

Editor: Suci Haryanti

PENDIDIKAN LINGKUNGAN HIDUP

Nur Rezky Ramadhan | Lastiar Roselyna Sitompul
I Gede Herry Purnama | Rachman Irwanto
Rusmadi Rukmana | Gizela Aulia Agustin
Kurniati Abidin | Rizky Arief Shobirin | Sang Gede Purnama
Tito Nurseha | Nanang Purwanto
Anita Restu Puji Raharjeng | Goreta | Moh. Anwar



BUNGA RAMPAI

PENDIDIKAN LINGKUNGAN HIDUP

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

PENDIDIKAN LINGKUNGAN HIDUP

Nur Rezky Ramadhan
Lastiar Roselyna Sitompul
I Gede Herry Purnama
Rachman Irwanto
Rusmadi Rukmana
Gizela Aulia Agustin
Kurniati Abidin
Rizky Arief Shobirin
Sang Gede Purnama
Tito Nurseha
Nanang Purwanto
Anita Restu Puji Raharjeng
Goreta
Moh. Anwar

Editor:
Suci Haryanti

Penerbit



CV. MEDIA SAINS INDONESIA
Melong Asih Regency B40 - Cijerah
Kota Bandung - Jawa Barat
www.medsan.co.id

Anggota IKAPI
No. 370/JBA/2020

PENDIDIKAN LINGKUNGAN HIDUP

Nur Rezky Ramadhan
Lastiar Roselyna Sitompul
I Gede Herry Purnama
Rachman Irwanto
Rusmadi Rukmana
Gizela Aulia Agustin
Kurniati Abidin
Rizky Arief Shobirin
Sang Gede Purnama | Tito Nurseha
Nanang Purwanto
Anita Restu Puji Raharjeng
Goreta | Moh. Anwar

Editor:
Suci Haryanti

Tata Letak:
Risma Birrang

Desain Cover:
Manda Aprikasari

Ukuran:
A5 Unesco: 15,5 x 23 cm

Halaman:
vi, 255

ISBN:
978-623-512-368-4

Terbit Pada:
Januari 2025

Hak Cipta 2025 @ Media Sains Indonesia dan Penulis

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit atau Penulis.

PENERBIT MEDIA SAINS INDONESIA

(CV. MEDIA SAINS INDONESIA)
Melong Asih Regency B40 - Cijerah
Kota Bandung - Jawa Barat
www.medsan.co.id

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga buku kolaborasi dalam bentuk buku dapat dipublikasikan dan dapat sampai di hadapan pembaca. Buku ini disusun oleh sejumlah guru, dosen dan praktisi sesuai dengan kepakarannya masing-masing. Buku ini diharapkan dapat hadir memberi kontribusi positif dalam ilmu pengetahuan khususnya terkait dengan Pembelajaran Berbasis: **Pendidikan Lingkungan Hidup**.

Sistematika buku ini dengan judul “**Pendidikan Lingkungan Hidup**” terdiri atas 14 bab yang dijelaskan secara rinci dalam pembahasan mengenai konsep dan strategi dan analisis diantaranya: Ruang Lingkup Profesi Kependidikan, Pengertian dan Syarat Profesi Keguruan, Pentingnya Pendidikan Lingkungan Hidup, Konsep Dasar Ekologi dan Ekosistem, Perubahan Iklim: Penyebab, Dampak dan Mitigasi, Polusi Udara, Air dan Tanah: Sumber dan Penanganannya, Konservasi Keanekaragaman Hayati, Pengelolaan Sumber Daya Alam Yang Berkelanjutan, Energi Terbarukan dan Efisiensi Energi, Pengelolaan Sampah dan Daur Ulang, Pembangunan Berkelanjutan dan Ekonomi Hijau, Etika Lingkungan dan Tanggung Jawab Sosial, Pendidikan Lingkungan Hidup di Sekolah: Kurikulum dan Metode Pembelajaran, Pendidikan Lingkungan Hidup di Masyarakat: Program dan Inisiatif, Teknologi dan Inovasi dalam Perlindungan Lingkungan, Mengelola Limbah, Menjaga Bumi: Solusi Nyata Untuk Hidup Lebih Berarti.

Akhirnya kami mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah mendukung dalam proses penyusunan dan penerbitan buku ini, secara khusus kepada Penerbit Media Sains Indonesia sebagai inisiator. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi pembaca sekalian.

Jakarta, Desember 2024

Editor

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i	
DAFTAR ISI.....	ii	
1	PENDAHULUAN: PENTINGNYA PENDIDIKAN LINGKUNGAN HIDUP	1
	Nur Rezky Ramadhan, S.Si., M.Si.....	1
	Latar Belakang	1
	Definisi dan Konsep Pendidikan Lingkungan Hidup.....	3
	Urgensi Pendidikan Lingkungan Hidup.....	5
	Tujuan dan Manfaat Pendidikan Lingkungan Hidup.....	9
	Peran Pendidikan Lingkungan Hidup dalam Membangun Kesadaran Global	12
	Kesimpulan.....	14
2	KONSEP DASAR EKOLOGI DAN EKOSISTEM.....	19
	Lastiar Roselyna Sitompul, S.Si., M.Pd.	19
	Pendahuluan	19
	Konsep Dasar Ekologi	22
	Ruang Lingkup Ekologi.....	25
	Struktur Ekosistem	26
	Fungsi Ekosistem	27
	Kompleksitas Ekologis dan Tingkat Organisasi	28
	Dinamika Ekosistem	30
3	PERUBAHAN IKLIM: PENYEBAB, DAMPAK DAN MITIGASI	41
	I Gede Herry Purnama, S.T., M.T., MIDEA.	41
	Pengantar	41

	Penyebab Perubahan Iklim	45
	Dampak Perubahan Iklim	48
	Mitigasi Perubahan Iklim	55
4	POLUSI UDARA, AIR DAN TANAH : SUMBER DAN PENANGANANNYA.....	63
	Rachman Irwanto, A.Md.RO., S.T., M.T.....	63
	Polusi.....	63
	Polusi Udara	64
	Polusi Air	67
	Polusi Tanah.....	68
	Penyebab Pencemaran Lingkungan.....	71
5	KONSERVASI KEANEKARAGAMAN HAYATI.....	77
	Rusmadi Rukmana, S.Si., M.Pd.	77
	Pendahuluan	77
	Kawasan Konservasi Indonesia	78
	Ancaman terhadap Sumber Daya Hayati	85
	Upaya Konservasi Keanekaragaman Hayati	87
6	PENGELOLAAN SUMBER DAYA ALAM YANG BERKELANJUTAN	95
	Gizela Aulia Agustin, S.Si.	95
	Pendahuluan	95
	Deskripsi Ikan Wader Pari (<i>Rasbora lateristriata</i> Bleeker, 1854)	96
	Ancaman Terhadap Kelestarian Ikan Wader Pari .	98
	Upaya Konservasi dan Pengelolaan Berkelanjutan	100
	Potensi Ekonomi dan Pemanfaatan Berkelanjutan.....	104

