serta kemungkinan dampak yang dapat timbul akibat interaksi manusia dengan lingkungannya. Isi pembelajaran harus mencakup informasi tentang sumber daya lingkungan nonragawi yang memiliki keterbatasan, baik dalam hal ketersediaannya maupun dalam hal kemampuan regenerasinya.

4. Kepedulian

Isi yang perlu disampaikan mengenai kepedulian terkait dengan tujuan untuk mengembangkan kesadaran dan memupuk sikap peduli terhadap lingkungan. Siswa harus diberitahu tentang nilai lingkungan alam dan dianggap sebagai karunia kepada manusia, yang mengharuskan manusia untuk merawat dan menghargai lingkungan dengan benar. Pemahaman bahwa kita harus merasa memiliki lingkungan harus diinspirasi dan ditanamkan dalam diri siswa.

5. Partisipasi

Pendidikan lingkungan harus memiliki kemampuan untuk menginspirasi keinginan individu untuk berperan aktif dalam menjaga dan memelihara lingkungan yang sehat dan sesuai untuk dihuni. Oleh karena itu, materi pembelajaran harus mencakup upaya untuk mempersiapkan semua orang agar mau peduli, berkontribusi, dan bertindak untuk menjaga keberlanjutan lingkungan.

6. Estetika

Estetika adalah salah satu kebutuhan nonfisik manusia yang perlu dipenuhi. Karena itu, materi mengenai lingkungan seharusnya memiliki potensi untuk menginspirasi individu untuk berkreasi dalam rangka menciptakan lingkungan yang indah dan menyenangkan.

Ini melibatkan penghargaan terhadap kecantikan lingkungan alam yang sudah ada serta upaya untuk meningkatkannya.

7. Kearifan Lokal

Setiap daerah, wilayah, atau kelompok etnis memiliki ciri khas dan pendekatan unik dalam menghadapi dan merawat lingkungannya. Oleh karena itu, penting untuk mengenalkan serta menginternalisasi pengetahuan tentang kearifan lokal dan cara masyarakat tertentu memandang serta merawat alam yang mengandung prinsip-prinsip yang berlaku secara universal kepada siswa.

8. Etika Lingkungan Pada bagian ini yang harus diajarkan adalah hal-hal yang berkaitan dengan tanggung jawab moral manusia terhadap lingkungannya yang terwujud pada perilakunya dalam memperlakukan lingkungan dengan segenap unsur atau pengada yang ada di dalamnya.

9. Pengambilan Keputusan terhadap Isu Lingkungan

Pengetahuan mengenai lingkungan dan masalah yang terkait dengannya harus menjadi bagian integral dari kurikulum pendidikan. Melalui pemahaman ini, siswa akan diberi arahan untuk mengembangkan kemampuan dalam membuat keputusan yang efektif terkait dengan isu-isu lingkungan yang memerlukan pertimbangan ekologi dan aspek-aspek sosial.

10. Kebencanaan

Penting bagi masyarakat Indonesia, yang sering mengalami bencana alam, untuk memiliki pemahaman yang benar tentang masalah kebencanaan, khususnya bencana alam. Pengetahuan ini penting dalam upaya mitigasi bencana alam. Dengan memahami bencana alam dengan benar, diharapkan masyarakat dapat mengurangi perilaku yang dapat memicu terjadinya bencana alam yang disebabkan oleh manusia. Selain itu, untuk bencana alam yang bersifat

katastrofik, pengetahuan ini diharapkan dapat membantu dalam mengurangi kerugian harta benda dan korban manusia yang terjadi akibat bencana tersebut (Hamzah S, 2013).

Topik yang telah dibahas di atas mengindikasikan bahwa tantangan yang muncul terkait dengan upaya menjaga keadaan lingkungan memiliki berbagai macam dimensi. Ini juga mengingatkan kita bahwa isu-isu yang terkait dengan lingkungan dan masalah yang timbul di dalamnya adalah sangat kompleks karena masalah lingkungan hidup tidak pernah berdiri sendiri, tetapi saling berkaitan dan saling memengaruhi satu sama lain antara satu aspek dengan aspek lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Cholvistaria, M. 2012. 'Penerapan Model Pembelajaran Berbasis Lingkungan Dalam Upaya Meningkatkan Keterampilan Proses Sains Siswa Sma Metro', *BIOEDUKASI (Jurnal Pendidikan Biologi)*, 3(1). Available at: <https://doi.org/10.24127/bioedukasi.v3i1.209>.
- Dan, S., Mahasiswa, K. and Kumurur, V.A. 2008. 'Hidup Kota Jakarta', 8(2), pp. 1–24.
- Darsono V. 1995. *Pengantar ilmu lingkungan*. Yogyakarta: Ando Offset.
- Daryanto. 2013. *Pengantar Pendidikan Lingkungan Hidup*. Yogyakarta: Gava Media.
- Hamzah S. 2013. *Pendidikan Lingkungan*. Bandung: PT Refika Aditama.
- Hidup, L. *et al.* (no date) 'PARTISIPASI SISWA DALAM IMPLEMENTASI THE STUDENTS PARTICIPATION IN THE IMPLEMENTATION OF LIVING', pp. 529–540.
- Nawawi, S., Amilda, A. and Sari, M.P. 2017. 'Pengaruh Model Pembelajaran Berbasis Proyek Terhadap Keterampilan Proses Sains Pada', *Jurnal Pena Sains Vol.*, 4(2), pp. 88–96.
- Noverita, A., Darliana, E. and Darsih, T.K. (2022) 'Pendidikan Lingkungan Hidup untuk Meningkatkan Ecoliteracy Siswa', *Jurnal Sintaksis*, 4(1), pp. 51–60. Available at: <http://jurnal.stkipalmaksum.ac.id/index.php/Sintaksis/article/view/248%0Ahttp://jurnal.stkipalmaksum.ac.id/index.php/Sintaksis/article/download/248/249>.
- Schmieder. 1977. *The Nature and Philosophy of Enviromental Education:Goal and Objectives, Trends in Environmental Education (UNESCO)*.