	Kesimpulan dan Rekomendasi.....	106
7	ENERGI TERBARUKAN DAN EFISIENSI ENERGI	111
	Dr. Kurniati Abidin, M.Si.	111
	Pendahuluan	111
	Jenis Jenis Energi Terbarukan	113
	Efisiensi Energi dan Manajemen Penggunaan Energi.....	119
	Dampak Sosial dan Ekonomi Energi Terbarukan	121
	Tantangan dan Masa Depan Energi Terbarukan	122
8	PENGELOLAAN SAMPAH DAN DAUR ULANG ...	127
	Rizky Arief Shobirin, M.Si.	127
	Pendahuluan	127
	Jenis dan Kategori Sampah	129
	Prinsip Dasar Pengelolaan Sampah (3R: <i>Reduce, Reuse, Recycle</i>)	130
	Daur Ulang Sampah: Proses dan Manfaatnya	132
	Teknologi dan Inovasi dalam Pengelolaan Sampah dan Daur Ulang.....	135
	Tantangan dan Strategi Pengelolaan Sampah	139
9	PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN DAN EKONOMI HIJAU	151
	Sang Gede Purnama	151
	Pendahuluan	151
	Konsep Pembangunan berkelanjutan dan ekonomi hijau	152
	Manfaat ekonomi hijau	154
	Tantangan dalam pembangunan berkelanjutan .	155
	Peluang ekonomi hijau di Indonesia.....	157

	Studi Kasus: Inisiatif Ekonomi Hijau di Indonesia.....	159
	Mempersiapkan Generasi Hijau	161
	Strategi Pendidikan untuk Mengintegrasikan Konsep Pembangunan Berkelanjutan dalam Kurikulum	164
10	ETIKA LINGKUNGAN DAN TANGGUNG JAWAB SOSIAL.....	171
	Tito Nurseha, M.Si.	171
	Etika Lingkungan	171
	Pengertian	171
	Prinsip-Prinsip Lingkungan Hidup.....	172
	Pentingnya Tanggung Jawab Sosial	178
	Pengertian	178
	Jenis-Jenis Tanggung Jawab Sosial.....	180
	Kesimpulan.....	183
11	PENDIDIKAN LINGKUNGAN HIDUP DI SEKOLAH: KURIKULUM DAN METODE PEMBELAJARAN	187
	Nanang Purwanto, M.Pd.	187
	Konsep Pendidikan Lingkungan Hidup di Sekolah.....	187
	Konsep Standar Pendidikan Lingkungan Hidup dalam Kurikulum	190
	Model Pembelajaran untuk Pendidikan Lingkungan Hidup.....	198
12	PENDIDIKAN LINGKUNGAN HIDUP DI MASYARAKAT: PROGRAM DAN INISIATIF	207
	Anita Restu Puji Raharjeng, M.Si., M.BioMed.Sc.	207
	Teori dan Model Pendidikan Lingkungan	208

	Pentingnya Program Pendidikan Lingkungan di Masyarakat	209
	Keberhasilan dan Tantangan Program Pendidikan Lingkungan di Masyarakat	212
	Peran Pemerintah, NGO, dan Sektor Swasta dalam Pendidikan Lingkungan di Masyarakat ...	215
	Kesimpulan.....	219
13	TEKNOLOGI DAN INOVASI DALAM PERLINDUNGAN LINGKUNGAN	225
	Goreta, S.Pd., M.Pd.....	225
	Pendahuluan	225
	Teknologi & Inovasi Perlindungan Lingkungan ..	226
	Edukasi dan Kesadaran Kecintaan Pada Lingkungan.....	237
	Penutup.....	241
14	MENGELOLA LIMBAH, MENJAGA BUMI: SOLUSI NYATA UNTUK HIDUP LEBIH BERARTI	245
	Moh. Anwar, S.E., M.M.	245
	Pendahuluan	245
	Langkah-Langkah Nyata Individu dalam Menjaga Lingkungan.....	246
	Penutup.....	251

PENDAHULUAN: PENTINGNYA PENDIDIKAN LINGKUNGAN HIDUP

Nur Rezky Ramadhan, S.Si., M.Si.
Universitas Bosowa

Latar Belakang

Pendidikan lingkungan hidup telah menjadi kebutuhan mendesak dalam konteks globalisasi dan perubahan lingkungan yang cepat. Bencana alam, perubahan iklim, deforestasi, dan polusi merupakan beberapa masalah utama yang dihadapi oleh dunia saat ini. Menurut laporan United Nations Environment Programme (UNEP) (2021), lebih dari 7 juta orang meninggal setiap tahun akibat polusi udara, dan lebih dari satu juta spesies terancam punah akibat perusakan habitat alami. Di Indonesia, dampak dari masalah lingkungan ini semakin nyata, dengan berbagai kasus yang menunjukkan perlunya pendidikan lingkungan hidup yang lebih efektif.

Salah satu contoh kasus yang mengkhawatirkan adalah kebakaran hutan dan lahan (karhutla) yang sering terjadi di berbagai daerah, terutama di Sumatera dan Kalimantan. Kebakaran hutan yang terjadi pada tahun 2019 telah menyebabkan lebih dari 1,6 juta hektar lahan terbakar, menghasilkan asap yang menyebabkan polusi udara di dalam negeri dan negara-negara tetangga seperti

Malaysia dan Singapura. Fenomena ini tidak hanya merugikan kesehatan masyarakat tetapi juga berdampak pada kerugian ekonomi yang ditaksir mencapai triliunan rupiah. Sebuah studi oleh World Bank (2020) memperkirakan bahwa kerugian ekonomi akibat kebakaran hutan dapat mencapai 75 triliun rupiah setiap tahun. Pendidikan lingkungan hidup di sekolah-sekolah perlu mengedukasi siswa tentang dampak negatif dari kebakaran hutan serta pentingnya pengelolaan lahan yang berkelanjutan.