Soerjani, dkk. 2008. *Lingkungan; Sumberdaya Alam dan Kependudukan Dalam Pembangunan*. Jakarta: Universitas Indonesia.

UNDANG UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 20 TAHUN 2003 TENTANG SISTEM PENDIDIKAN NASIONAL. 2003. 'No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title', *Demographic Research*, 49(0), pp. 1-33 : 29 pag texts + end notes, appendix, referen.

BAB 11

SOLUSI DAN AKSI UNTUK LINGKUNGAN YANG LEBIH BAIK

Oleh Nurlita Pertiwi

11.1 Manusia dan Lingkungan Hidup

Interaksi antara manusia dan lingkungan hidup sangat kuat dan terjadi terus menerus sepanjang kehidupan. Lingkungan sebagai habitat makhluk hidup dan penyedia bahan pangan dan energi menyediakan berbagai jasa untuk keberlanjutan kehidupan di dunia. Namun demikian, kualitas lingkungan semakin menurun seiring dengan perkembangan manusia. Perkembangan teknologi dan industrialisasi yang terjadi pada seluruh negara di dunia mendorong eksploitasi sumber daya alam secara menerus. Aktivitas tersebut juga didorong dengan pertambahan penduduk dunia. Data jumlah penduduk dunia tahun 2020 menunjukkan angka empat kali lipat dibandingkan dengan data tahun 1951. Data jumlah penduduk tahun 1951 sebanyak dua miliar lebih dan tujuh puluh tahun kemudian jumlah ini berkembang hingga mendekati angka delapan miliar. Selanjutnya, data World Population Number tahun 2023 menunjukkan bahwa 59.22% penduduk dunia hidup di Benua Asia dengan tingkat kepadatan penduduk 153 jiwa per kilometer persegi. Negara China merupakan negara dengan populasi penduduk terbesar di dunia. Data menunjukkan bahwa sebanyak 17,2% penduduk dunia berada di negara ini dengan usia rata-rata penduduk adalah 39 tahun. Berbeda halnya dengan penduduk Indonesia, Data tahun 2023 menunjukkan bahwa jumlah penduduk

sebesar 277.799.752 jiwa atau 3.45% dari total penduduk dunia. Tingkat kepadatan penduduk sebesar 153 jiwa per kilometer persegi. Data sebanyak 51% populasi tersebut berada di perkotaan. Usia rata-rata penduduk Indonesia adalah 29.9 tahun.

Pertambahan penduduk berdampak serius terhadap keseimbangan sumber daya alam. Pemanfaatan sumberdaya oleh manusia telah berdampak terhadap kerusakan lingkungan baik yang bersifat global maupun lokal. Bahkan dengan semakin beragamnya kebutuhan manusia, industri di seluruh dunia semakin giat berinovasi dan mengeksplorasi sumber daya alam. Cadangan sumber daya alam pun semakin menipis dan membutuhkan waktu pemulihan yang lama.

Disisi lain, jumlah populasi manusia yang meningkat berdampak pada peningkatan pencemaran baik di darat, di laut dan di udara. Buangan limbah industri telah mencemari tanah dan lautan. Jumlah populasi yang bertambah memperkuat terjadinya kerusakan di setiap ekosistem biologis. Dengan pertumbuhan penduduk yang semakin cepat, maka akan membawa akibat kepada tekanan yang kuat terhadap sumber daya alam. Fakta pencemaran di lautan ditandai dengan adanya akumulasi plastik di cekungan laut secara meluas. Bentuk pencemaran tersebut dapat dikategorikan dalam empat tingkatan berdasarkan ukurannya yaitu megaplastik, makroplastik, mesoplastik, dan mikroplastik. Mikroplastik ditemukan di laut dan pesisir dan berinteraksi secara kimiawi dengan bahan polutan organik serta logam. Akibatnya terjadi peningkatan kepadatan mikroplastik pada perairan. Polutan plastik tersebut berdampak buruk pada aspek ekologi yaitu hilangnya keanekaragaman hayati, gangguan aktivitas ekonomi serta penurunan kualitas kesehatan manusia. Akumulasi sampah plastik pada ekosistem perairan dapat terjadi secara langsung dan tidak langsung oleh berbagai sumber. Dengan

kata lain terdapat sumber limbah dari daratan dan terdapat pula sumber di perairan. Polusi plastik yang berbasis darat utamanya bersumber dari limbah domestik, pariwisata dan aktivitas ekonomi lainnya (Thushari and Senevirathna, 2020).

Bahkan (Nikiema *et al.*, 2020) menguraikan bahwa 75% kandungan plastik di perairan bersumber dari daratan. Selain itu, sumber plastik yang terjadi di perairan disebabkan oleh pembuangan langsung limbah plastik di perairan. Armada kapal penangkap ikan merupakan salah satu penyebab peningkatan akumulasi plastik di perairan.

Kerusakan lingkungan di daratan juga sangat mencemaskan. Kerusakan hutan di seluruh dunia terjadi secara signifikan dan berlangsung terus menerus. Data antara tahun 2001 hingga 2022 menunjukkan bahwa telah terjadi kehilangan luasan hutan sebesar 23% di seluruh dunia akibat aktivitas deforestasi. Selanjutnya Indonesia merupakan negara yang menempati urutan kelima yang mengalami kerusakan hutan setelah Rusia, Brasil, Kanada dan Amerika Serikat.

Uraian di atas mengindikasikan bahwa perbaikan kualitas lingkungan adalah suatu langkah penting dalam menjaga keberlanjutan. Upaya perbaikan kualitas lingkungan terwujud dalam berbagai aksi baik yang bersifat lokal maupun yang bersifat global.

11.2 Solusi Peningkatan Kualitas Lingkungan Hidup

Pemecahan masalah atau solusi terhadap berbagai permasalahan lingkungan telah diterapkan oleh beberapa negara. Secara umum, solusi terhadap permasalahan kualitas lingkungan dapat dibagi dalam tiga bentuk yaitu solusi teknis, solusi sosial dan solusi kebijakan.

11.2.1 Solusi Teknis

Secara teknis, setiap permasalahan lingkungan harus diawali dengan kajian tentang mekanisme perubahan kualitas. Solusi ini terwujud sebagai prosedur penyelesaian masalah lingkungan yang didukung dengan berbagai teori dan kajian yang mengarah pada perbaikan kualitas lingkungan. Berikut ini, penulis menguraikan berbagai pemikiran tentang solusi teknis tersebut.

1. Permasalahan hutan di Indonesia terutama yang berlokasi di lahan gambut utamanya disebabkan oleh kebakaran. Mekanisme kehilangan potensi sumber daya hutan akibat kebakaran. Artikel (Pasaribu and Friyatno, 2008) mendeskripsikan bahwa kebakaran hutan yang terjadi pada lahan gambut di Provinsi Kalimantan Barat ditandai berlangsung dengan tiga bentuk yaitu : 1) Kebakaran yang diawali dengan adanya titik api akibat sifat lahan yang dapat menyimpan bara api. Kondisi ini menyulitkan proses pemadaman, karena api menyebar dengan mudah. Kebakaran hanya dapat diatasi jika terjadi hujan deras dan dapat menggenangi lahan. 2) Jika terjadi hujan dengan intensitas yang kecil dan volume air tidak cukup untuk menggenangi lahan, maka akan terjadi asap yang lebih besar, Kondisi ini akan meningkatkan risiko munculnya titik api baru. Pengendalian kebakaran hutan menjadi semakin sulit jika api menjalar pada lahan kritis. (Jaya *et al.*, 2021) menguraikan solusi teknis pengendalian kebakaran hutan di lahan gambut dengan dua cara yaitu restorasi hidrologi dan revegetasi. Restorasi hidrologi adalah kegiatan pembasahan lahan (rewetting) untuk mencegah peluang terjadinya kebakaran hutan atau memperkecil risiko penyebaran titik api. Salah satu teknik pembasahan gambut yang mudah diaplikasikan dengan teknologi sederhana adalah pembuatan sekat kanal (Canal

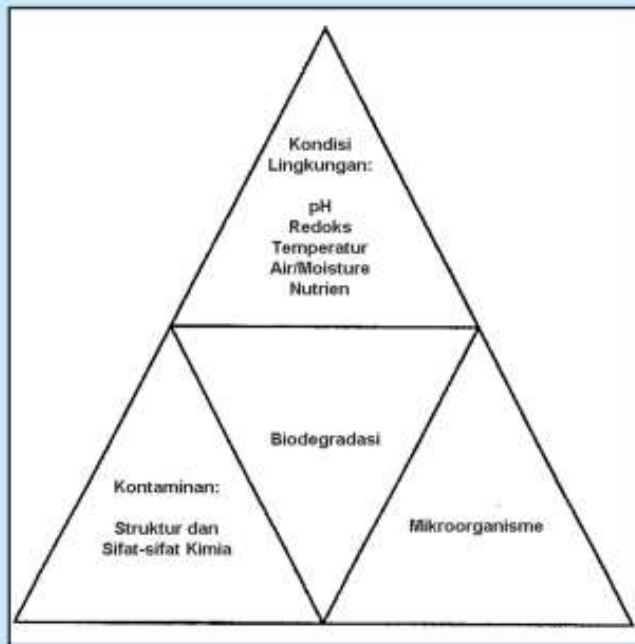
Blocking). Sekat kanal merupakan teknik penampungan air dengan menggunakan perangkat pengatur muka air pada kanal. Sekat berfungsi menahan air saat musim kemarau, sedangkan saat musim hujan, bangunan pelimpah pada sekat ini berperan membuang kelebihan air. Dengan adanya tampungan air, maka kandungan air pada lahan dapat dipertahankan atau kondisi basah pada tanah dapat mencegah kejadian kebakaran. Pembuatan sekat kanal dirancang dengan dukungan data sifat tanah, data curah hujan serta topografi lahan.

2. Pengelolaan sampah organik merupakan upaya yang harus dilakukan secara terus menerus. Pertumbuhan populasi dunia yang berdampak terhadap peningkatan volume sampah organik telah menyebabkan polusi air dan polusi tanah. Solusi teknis dalam pengelolaan sampah organik berkembang seiring dengan kemajuan teknologi. Setengah abad yang lalu, masyarakat Indonesia hanya mengenal teknik *composting* untuk mengelola sampah organik menjadi pupuk organik. Dalam dua dekade terakhir, peneliti telah menemukan berbagai teknik yang menghasilkan pupuk organik dalam bentuk padat dan cair. Teknik *Vermicomposting* atau proses dekomposisi sampah organik dengan bantuan cacing tanah (*Lumbricus robelius*). Proses ini berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan proses pengomposan konvensional. Mekanisme penghancuran sampah berlangsung dengan adanya enzim selulase yang membantu penguraian selulosa pada sampah. Enzim selulase merupakan protein yang bersumber dari sel hidup. Beberapa kajian menguraikan bahwa pemanfaatan cacing tanah dalam proses dekomposisi sampah organik dinilai efektif dibandingkan dengan proses pengomposan biasa. Teknologi ini mendukung program pertanian berkelanjutan dalam kaitan peningkatan kualitas

tanah. (Bhat, Singh and Vig, 2018), (Chaudhary, Bhandari and Shukla, 2004), (Sharma and Garg, 2018). Namun demikian, teknologi ini memiliki syarat khusus yaitu sampah organik bersifat halus, suhunya tidak panas dan tidak berbau (Pinasthi *et al.*, 2014).