Kasus lain yang mencolok adalah permasalahan pencemaran sungai, terutama di daerah perkotaan. Sungai Citarum di Jawa Barat, yang dinyatakan sebagai salah satu sungai terkotor di dunia, telah menjadi simbol krisis lingkungan di Indonesia. Pencemaran ini disebabkan oleh limbah industri, sampah rumah tangga, dan kegiatan pertanian yang tidak ramah lingkungan. Menurut laporan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2020), hanya sekitar 10% dari total aliran Sungai Citarum yang layak untuk dikonsumsi. Dalam konteks ini, pendidikan lingkungan hidup dapat membantu meningkatkan kesadaran siswa dan masyarakat mengenai pentingnya menjaga kebersihan sungai dan ekosistem air, serta mempromosikan praktik pengelolaan limbah yang lebih baik.

Selain itu, isu perubahan iklim juga memberikan tantangan yang signifikan bagi Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan banyak pulau kecil yang rentan terhadap kenaikan permukaan air laut. Banyak pulau di Indonesia, seperti Pulau Bali dan Pulau Seribu, menghadapi risiko erosi pantai yang parah, yang dapat mengancam kehidupan masyarakat lokal dan ekosistem yang ada. Pendidikan lingkungan hidup perlu menekankan pada pentingnya adaptasi terhadap perubahan iklim dan melibatkan siswa dalam aksi nyata untuk konservasi pantai serta pelestarian lingkungan.

Dalam menghadapi tantangan lingkungan ini, pendidikan lingkungan hidup dapat menjadi kunci untuk membangun kesadaran yang lebih tinggi di kalangan generasi muda dan masyarakat umum. Melalui program-program pendidikan yang terstruktur dan partisipatif, siswa dapat diajarkan untuk memahami dan menghargai lingkungan mereka, serta dilatih untuk mengambil tindakan yang positif demi keberlanjutan alam. Dengan demikian, pendidikan lingkungan hidup tidak hanya berfungsi sebagai alat untuk menyampaikan pengetahuan, tetapi juga sebagai sarana untuk membangun komitmen bersama dalam menjaga bumi untuk generasi mendatang.

Definisi dan Konsep Pendidikan Lingkungan Hidup

Pendidikan lingkungan hidup bukan hanya tentang memberikan pengetahuan dasar mengenai ekosistem dan proses alam, tetapi juga melibatkan perubahan sikap dan perilaku manusia terhadap lingkungan. Konsep ini mencakup pengetahuan, nilai, keterampilan, serta tindakan yang bertujuan untuk mempromosikan keberlanjutan lingkungan. Sterling (2001) mendefinisikan pendidikan lingkungan hidup sebagai pendidikan yang berorientasi pada keberlanjutan, yang bertujuan untuk mengintegrasikan manusia ke dalam ekosistem secara lebih harmonis.

Di Indonesia, konsep pendidikan lingkungan hidup telah diintegrasikan ke dalam berbagai program pendidikan, salah satunya melalui Program Adiwiyata. Program ini, yang diinisiasi oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), bertujuan untuk mewujudkan sekolah-sekolah yang peduli dan berbudaya lingkungan. Sekolah-sekolah yang tergabung dalam program ini diharapkan dapat menjadi tempat yang strategis untuk menanamkan nilai-nilai lingkungan kepada siswa sejak

dini. Dalam program Adiwiyata, sekolah-sekolah di seluruh Indonesia diajarkan untuk mengelola sampah, melakukan penghijauan, dan memanfaatkan air serta energi secara efisien.

Sebagai contoh, SMA Negeri 1 Pangkep di Sulawesi Selatan berhasil meraih penghargaan Adiwiyata Nasional pada tahun 2020 berkat upayanya dalam mengintegrasikan pendidikan lingkungan hidup ke dalam kurikulum. Sekolah ini tidak hanya mengajarkan teori lingkungan kepada siswa, tetapi juga mendorong mereka untuk melakukan aksi nyata, seperti menanam pohon di sekitar sekolah dan mengelola bank sampah. Keberhasilan SMA Negeri 1 Pangkep menunjukkan bagaimana pendidikan lingkungan hidup dapat diterapkan secara holistik dalam lingkungan sekolah.

Selain program Adiwiyata, konsep pendidikan lingkungan hidup juga diaplikasikan melalui kampanye dan inisiatif yang berfokus pada pengelolaan sampah. Salah satu contohnya adalah Gerakan Indonesia Bebas Sampah 2020, yang bertujuan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah. Melalui gerakan ini, berbagai sekolah di Indonesia didorong untuk mengimplementasikan program 3R (Reduce, Reuse, Recycle) dalam aktivitas sehari-hari. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan melaporkan bahwa inisiatif ini telah berhasil mengurangi produksi sampah plastik di beberapa wilayah, termasuk di Kota Surabaya, yang menjadi salah satu kota percontohan.

Di Kota Surabaya, program Bank Sampah Surabaya telah diterapkan di lebih dari 1.000 lokasi, di mana warga masyarakat dapat menukar sampah plastik dengan poin yang dapat digunakan untuk membeli bahan kebutuhan pokok. Program ini juga diintegrasikan ke dalam kurikulum sekolah, di mana siswa diajarkan tentang pentingnya pengelolaan sampah dan manfaat ekonomi

yang dapat diperoleh dari praktik daur ulang. Contoh ini menggambarkan bagaimana pendidikan lingkungan hidup dapat berkontribusi langsung pada solusi nyata di masyarakat, sekaligus membangun kesadaran generasi muda tentang pentingnya menjaga lingkungan.

Selain itu, konsep pendidikan lingkungan hidup juga mencakup kesadaran akan keberlanjutan sumber daya alam. Di beberapa wilayah Indonesia, seperti di Kalimantan dan Sumatera, pendidikan lingkungan hidup sering kali terkait dengan upaya pelestarian hutan dan keanekaragaman hayati. Yayasan Kehati, sebuah lembaga nirlaba yang berfokus pada konservasi keanekaragaman hayati di Indonesia, telah menjalankan program edukasi lingkungan yang melibatkan sekolah-sekolah lokal di sekitar kawasan konservasi. Program ini bertujuan untuk meningkatkan kesadaran siswa tentang pentingnya menjaga hutan dan ekosistem yang ada di dalamnya, serta dampak deforestasi terhadap kehidupan manusia dan satwa liar.