3. Pengelolaan limbah plastik juga merupakan tindakan penyelamatan bumi dari risiko timbunan sampah. Salah satu bentuk teknologi yang dapat mengubah sampah plastik menjadi bahan yang bermanfaat adalah pirolisis. Teknologi ini merupakan proses kimiawi yang mengubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak. (Rafli *et al.*, 2017). Plastik yang merupakan susunan rantai panjang atom yang saling mengikat satu sama lain selanjutnya di urai kembali melalui proses pemanasan pada temperatur antara 400-800°C. Hasil dari proses ini adalah bahan bakar minyak yang dapat dimanfaatkan pada tingkat rumah tangga. Penerapan teknologi ini mensyaratkan kualitas bahan baku yang konsisten dalam hal kualitas dan kuantitasnya. Olehnya, sistem pengolahan ini harus ditunjang dengan teknik pemilahan bahan plastik yang menjamin volume masukan sampah (Qureshi *et al.*, 2020).
4. Permasalahan pencemaran tanah yang meluas akibat aktivitas domestik dan industri juga menuntut adanya solusi teknis. Remediasi merupakan teknologi yang diterapkan untuk pemulihan area yang tercemar. Teknologi ini dapat diterapkan secara fisik, kimia, biologi, termal atau kombinasi antara fisik, kimia dan biologi. Pemilihan metode remediasi berdasarkan jenis pencemaran, media serta akumulasi bahan pencemar. (Desrina, 2011), menguraikan berbagai teknologi remediasi untuk tanah yang tercemar minyak bumi yaitu bioremediasi, desorpsi termal dan soil washing. Bioremediasi tanah bertujuan untuk mengaktifkan kembali

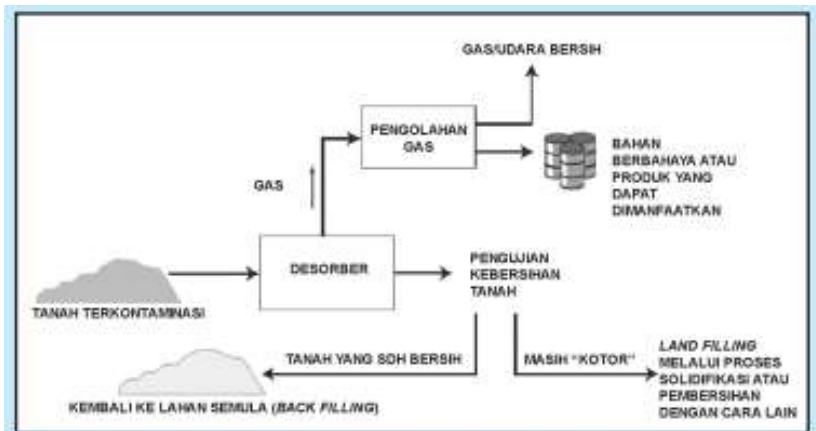
mikroorganisme yang terdapat pada lahan sehingga fungsi ekosistem lahan dapat dipulihkan. Teknik bioremediasi sederhana dilakukan dengan cara memasukkan oksigen ke dalam tanah untuk memperlancar respirasi mikroorganisme. Kandungan organik tersebut akan mempermudah proses detoksifikasi pada lahan. Proses pemasukan oksigen dilakukan dengan cara membajak tanah agar tanah menjadi gembur. Tingkat keberhasilan penerapan bioremediasi tergantung pada variabel yang terungkap pada gambar 11.1.



Gambar 1
Segitiga Bioremediasi

Gambar 11.1. Faktor penentu keberhasilan bioremediasi
(Desrina, 2011)

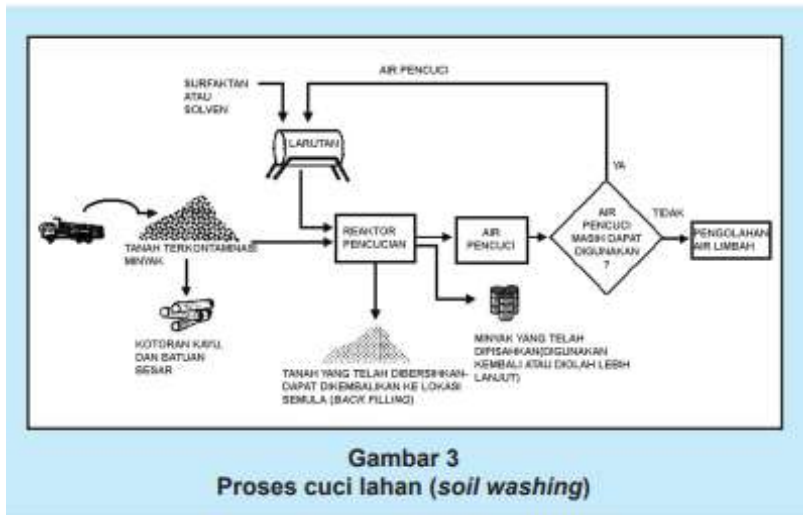
Metode desorpsi termal dilakukan untuk melepaskan minyak bumi yang terdapat di dalam tanah. Proses ini diterapkan dengan metode penguapan. Teknologi ini didukung dengan desorbed dan pengolahan gas (gambar 11.2). Teknik desorpsi termal efektif mengeluarkan bahan pencemar dengan jumlah besar pada waktu yang relatif singkat.



Gambar 2
Teknik remediasi tanah dengan cara desorpsi termal

Gambar 11.2. Teknik Remediasi Tanah dengan Cara Desorpsi Termal (Desrina, 2011)

Teknik soil washing atau pencucian lahan merupakan teknologi sederhana yang melepaskan bahan kontaminan yang sifatnya anorganik dan organik dengan partikel tanah yang halus. Pemisahan tersebut dilakukan dengan teknik pencucian berbasis air. (Gambar 11.3)