Melalui berbagai inisiatif ini, konsep pendidikan lingkungan hidup di Indonesia tidak hanya menjadi bagian dari kurikulum formal, tetapi juga melibatkan masyarakat secara lebih luas. Pendidikan ini berperan penting dalam membentuk generasi yang memiliki kesadaran akan pentingnya menjaga keberlanjutan alam serta mampu berpartisipasi aktif dalam berbagai upaya pelestarian lingkungan. Dengan demikian, pendidikan lingkungan hidup bukan sekadar transfer pengetahuan, tetapi juga sebuah gerakan sosial yang mengarahkan masyarakat pada tindakan nyata untuk melindungi bumi.

Urgensi Pendidikan Lingkungan Hidup

Pentingnya pendidikan lingkungan hidup semakin terasa di tengah tantangan lingkungan yang semakin serius di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Dalam beberapa dekade terakhir, Indonesia telah menghadapi berbagai

krisis lingkungan yang menunjukkan betapa mendesaknya penerapan pendidikan lingkungan hidup di semua tingkat masyarakat. Mulai dari deforestasi, pencemaran air, krisis sampah, hingga dampak perubahan iklim, semua ini memerlukan pendekatan yang komprehensif dan sistematis dalam menciptakan kesadaran lingkungan melalui pendidikan.

Salah satu krisis lingkungan yang paling signifikan di Indonesia adalah deforestasi. Menurut World Resources Institute (WRI, 2020), Indonesia kehilangan sekitar 9,6 juta hektar hutan primer antara tahun 2002 dan 2020, menjadikannya salah satu negara dengan tingkat deforestasi tertinggi di dunia. Hutan-hutan yang hilang ini tidak hanya menjadi rumah bagi keanekaragaman hayati yang luar biasa, tetapi juga berfungsi sebagai penyeimbang iklim global melalui penyerapan karbon. Kehilangan hutan dalam skala besar ini berkontribusi pada peningkatan emisi gas rumah kaca, yang memperparah perubahan iklim. Pendidikan lingkungan hidup yang memadai di sekolah-sekolah dapat meningkatkan kesadaran anak-anak dan generasi muda akan pentingnya hutan sebagai sumber daya alam yang harus dilestarikan, serta mendorong mereka untuk berpartisipasi dalam aksi-aksi konservasi.

Contoh kasus nyata di Indonesia yang menggambarkan urgensi ini adalah bencana banjir besar yang terjadi di Jakarta pada tahun 2020. Banjir ini terjadi akibat kombinasi dari hujan deras yang tak henti-hentinya, sistem drainase yang buruk, serta pembangunan yang tidak memperhatikan kelestarian lingkungan. Berdasarkan laporan dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB, 2020), banjir ini mengakibatkan lebih dari 400.000 orang terdampak, dengan ribuan rumah rusak. Salah satu penyebab utama banjir adalah deforestasi dan perambahan lahan di daerah

hulu sungai yang mengurangi kapasitas resapan air. Hal ini menunjukkan pentingnya pendidikan lingkungan hidup untuk mengedukasi masyarakat mengenai hubungan antara pengelolaan lingkungan yang buruk dengan bencana alam.

Selain itu, kasus pencemaran lingkungan juga menjadi ancaman serius yang menunjukkan urgensi pendidikan lingkungan hidup di Indonesia. Sungai-sungai besar di Indonesia, seperti Sungai Citarum, telah tercemar secara signifikan oleh limbah industri dan rumah tangga. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2018), Sungai Citarum telah mengalami degradasi kualitas air yang sangat parah, dengan banyak bagian sungai yang tidak lagi dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan manusia. Proyek rehabilitasi Sungai Citarum yang dikenal sebagai Program Citarum Harum menjadi salah satu upaya pemerintah dalam menangani masalah ini, namun keberhasilan program ini sangat bergantung pada partisipasi aktif masyarakat, yang dapat diperkuat melalui pendidikan lingkungan hidup. Siswa yang diberi pemahaman tentang pentingnya menjaga kualitas air dan lingkungan sekitar akan lebih mungkin terlibat dalam tindakan-tindakan positif seperti daur ulang, pengelolaan sampah, serta kampanye kesadaran lingkungan.

Di sektor sampah, krisis sampah plastik di Indonesia juga menunjukkan betapa pentingnya pendidikan lingkungan hidup. Indonesia adalah salah satu negara penghasil sampah plastik terbesar di dunia, dengan lebih dari 3,2 juta ton sampah plastik yang masuk ke lautan setiap tahunnya (Jambeck et al., 2015). Berbagai pantai dan perairan di Indonesia, seperti Pantai Kuta di Bali dan Kepulauan Seribu di Jakarta, dipenuhi sampah plastik yang merusak ekosistem laut. Salah satu langkah yang telah diambil untuk mengatasi masalah ini adalah kebijakan larangan kantong plastik sekali pakai di

beberapa kota besar, seperti Jakarta dan Bali. Namun, kebijakan ini perlu didukung oleh pendidikan lingkungan yang terus-menerus di sekolah dan masyarakat untuk membangun kesadaran yang lebih mendalam tentang bahaya sampah plastik bagi lingkungan dan kesehatan.

Urgensi pendidikan lingkungan hidup di Indonesia juga tercermin dalam upaya untuk menghadapi perubahan iklim. Sebagai negara kepulauan, Indonesia sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim, termasuk kenaikan permukaan laut, cuaca ekstrem, dan perubahan pola hujan. Di wilayah pesisir seperti Jakarta Utara dan Semarang, kenaikan permukaan air laut telah menyebabkan banjir rob yang merusak infrastruktur dan mempengaruhi kehidupan masyarakat pesisir. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG, 2020) melaporkan bahwa intensitas banjir rob semakin meningkat dalam beberapa tahun terakhir. Pendidikan lingkungan hidup di sekolah-sekolah dan universitas dapat membantu siswa memahami dampak perubahan iklim dan mendorong mereka untuk berpartisipasi dalam aksi mitigasi dan adaptasi perubahan iklim.

Oleh karena itu, urgensi pendidikan lingkungan hidup tidak bisa dipandang remeh. Dengan meningkatnya frekuensi bencana alam, degradasi lingkungan, dan dampak perubahan iklim, pendidikan lingkungan hidup harus menjadi bagian integral dari kurikulum pendidikan di Indonesia. Dengan memberikan pemahaman yang mendalam tentang keterkaitan antara tindakan manusia dan dampaknya terhadap lingkungan, pendidikan lingkungan hidup dapat membantu menciptakan generasi yang lebih sadar akan pentingnya menjaga keseimbangan ekosistem dan mendukung keberlanjutan planet kita.