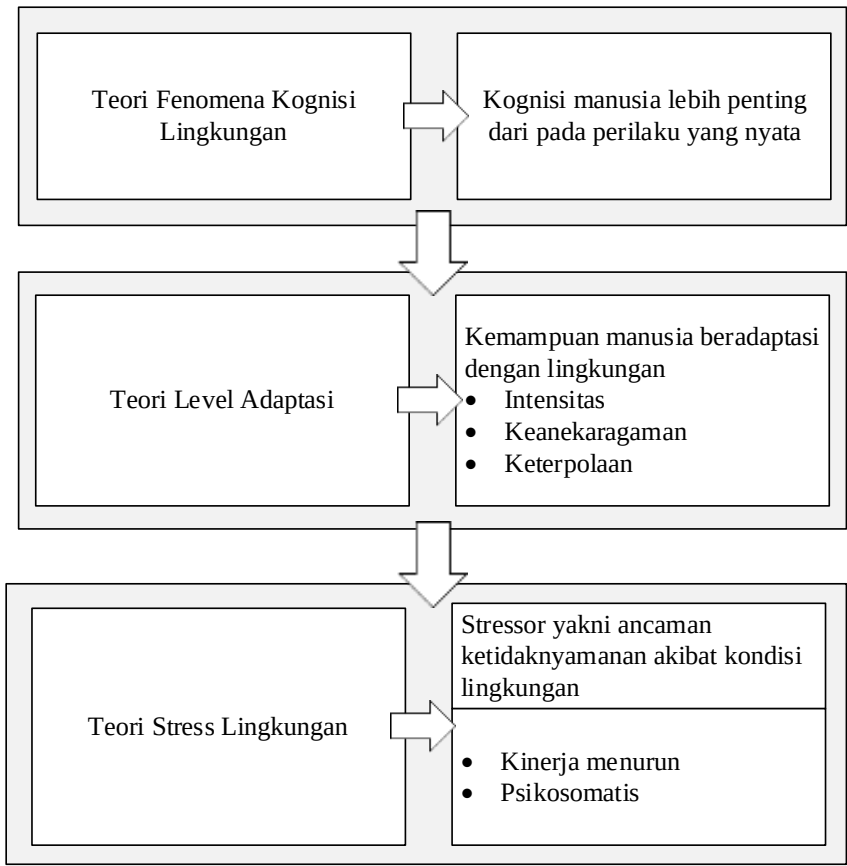
Gambar 11.3. Proses Cuci Lahan (*Soil Washing*) (Desrina, 2011)

Pemilihan metode teknis penanggulangan pencemaran tanah akibat minyak bumi tergantung pada biaya pemulihan, sumber daya manusia pengelola serta dampak akibat proses tersebut. Oleh karena itu, kegiatan ini memerlukan kajian khusus agar pencapaian sasaran efektif serta tidak berdampak lain terhadap lingkungan.

11.2.2 Solusi Sosial

Solusi sosial merupakan upayaelibatan masyarakat dalam mencapai kondisi lingkungan yang lebih baik. Pelibatan masyarakat tidak mudah terbentuk dan membutuhkan pola intervensi yang tepat. Solusi sosial harus diawali dengan pendekatan pendidikan lingkungan. Bentuk pendidikan tersebut berkembang dengan pendekatan psikologi sosial atau pemahaman akan kondisi psikologis seseorang ketika mengalami tekanan akibat buruknya keadaan sekitarnya.

Gambar 11.4 merupakan menguraikan tiga teori yang menjelaskan tentang perasaan dan usaha manusia ketika merasakan kondisi lingkungan yang buruk.



Gambar 11.4. Teori Psikologi Lingkungan diadaptasi dari (Bradley and Reser, 2017).

Teori fenomena kognisi lingkungan yang dikemukakan oleh Gestalt (Cassidy, 2013) menguraikan bahwa proses persepsi dan kognisi manusia lebih penting dibandingkan

perilaku yang ditunjukkan oleh manusia. Teori ini menunjukkan bahwa perilaku manusia merupakan hasil dari proses persepsi. Teori level adaptasi yang dikemukakan oleh Fishser (Craft and Fisher, 2016) bahwa terdapat tiga dimensi yang menghubungkan antara manusia dan perilakunya yaitu intensitas, keanekaragaman dan keterpolaan. Intensitas atau besar kecilnya beban lingkungan terhadap psikologi manusia seperti kondisi jumlah populasi dalam suatu ruang yang menyebabkan orang merasa tidak nyaman. Selain itu kondisi termal rumah yang bisa juga mempengaruhi kondisi psikologis orang. Selanjutnya keanekaragaman informasi yang diperoleh manusia pada suatu ruang juga akan mempengaruhi persepsi mereka atau kondisi psikologisnya. Ketiga keterpolaan atau adanya kondisi dengan pola yang tidak jelas dan sulit di prediksi. Kondisi lain yaitu terdapat pola yang sangat jelas dan menyebabkan manusia mudah memprediksi kondisinya

Teori stress lingkungan oleh (Lazarus and Cohen, 1977) menguraikan bahwa dalam kehidupan sehari-hari setiap orang mengalami stress akibat kondisi lingkungan. Kondisi tersebut mendorong seseorang untuk beradaptasi dengan mengeluarkan energi dan biaya. Kondisi lingkungan yang buruk berdampak terhadap gangguan psikosomatis dan secara tidak langsung menyebabkan penurunan kinerja. Stres lingkungan akan memaksa seseorang untuk mengatasinya dengan mengeluarkan energi dan biaya. Jika keadaan stres tersebut berlangsung dalam waktu yang lama, orang akan masuk fase ke tiga yaitu tahap kelelahan. Kondisi lingkungan yang buruk akan menyebabkan risiko penurunan kinerja bagi manusia. Oleh karena itu, upaya perbaikan kualitas lingkungan harus diatasi secara bersama oleh semua orang yang terlibat dalam suatu kawasan.

Berbagai bentuk solusi sosial dalam upaya peningkatan kualitas lingkungan diuraikan sebagai berikut:

1. Pemberdayaan masyarakat Pemberdayaan masyarakat di sekitar hutan dilakukan dengan mengembangkan kekuatan individu dan kekuatan sosial. Program tersebut dijalankan dengan mempertimbangkan kebutuhan dasar masyarakat, potensi produktif kawasan serta potensi partisipasi masyarakat. Pemberdayaan tersebut berbentuk sebagai pengembangan partisipasi dan bukan sebagai mobilisasi sosial. Oleh karena itu, pemberdayaan masyarakat dalam pemeliharaan ekosistem hutan diawali dengan peningkatan pengetahuan masyarakat tentang permasalahan hutan dan dampaknya terhadap kesejahteraan masyarakat lokal. Proses selanjutnya adalah pembentukan sikap positif terhadap pemeliharaan lingkungan yang menjadi pemicu keinginan masyarakat untuk terlibat dalam program perlindungan lingkungan (Damanik, 2019).
2. Pola pengelolaan sampah berbasis partisipasi masyarakat dapat terwujud dengan menerapkan prinsip partisipasi masyarakat. Prinsip tersebut adalah sukarela, keterlibatan emosi, dan manfaat. Prinsip sukarela mengandung makna bahwa keterlibatan akan terbentuk jika masyarakat merasakan manfaat dari pembangunan. Selain itu, kesadaran akan terbentuk jika masyarakat merasa mendapat kemandirian yang berkontribusi terhadap kesejahteraaannya. Proses tersebut dapat terbentuk dengan adanya institusi perantara (*mediating structure*) yang menjembatani individu dengan struktur pemerintah yang kompleks. Mediator tersebut dapat berwujud sebagai lembaga masyarakat (Sufianti, 2011).
3. Pengembangan kearifan lokal dan nilai-nilai tradisional juga menjadi salah satu bentuk intervensi sosial dalam peningkatan kualitas lingkungan. Beberapa bentuk kearifan lokal di Indonesia seperti Subak di Bali, Sasi di

Maluku dan Rimbo Larangan di Minangkabau telah terbukti efektif dalam menumbuhkan kesadaran masyarakat untuk menjaga lingkungannya. Internalisasi nilai kearifan lokal juga menjadi dasar bagi masyarakat dalam pengelolaan lingkungan hidup (Basuki et al., 2022).

11.2.3 Solusi Kebijakan

Kebijakan merupakan konsep atau asas yang menjadi panduan dalam melaksanakan pekerjaan atau proses kepemimpinan dalam suatu organisasi (Olssen, Codd and Anne-Marie, 2004). Dalam konteks pelaksanaan pemerintahan di Indonesia, kebijakan dapat berbentuk kebijakan nasional yang diterbitkan dalam undang-undang, peraturan pemerintah. Selain itu, kebijakan yang bersifat lokal dikenal sebagai peraturan daerah.

Secara nasional, pemerintah menerbitkan undang-undang yang mengatur pengelolaan lingkungan. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup merupakan kebijakan nasional yang menjadi acuan dalam upaya menjaga kualitas lingkungan. Dalam kebijakan tersebut terungkap bahwa pelaksanaan pembangunan tidak hanya berfokus pada pertumbuhan ekonomi. Pembangunan mempertimbangkan aspek lingkungan hidup dan sosial serta dapat menjamin tersedianya kesejahteraan serta mutu hidup generasi masa kini dan generasi masa depan. Kebijakan tersebut juga menguraikan tentang daya tampung dan daya dukung. Daya tampung mengarah pada kemampuan penyerapan zat, energi serta komponen lain yang masuk pada suatu ekosistem. Sedangkan daya dukung mengandung makna kemampuan suatu ekosistem mendukung peri kehidupan manusia, makhluk hidup lain, dan keseimbangan antar keduanya. Uraian tersebut mengindikasikan bahwa kebijakan nasional yang diterbitkan

oleh pemerintah merupakan suatu solusi pencegahan kerusakan lingkungan akibat aktivitas pembangunan.

Implementasi kebijakan nasional tersebut tertuang dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Kebijakan ini memuat aturan tentang upaya pemantauan kualitas lingkungan. Peraturan ini menguraikan bahwa terdapat berbagai instrumen yang menjadi panduan dalam pelaksanaan pembangunan yaitu perizinan berusaha, persetujuan lingkungan, analisis mengenai dampak lingkungan hidup, upaya pengelolaan lingkungan hidup, keputusan kelayakan lingkungan hidup.

Dalam kebijakan ini, tertuang pula aturan bahwa pelaku usaha harus menerbitkan Surat Pernyataan Kesanggupan Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan Hidup sebagai upaya mencegah resiko kerusakan lingkungan akibat kegiatan masyarakat. Peraturan ini juga mengatur teknis penyimpanan material sisa yang masuk dalam kategori limbah B3 serta pengelolaan dan penyaluran limbah tersebut.

Dalam konteks perlindungan hutan secara lokal di tingkat provinsi, Pemerintah Daerah Provinsi Kalimantan Barat telah menerbitkan Peraturan Daerah No. 2 tahun 2022 tentang Pengendalian Kebakaran Hutan dan/atau Lahan. Kebijakan ini meliputi aturan tentang pencegahan, penanggulangan, penanganan pasca kebakaran, pengembangan partisipasi masyarakat serta sanksi. Kebijakan ini mengatur masyarakat untuk tidak melakukan praktik pembukaan lahan dengan cara pembakaran. Selanjutnya, orang-orang yang akan beraktivitas di kawasan hutan untuk tujuan perkemahan atau kegiatan penelitian harus mendapat izin dari pihak yang berwajib. Selanjutnya, jika seseorang yang berada di kawasan hutan dan melihat adanya titik api, maka hendaknya menyampaikan laporan pada pihak berwajib sebagai tindakan antisipatif.

Berbagai kebijakan perlindungan lingkungan baik telah diterapkan di Indonesia. Namun demikian, kerusakan lingkungan terjadi secara cepat akibat semakin banyaknya pihak yang tidak peduli dengan kondisi lingkungan. Di lain pihak, sistem kontrol pada setiap kegiatan yang berdampak terhadap kerusakan lingkungan masih sangat minim.