Tujuan dan Manfaat Pendidikan Lingkungan Hidup

Pendidikan lingkungan hidup memiliki tujuan utama untuk membentuk generasi yang sadar dan bertanggung jawab terhadap keberlanjutan lingkungan. Tujuan ini tidak hanya terbatas pada pengetahuan, tetapi juga mendorong keterlibatan aktif dalam menjaga, melestarikan, dan memperbaiki kualitas lingkungan. Menurut Sterling (2001), pendidikan lingkungan hidup bertujuan untuk mengembangkan pemahaman kritis terhadap masalah lingkungan, mendorong partisipasi dalam aksi lingkungan, serta menciptakan sikap peduli dan berkelanjutan terhadap sumber daya alam.

Di Indonesia, tujuan pendidikan lingkungan hidup ini tercermin dalam berbagai program nasional seperti Gerakan Nasional Peduli Lingkungan. Salah satu contoh konkret adalah Program Adiwiyata yang bertujuan untuk menciptakan sekolah yang berwawasan lingkungan. Tujuan dari program ini adalah untuk meningkatkan kesadaran lingkungan di kalangan siswa, guru, dan seluruh komunitas sekolah. Dalam program ini, sekolah-sekolah di Indonesia diharapkan dapat menjalankan kurikulum berbasis lingkungan yang bertujuan membentuk perilaku cinta lingkungan di kalangan peserta didik.

Manfaat dari pendidikan lingkungan hidup dapat dilihat dari dampaknya dalam mengurangi degradasi lingkungan dan meningkatkan kesadaran publik terhadap masalah lingkungan. Misalnya, di SMAN 3 Bandung, sebagai salah satu sekolah Adiwiyata, program pendidikan lingkungan hidup diterapkan dengan berbagai kegiatan seperti pengelolaan sampah, penghijauan, dan pemanfaatan air hujan. Siswa dilibatkan dalam kegiatan penghijauan sekolah melalui gerakan tanam pohon, sementara pengelolaan sampah diatur melalui bank sampah, di mana sampah non-organik yang dikumpulkan siswa dapat ditukar dengan barang atau uang. Hal ini tidak

hanya menanamkan kesadaran akan pentingnya daur ulang, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi yang nyata bagi siswa dan masyarakat sekitar sekolah.

Salah satu manfaat terbesar dari pendidikan lingkungan hidup adalah kemampuan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Kasus pencemaran Sungai Citarum menjadi contoh nyata pentingnya pendidikan lingkungan hidup dalam mengatasi masalah lingkungan. Sungai Citarum, yang sebelumnya tercemar berat oleh limbah industri dan rumah tangga, kini sedang dalam tahap rehabilitasi melalui Program Citarum Harum. Salah satu komponen kunci dari program ini adalah peningkatan kesadaran lingkungan di kalangan masyarakat, terutama generasi muda. Melalui pendidikan yang berkelanjutan, masyarakat di sekitar Sungai Citarum diajarkan cara-cara untuk mengelola sampah dan limbah rumah tangga, serta pentingnya menjaga kebersihan sungai. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2018) melaporkan bahwa edukasi lingkungan yang konsisten telah membantu mengurangi pembuangan limbah langsung ke sungai dan meningkatkan keterlibatan masyarakat dalam upaya membersihkan sungai.

Contoh lain dari manfaat pendidikan lingkungan hidup adalah pengurangan penggunaan plastik di Indonesia. Sebagai negara dengan produksi sampah plastik yang signifikan, Indonesia telah mengalami dampak besar dari pencemaran plastik. Berbagai kampanye seperti Gerakan Indonesia Bebas Sampah 2020 dan kebijakan larangan penggunaan kantong plastik sekali pakai di berbagai kota besar seperti Jakarta dan Bali, bertujuan untuk mengurangi pencemaran plastik. Bali, yang merupakan salah satu destinasi wisata utama dunia, telah mengalami pencemaran parah oleh sampah plastik di pantai-pantainya. Melalui program edukasi lingkungan yang

diterapkan di sekolah-sekolah di Bali, siswa diajarkan untuk mengurangi penggunaan plastik, melakukan daur ulang, dan membersihkan pantai secara rutin. Kesadaran yang dibangun dari pendidikan lingkungan hidup di kalangan siswa telah menunjukkan manfaat nyata dalam mengurangi jumlah sampah plastik di kawasan tersebut.

Selain itu, pendidikan lingkungan hidup juga berperan penting dalam mempersiapkan generasi muda untuk menghadapi tantangan perubahan iklim. Indonesia, sebagai negara kepulauan yang rentan terhadap dampak perubahan iklim, seperti kenaikan permukaan laut dan cuaca ekstrem, membutuhkan generasi yang tidak hanya memahami isu-isu ini, tetapi juga memiliki keterampilan dan pengetahuan untuk beradaptasi. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) telah bekerja sama dengan sekolah-sekolah di Indonesia untuk menyelenggarakan program pendidikan tentang perubahan iklim. Program ini bertujuan untuk memberikan pemahaman kepada siswa mengenai dampak perubahan iklim dan mendorong mereka untuk berpartisipasi dalam aksi-aksi mitigasi, seperti penanaman pohon dan konservasi energi. Di Kota Semarang, yang sering terkena banjir rob akibat kenaikan permukaan laut, pendidikan lingkungan hidup tentang perubahan iklim telah diterapkan di sekolah-sekolah untuk meningkatkan kesadaran siswa tentang pentingnya adaptasi terhadap perubahan iklim di wilayah pesisir.

Secara keseluruhan, pendidikan lingkungan hidup di Indonesia telah membuktikan manfaatnya dalam berbagai aspek, mulai dari pengelolaan sampah, rehabilitasi ekosistem, hingga mitigasi perubahan iklim. Dengan terus memperluas dan memperdalam pendidikan ini, diharapkan generasi mendatang akan lebih siap dalam menghadapi tantangan lingkungan global dan memimpin upaya keberlanjutan untuk masa depan yang lebih hijau dan berkelanjutan.

Peran Pendidikan Lingkungan Hidup dalam Membangun Kesadaran Global

Pendidikan lingkungan hidup memegang peranan penting dalam membangun kesadaran global tentang pentingnya menjaga lingkungan dan keberlanjutan. Di era globalisasi ini, tantangan lingkungan yang dihadapi oleh satu negara dapat berdampak pada negara-negara lain, sehingga pendekatan yang bersifat global dalam hal pendidikan lingkungan hidup menjadi semakin relevan. Isu-isu seperti perubahan iklim, hilangnya keanekaragaman hayati, dan pencemaran air serta udara tidak mengenal batas-batas negara, sehingga menuntut kerjasama global dalam mencari solusi. Melalui pendidikan lingkungan hidup, masyarakat di seluruh dunia dapat dibekali dengan pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang diperlukan untuk berpartisipasi aktif dalam menjaga lingkungan.