11.3 Penutup

Permasalahan lingkungan telah terjadi di seluruh dunia akibat aktivitas manusia. Problem tersebut menuntut adanya solusi agar lingkungan tidak semakin buruk. Solusi teknis dilakukan berdasarkan hasil kajian di laboratorium yang telah terbukti memberikan dampak terhadap penurunan tingkat kerusakan lingkungan. Sedangkan solusi sosial merupakan upaya pelibatan masyarakat dalam perlindungan lingkungan. Solusi tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi sosial dan ekonomi masyarakat. Solusi kebijakan merupakan penyusunan aturan dan tata kelola kegiatan perlindungan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Basuki, T. M. *et al.* 2022. 'Improvement of Integrated Watershed Management in Indonesia for Mitigation and Adaptation to Climate Change: A Review', *Sustainability*. MDPI, 14(16), p. 9997.
- Bhat, S. A., Singh, J. and Vig, A. P. 2018. 'Earthworms as organic waste managers and biofertilizer producers', *Waste and biomass valorization*. Springer, 9, pp. 1073–1086.
- Bradley, G. L. and Reser, J. P. 2017. 'Adaptation processes in the context of climate change: A social and environmental psychology perspective', *Journal of Bioeconomics*. Springer, 19, pp. 29–51.
- Cassidy, T. 2013. *Environmental psychology: Behaviour and experience in context*. Psychology Press.
- Chaudhary, D. R., Bhandari, S. C. and Shukla, L. M. 2004. 'Role of vermicompost in sustainable agriculture–A review', *Agricultural Reviews*. Agricultural Research Communication Centre, 25(1), pp. 29–39.
- Craft, B. and Fisher, S. 2016. *Measuring effective and adequate adaptation*. JSTOR.
- Damanik, S. E. 2019. *Pemberdayaan Masyarakat Desa Sekitar Kawasan Hutan*. Uwais Inspirasi Indonesia.
- Desrina, R. 2011. 'Perbandingan biaya pada teknik-teknik remediasi tanah tercemar minyak bumi', *Lembaran publikasi minyak dan gas bumi*, 45(3), pp. 183–194.
- Jaya, A. *et al.* 2021. 'Pengembangan Agroekowisata Terintegrasi di Lahan Gambut Di Kalimantan Tengah', *Pengabdian Kampus: Jurnal Informasi Kegiatan Pengabdian Pada Masyarakat*, 8(1), pp. 26–42.
- Lazarus, R. S. and Cohen, J. B. 1977. 'Environmental stress', in *Human Behavior and Environment: Advances in Theory and Research Volume 2*. Springer, pp. 89–127.

- Nikiema, J. *et al.* 2020. 'Water pollution by plastics and microplastics: a review of technical solutions from source to sea'. United Nations Environment Programme.
- Olssen, M., Codd, J. A. and Anne-Marie, O. 2004. *Education policy: Globalization, citizenship and democracy*. Sage.
- Pasaribu, S. M. and Friyatno, S. 2008. 'Memahami penyebab kebakaran hutan dan lahan serta upaya penanggulangannya: kasus di Provinsi Kalimantan Barat', *None*. Udayana University, 8(1), p. 44013.
- Pinasthi, S. T. *et al.* 2014. 'Vermikompos Sebagai Alternatif Recycling Sampah Organik di TPA B Londo Jawa Tengah'. Senat Mahasiswa Universitas-Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga.
- Qureshi, M. S. *et al.* 2020. 'Pyrolysis of plastic waste: Opportunities and challenges', *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. Elsevier, 152, p. 104804.
- Rafli, R. *et al.* 2017. 'Penerapan teknologi pirolisis untuk konversi limbah plastik menjadi bahan bakar minyak di Kabupaten Bantul', *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal*, 2(1), pp. 1–5.
- Sharma, K. and Garg, V. K. 2018. 'Vermicomposting: a green technology for organic waste management', *Waste to wealth*. Springer, pp. 199–235.
- Sufianti, E. 2011. 'Perencanaan Kolaborasi dalam Pengelolaan Sampah sebagai Upaya Pembangunan Lingkungan yang Berkelanjutan', *Jurnal Ilmu Administrasi: Media Pengembangan Ilmu dan Praktek Administrasi*, 8(3), p. 7.
- Thushari, G. G. N. and Senevirathna, J. D. M. 2020. 'Plastic pollution in the marine environment', *Heliyon*. Elsevier, 6(8).

BIODATA PENULIS



Dr. Salma Samputri, M.Pd

Dosen Program Studi Pendidikan IPA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Makassar

Penulis adalah dosen tetap pada program Studi Pendidikan IPA sekaligus pemerhati lingkungan. Adapun latar belakang pendidikan dari penulis yaitu S1 Pendidikan IPA, Universitas Islam Negeri Alauddin. Kemudian melanjutkan S2 dan S3 pada Pendidikan Kependudukan dan Lingkungan Hidup (PKLH), Universitas Negeri Makassar. Beliau juga aktif sebagai pembicara atau narasumber dalam obrolan seputar lingkungan.

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.

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



Nurvita Cundaningsih, S.Si, M.T

Dosen Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan
Teknologi Institut Kesehatan dan Teknologi Pondok Karya
Pembangunan DKI Jakarta
(IKTJ)

Penulis lahir di Klaten pada tanggal 29 Agustus 1993. Penulis merupakan dosen tetap di Prodi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Institut Kesehatan dan Teknologi Pondok Karya Pembangunan DKI Jakarta (IKTJ). Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Program Studi Biologi Universitas Padjadjaran (Unpad) pada tahun 2015 kemudian menyelesaikan Pendidikan S2 pada tahun 2018 di Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung (ITB) dengan konsentrasi Teknologi Manajemen Lingkungan (TML).

BIODATA PENULIS

Prof. Dr. I Wayan Budiarsa Suyasa, MS.

Kepala Laboratorium Kimia Lingkungan FMIPA Universitas
Udayana

Penulis lahir di Denpasar, 03 Maret 1967. Penulis merupakan Kepala Laboratorium Kimia Lingkungan FMIPA Universitas Udayana. Menyelesaikan pendidikan S-1 Universitas Udayana Kimia Lingkungan, melanjutkan S-2 IPB Pencemaran Lingkungan, S-3 IPB Pencemaran Lingkungan.