Di Indonesia, pendidikan lingkungan hidup dapat berperan sebagai jembatan untuk membangun kesadaran tentang isu-isu global. Dengan memperkenalkan isu-isu lingkungan skala global seperti perubahan iklim, pencemaran laut akibat sampah plastik, dan degradasi hutan kepada para siswa, mereka akan menyadari bahwa tindakan mereka, baik besar maupun kecil, dapat mempengaruhi kesehatan bumi secara keseluruhan. Sebagai contoh, isu pencemaran plastik di lautan telah menjadi masalah serius yang berdampak pada seluruh dunia. Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia, merupakan salah satu penyumbang terbesar sampah plastik laut. Menurut penelitian yang diterbitkan oleh Jambeck et al. (2015), Indonesia menyumbang sekitar 3,2 juta ton sampah plastik ke laut setiap tahun. Hal ini menuntut peran aktif dari semua pihak, terutama melalui pendidikan lingkungan hidup, untuk mengatasi masalah ini secara global.

Contoh nyata upaya untuk membangun kesadaran global melalui pendidikan lingkungan hidup dapat dilihat pada inisiatif Gerakan Indonesia Diet Kantong Plastik (GIDKP). Gerakan ini tidak hanya bertujuan mengurangi penggunaan kantong plastik di dalam negeri, tetapi juga berkontribusi dalam upaya global untuk mengurangi sampah plastik di lautan. Melalui kampanye di sekolah-sekolah dan komunitas, gerakan ini berhasil meningkatkan kesadaran tentang dampak negatif plastik terhadap lingkungan laut. Dengan memberikan pemahaman kepada generasi muda mengenai bagaimana sampah plastik dari Indonesia dapat mencemari laut di seluruh dunia, gerakan ini membantu menumbuhkan kesadaran global di kalangan siswa dan masyarakat luas.

Selain itu, perubahan iklim merupakan tantangan lingkungan global lain yang mengharuskan adanya kerjasama internasional dalam penanganannya. Sebagai salah satu negara yang paling rentan terhadap dampak perubahan iklim, Indonesia memiliki peran penting dalam upaya mitigasi dan adaptasi perubahan iklim secara global. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, 2019) menyoroti bahwa peningkatan suhu global dan kenaikan permukaan laut memberikan dampak serius bagi negara-negara kepulauan seperti Indonesia. Pendidikan lingkungan hidup yang terintegrasi dalam kurikulum sekolah dapat membantu membentuk kesadaran generasi muda tentang pentingnya mitigasi perubahan iklim. Sebagai contoh, di beberapa wilayah pesisir seperti Pantai Utara Jawa, masyarakat sudah mulai merasakan dampak kenaikan permukaan laut yang menyebabkan banjir rob. Dengan mengedukasi siswa tentang pentingnya menjaga lingkungan, seperti melalui penanaman mangrove yang bisa mencegah abrasi dan melindungi pesisir, Indonesia bisa ikut serta dalam aksi global untuk mengurangi dampak perubahan iklim.

Pendidikan lingkungan hidup juga memberikan kesempatan bagi siswa di Indonesia untuk belajar dari pengalaman negara lain dalam mengatasi masalah lingkungan. Program-program seperti Eco-Schools yang diterapkan di berbagai negara, termasuk di Indonesia, memungkinkan siswa untuk berkolaborasi dengan siswa dari negara lain dalam proyek-proyek lingkungan global. Melalui pertukaran informasi dan pengalaman, siswa tidak hanya belajar cara-cara baru untuk menjaga lingkungan di tingkat lokal, tetapi juga memahami bagaimana tantangan lingkungan yang mereka hadapi berhubungan dengan isu-isu global yang lebih besar.

Pendidikan lingkungan hidup, dengan demikian, berperan penting dalam membentuk kesadaran global yang holistik. Dengan memberikan pemahaman mendalam tentang interkoneksi antara isu-isu lingkungan lokal dan global, pendidikan ini menyiapkan generasi muda untuk menjadi pemimpin masa depan yang bertanggung jawab terhadap lingkungan. Mereka tidak hanya akan berperan sebagai pelindung lingkungan di tingkat lokal, tetapi juga sebagai agen perubahan global yang berkomitmen untuk menjaga keberlanjutan planet kita.

Di masa depan, penting untuk terus memperluas cakupan pendidikan lingkungan hidup di Indonesia dan di seluruh dunia. Dengan menghadirkan kolaborasi lintas negara dan budaya, pendidikan ini dapat menciptakan generasi yang lebih sadar akan urgensi menjaga lingkungan dalam skala global, dan siap untuk menghadapi tantangan-tantangan lingkungan yang semakin kompleks.

Kesimpulan

Pendidikan lingkungan hidup adalah kunci untuk menghadapi tantangan global terkait keberlanjutan dan kesejahteraan bumi. Dari sekolah hingga masyarakat umum, pendidikan ini harus menjadi bagian integral dari

kehidupan sehari-hari agar generasi mendatang dapat hidup dalam keseimbangan dengan lingkungan. Di Indonesia, meskipun sudah ada langkah-langkah signifikan yang diambil melalui program seperti Adiwiyata dan inisiatif-inisiatif lainnya, masih banyak pekerjaan yang harus dilakukan untuk memperluas jangkauan pendidikan lingkungan di semua sektor masyarakat.

Daftar Pustaka

- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2019). Dampak Perubahan Iklim terhadap Pesisir Indonesia. Jakarta: BMKG.
- Gerakan Indonesia Diet Kantong Plastik (GIDKP). (2020). Laporan Tahunan GIDKP 2020: Menuju Indonesia Bebas Sampah Plastik. Jakarta: GIDKP.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., ... & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2018). Laporan Program Citarum Harum. Jakarta: KLHK.
- Sterling, S. (2001). Sustainable education: Re-visioning learning and change. *Schumacher Briefings*.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2019). Climate change and impacts on small island developing states. <https://unfccc.int/sids>

Profil Penulis



Nur Rezky Ramadhan, S.Si., M.Si.

Ketertarikan penulis terhadap dunia pendidikan dimulai pada 2013 silam. Hal tersebut membuat penulis memilih untuk masuk ke Universitas Negeri Makassar untuk mendapatkan gelar Sarjana Strata-1 pada Jurusan Matematika dan berhasil lulus pada tahun 2017. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan untuk mendapatkan gelar Master di Pascasarjana Universitas Negeri Makassar pada tahun 2018 dengan jurusan Matematika dan berhasil lulus pada tahun 2020.

Penulis memiliki kepakaran dibidang Pendidikan Matematika. Dan untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti dibidang kepakarannya tersebut. Beberapa penelitian yang telah dilakukan didanai oleh internal perguruan tinggi dan juga Kemenristek DIKTI. Selain peneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara.

Email Penulis: ramadhannurrezky@gmail.com

KONSEP DASAR EKOLOGI DAN EKOSISTEM

Lastiar Roselyna Sitompul, S.Si., M.Pd.
Universitas Pelita Harapan

Pendahuluan

Keberadaan kehidupan di muka bumi sangat bergantung pada kondisi bumi dan juga matahari. Kondisi planet bumi seperti air, tanah, hutan, padang rumput, lahan basah, lautan, danau, satwa liar, mineral, serta daur ulang alami yang terjadi adalah modal kehidupan di bumi, energi sinar matahari menjadi sumber energi utama yang dimanfaatkan tumbuhan sebagai produsen bagi makhluk lainnya. Lalu apa peran ekologi dalam keberlangsungan kehidupan? Ekologi adalah studi yang bertujuan untuk memahami hubungan yang kompleks antara makhluk hidup dan lingkungan. Pemahaman ekologi menjadi bagian penting bagi keberlangsungan kehidupan di Bumi. Ahli ekologi mempelajari hubungan antara organisme dan habitat mulai dari studi bakteri mikroskopis, hingga interaksi kompleks antara ribuan komunitas tumbuhan, hewan, dan organisme lainnya. Untuk mencapai tujuan ini perlu integrasi disiplin ilmu baik di dalam dan di luar biologi, seperti biokimia, fisiologi, evolusi, keanekaragaman hayati, biologi molekuler, geologi, dan klimatologi.

Ekosistem yang seimbang adalah dasar kehidupan yang berkelanjutan di bumi. Ekosistem adalah suatu sistem yang saling terkait antara organisme hidup (biotik) dan organisme tak hidup (abiotik). Dengan pemahaman ilmu ekologi, seseorang dapat mengetahui cara-cara menjaga keseimbangan, mengurangi gangguan, dan mencegah kerusakan yang bisa mengancam keberlangsungan hidup makhluk hidup, melakukan penelitian terhadap keanekaragaman hayati, dan bagaimana tiap spesies memiliki peran khusus dalam ekosistem. Ilmu ekologi memungkinkan kita mengidentifikasi spesies yang berperan penting dalam rantai makanan dan siklus ekosistem sehingga mendukung upaya konservasi. Pengetahuan ini sangat penting dalam mengembangkan strategi mitigasi dan adaptasi, seperti restorasi hutan, pelestarian lahan basah, dan pengelolaan karbon, membantu mengurangi dampak perubahan iklim yang berdampak pada peningkatan kualitas lingkungan hidup. Studi ekologi membantu manusia mengidentifikasi sumber polusi, memantau kualitas udara, air, dan tanah, serta menemukan solusi yang tepat untuk memperbaiki kualitas lingkungan. Hal ini berkontribusi pada kesehatan manusia dan kesejahteraan masyarakat secara keseluruhan. Pemahaman tentang ilmu ekologi juga menolong manusia merancang pembangunan berkelanjutan dengan menyediakan panduan penggunaan sumber daya alam secara bijaksana, memastikan bahwa sumber daya ini akan tetap tersedia untuk generasi mendatang tanpa merusak lingkungan. Perancangan pembangunan berkelanjutan akan mendukung manusia memprediksi dan mengendalikan bencana alam. Dengan memahami dinamika ekosistem, ahli ekologi dapat memprediksi pola kejadian bencana alam seperti banjir, kekeringan, dan kebakaran hutan. Hal ini membantu merencanakan strategi mitigasi dan penanganan untuk mengurangi dampak buruk bencana pada manusia dan lingkungan.

Tujuan Ilmu ekologi adalah mengkaji dan mempelajari bagaimana berbagai spesies berinteraksi satu sama lain, baik melalui simbiosis, predasi, kompetisi, maupun bentuk-bentuk interaksi lainnya. Hal ini penting untuk memahami dinamika populasi dan distribusi spesies dalam ekosistem. Ilmu ekologi menjelaskan struktur dan fungsi ekosistem (misalnya, rantai makanan, piramida ekologi) dan fungsi-fungsinya bekerja (aliran energi, siklus nutrisi), serta bagaimana energi dan materi mengalir melalui ekosistem. Pemahaman ini penting untuk menjaga keberlanjutan ekosistem. Kajian ekologi tentang faktor-faktor lingkungan abiotik seperti iklim, tanah, dan air memengaruhi kehidupan dan distribusi organisme. Hal ini memungkinkan kita untuk memahami batas toleransi spesies terhadap perubahan lingkungan. Ekologi bertujuan untuk memberikan landasan ilmiah bagi upaya konservasi sumber daya alam dan keanekaragaman hayati. Dengan memahami ekologi, dapat mengembangkan praktik yang mendukung keberlanjutan lingkungan dan melindungi spesies dari kepunahan. Ekologi memberikan informasi tentang bagaimana sumber daya alam dapat dikelola secara berkelanjutan. Misalnya, dengan memahami siklus air dan ekologi hutan, kita dapat mengembangkan metode untuk pengelolaan air, tanah, dan sumber daya hayati lainnya. Ekologi dapat dipelajari dengan fokus pada hewan atau tumbuhan, dikenal dengan ekologi hewan dan ekologi tumbuhan. Ekologi hewan tidak dapat dipahami secara memadai kecuali dengan latar belakang ekologi tumbuhan.

Sinekologi adalah studi tentang komunitas, dan autekologi adalah studi tentang spesies. Studi yang lebih luas tentang komunitas, termasuk keterkaitan spesies dan struktur dan fungsi komunitas serta hubungan lingkungan (Sinekologi), umumnya disebut —bioekologi atau “biososiologi.”