BIODATA PENULIS



Isran Asnawi, S.Si., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Kimia Mineral
Politeknik Industri Logam Morowali

Penulis lahir di Bulukumba, Sulawesi Selatan, tanggal 9 Januari 1991. Penulis merupakan dosen tetap di Program Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik Industri Logam Morowali. Penulis telah menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia Universitas Hasanuddin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia Universitas Muslim Indonesia. Pada tahun 2018, penulis mulai berkarir sebagai dosen di Politeknik ATI yang kemudian menjadi dosen tetap di Politeknik Industri Logam Morowali hingga saat ini. Penulis menekuni beberapa rumpun bidang ilmu kimia, seperti kimia analisis, teknik kimia, kimia lingkungan, dan mikrobiologi. Penulis juga aktif sebagai ketua Satuan Penjamin Mutu Internal di perguruan tinggi saat ini.

BIODATA PENULIS



Ir. Sudiro, S.T,M.T.

Dosen Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi
Nasional Malang

Penulis lahir di Pati, Jawa Tengah tanggal 08 Maret 1973. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang Tahun 1997 dan menyelesaikan S2 pada Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Tahun 2004. Penulis Program Profesi Insinyur di Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin pada Tahun 2023. Penulis menekuni bidang kajian Pengelolaan Lingkungan dan Infrastruktur Sanitasi. Penulis juga tergabung pada organisasi Profesi IATPI dan PII.

BIODATA PENULIS



Hj. Eris Nur Dirman, S.T., M.T.
Dosen Program Studi Teknik Sipil
Sekolah Tinggi Teknik Baramuli
Pinrang- Sulawesi Selatan

Eris Nur Dirman, lahir di Kabupaten Pinrang propinsi Sulawesi Selatan, pada tanggal 4 April 1980. Setelah menyelesaikan pendidikan menengah atas di Sekolah Menengah Umum Negeri 1 Pinrang, penulis melanjutkan Pendidikan ke Universitas Hasanuddin Jurusan Teknik Sipil (S1) pada tahun 1998 dan menyelesaikan studi pada tahun 2022. Penulis juga menyelesaikan studi S2 pada tahun 2015 di Universitas Hasanuddin.

Penulis telah menjalani karirnya pada beberapa program kegiatan yang berbasis pemberdayaan maupun pada program kegiatan yang dikelola sepenuhnya oleh pemerintah. Kegiatan yang pernah diikuti antara lain: Program Kompensasi Pengurangan Subsidi (PKPS BBM) tahun 2005, Analisis perencanaan pelabuhan pada PT Pelabuhan Indonesia IV (Persero) tahun 2005-2013, Perencanaan pembangunan bangunan pengaman pantai tahun 2014, Pembangunan perencanaan bendungan di kabupaten Maros pada tahun 2015,

tenaga ahli lingkungan dalam penyusunan dokumen strategi sanitasi untuk program Program Percepatan Pembangunan Sanitasi Permukiman (PPSP) di Propinsi Sulawesi Barat tahun 2016-2018, tenaga ahli lingkungan untuk kegiatan supervisi implementasi Strategi Sanitasi Kota (SSK) koordinator propinsi Kalimantan Timur dan Sulawesi Selatan tahun 2019-2020, tenaga ahli lingkungan untuk UNICEF pada kegiatan pendampingan penyusunan dokumen SSK di propinsi Nangroe Aceh Darussalam, tenaga ahli lingkungan untuk supervisi penyusunan dokumen sanitasi kota di propinsi Jawa Tengah pada tahun 2021-2022. Penulis memiliki tanggung jawab yang berbeda-beda untuk setiap kegiatan tersebut mulai tahap perencanaan, disain teknis, penyusunan dokumen dan pengawasan kegiatan. Hal ini meliputi pengetahuan tentang material, standar pengukuran, manajemen kegiatan. Kegiatan-kegiatan sebagai tenaga ahli lingkungan menjadi pengalaman buat penulis untuk menyusun tulisan terkait lingkungan. Saat ini, Eris Nur Dirman tinggal di kota Malang, Jawa Timur. e-mail: erisnurdirman01@gmail.com, dan No.hp. 085396403003

BIODATA PENULIS



Yosef Adicita, S.Fil., M.Sc.

Dosen Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Universal Batam

Penulis lahir di Bekasi tanggal 31 Januari 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik, Universitas Universal. Menyelesaikan pendidikan S1 dan S2 di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Penulis menekuni Penelitian pada bidang Infrastruktur dan dampak Lingkungan.

Penulis juga merupakan Koordinator bidang profesi IATPI (Ikatan Ahli Teknik Penyehatan Lingkungan Indonesia) Provinsi Kepulauan Riau dengan masa bakti 2019-2024. Penulis yang memiliki keahlian bidang energi terbarukan dan infrastruktur lingkungan ini juga Aktif sebagai Tutor dan pembicara internal mengenai edukasi pemanfaatan Infrastruktur lingkungan bagi pembangunan masyarakat.

BIODATA PENULIS



Prof. Dr. Ir. Nurliita Pertiwi, M.T

Dosen Program Studi Doktorat Pendidikan Kependudukan dan
Lingkungan Hidup
Program Pasca Sarjana Universitas Negeri Makassar

Penulis lahir di Palembang tanggal 02 April 1969. Penulis Adalah guru besar di bidang Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan dan bertugas sebagai dosen tetap pada Doktorat Pendidikan Kependudukan dan Lingkungan Hidup Program Pascasarjana Universitas negeri Makassar.

Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Selanjutnya pendidikan megister diselesaikan padamprogram studi Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin. Penulis menyelesaikan pendidikan Dokto pada Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan pada Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor pada tahun 2011. Penulis telah menulis beberapa buku referensi diantaranya adalah Implementasi Sunstainable Development di Indonesia, Beton Ramah Lingkungan dan Ilmu Bahan Bangunan.