Konsep Dasar Ekologi

Kata ekologi berasal dari kata Yunani 'Oikos yang berarti tempat tinggal, dan logos yang berarti Ilmu atau studi, menyiratkan studi tentang tempat tinggal organisme. Ekologi berarti hubungan organisme dengan lingkungan organik dan anorganiknya. Ekologi adalah studi ilmiah tentang interaksi antara makhluk hidup dan lingkungannya, dengan komponen fisika dan kimia, dan untuk memahami pola yang ditimbulkan oleh interaksi ini secara distribusi geografis dari berbagai macam organisme yang melimpah (Schmitz.OJ, 2013). Menurut Haeckel (1866) dalam (Egerton, 2013) ekologi adalah “studi sistematis tentang hubungan organisme antara mereka sendiri dan lingkungan sekitarnya.” Komponen ekosistem abiotik dan biotik dan unsur abiotik semuanya saling berhubungan melalui siklus nutrisi dan aliran energi. Konsep dasar ekologi mencakup prinsip-prinsip fundamental yang mendefinisikan hubungan antara organisme dengan lingkungannya serta interaksi yang terjadi di dalam ekosistem. Berikut adalah beberapa **konsep utama** dalam ekologi:

1. Ekosistem

Ekosistem adalah sistem ekologis yang terdiri dari komponen biotik (makhluk hidup) dan komponen abiotik (faktor lingkungan) yang berinteraksi secara teratur. Komponen biotik: meliputi produsen (seperti tumbuhan yang melakukan fotosintesis), konsumen (herbivora, karnivora, omnivora), dan pengurai (organisme seperti bakteri dan jamur yang menguraikan bahan organik mati). Abiotik: meliputi cahaya, air, suhu, tanah, dan nutrisi yang mempengaruhi kehidupan organisme dalam ekosistem.

2. Rantai Makanan dan Jaring-jaring Makanan

Rantai Makanan: Urutan transfer energi dari satu organisme ke organisme lain melalui proses makan dan dimakan. Rantai makanan dimulai dari produsen dan berlanjut ke konsumen tingkat pertama (herbivora), tingkat kedua (karnivora), dan seterusnya. Jaring-jaring makanan adalah kumpulan rantai makanan yang saling berhubungan dalam suatu ekosistem. Ini menunjukkan bahwa satu organisme bisa memiliki beberapa peran dalam ekosistem, seperti memakan lebih dari satu jenis makanan atau dimakan oleh beberapa jenis predator.

3. Aliran Energi

Energi mengalir melalui ekosistem dalam satu arah, dari matahari ke produsen (melalui fotosintesis) dan kemudian ke berbagai tingkatan konsumen melalui rantai makanan. Aliran energi ini mengikuti hukum termodinamika, di mana sebagian energi hilang sebagai panas setiap kali berpindah dari satu tingkatan trofik ke tingkatan berikutnya, menyebabkan penurunan jumlah energi yang tersedia di setiap tingkatan.

4. Siklus Biogeokimia

Siklus biogeokimia adalah sirkulasi unsur-unsur kimia seperti karbon, nitrogen, oksigen, dan fosfor antara komponen biotik dan abiotik dalam ekosistem. Contoh: Siklus karbon melibatkan pertukaran karbon antara atmosfer, biosfer, hidrosfer, dan geosfer. Proses-proses seperti fotosintesis, respirasi, dekomposisi, dan pembakaran bahan bakar fosil memainkan peran dalam perputaran karbon di alam.

5. Produktivitas Ekosistem

Produktivitas Primer: Jumlah energi yang ditangkap dan diubah oleh produsen (misalnya, tumbuhan hijau) menjadi biomassa melalui fotosintesis. Ini merupakan sumber energi utama untuk semua organisme dalam ekosistem. Produktivitas Sekunder: Jumlah energi yang tersimpan dalam biomassa konsumen (hewan herbivora, karnivora, dan omnivora) setelah memperoleh energi dari produsen atau konsumen lain. Produktivitas Bruto versus Produktivitas Bersih: Produktivitas primer bruto adalah total energi yang dihasilkan oleh produsen, sedangkan produktivitas primer bersih adalah energi yang tersisa setelah digunakan untuk respirasi.

6. Dinamika Populasi

Populasi: Sekelompok organisme dari spesies yang sama yang tinggal di area tertentu dan memiliki kemampuan untuk berinteraksi dan berkembang biak. Pertumbuhan populasi tumbuh secara eksponensial atau logistik, bergantung pada ketersediaan sumber daya, kompetisi, dan faktor-faktor lain. Faktor yang mempengaruhi adalah dinamika populasi dipengaruhi oleh natalitas, mortalitas, imigrasi, dan emigrasi (keluarnya individu dari populasi).

7. Interaksi Antar organisme

Jenis-jenis interaksi kompetisi: terjadi ketika dua atau lebih spesies atau individu bersaing untuk sumber daya yang terbatas. Predasi: Interaksi di mana satu organisme (predator) memangsa organisme lain. Simbiosis merupakan interaksi erat antara dua organisme, termasuk mutualisme (keduanya diuntungkan), komensalisme (satu diuntungkan, satu tidak terpengaruh), dan parasitisme (satu diuntungkan, satu dirugikan).

8. Keseimbangan Ekosistem dan Homeostasis

Ekosistem cenderung memiliki keseimbangan dinamis, di mana populasi dan proses ekologis saling menyeimbangkan dalam kondisi stabil. Homeostasis ekosistem adalah kemampuan ekosistem untuk mempertahankan keseimbangannya meskipun terdapat gangguan. Homeostasis memungkinkan ekosistem untuk pulih dari perubahan atau gangguan hingga batas tertentu. Ekosistem adalah hal mendasar satuan ekologi, terdiri dari autotrofik dan komponen heterotrofik dan pengaruh abiotik. Akibatnya, proses kehidupan dalam kumpulan organisme multispecies dan interaksinya dengan lingkungan abiotik berdampak pada aktivitas ekosistem (Elmqvist, 2013). Proses ekologis memungkinkan penyampaian jasa ekosistem yang penting bagi kesejahteraan manusia (Costanza et al., 1998). Jasa ekosistem mungkin didefinisikan sebagai aktivitas ekologis manusia.

Ruang Lingkup Ekologi

Ruang lingkup ekologi meliputi

1. Ekologi Individu (Autoekologi), mempelajari hubungan antara organisme individu dan lingkungan abiotiknya. Misalnya, bagaimana satu spesies beradaptasi dengan suhu ekstrem atau sumber makanan tertentu di habitatnya.
2. Ekologi Populasi, fokuskan pada kelompok organisme dari spesies yang sama yang hidup di area tertentu. Ekologi populasi meneliti dinamika populasi, pertumbuhan, kepadatan, dan distribusi suatu spesies, serta faktor-faktor yang mempengaruhinya.

3. Ekologi Komunitas, mengkaji interaksi antara berbagai spesies yang hidup di habitat yang sama dan membentuk komunitas. Ruang lingkup ini meliputi studi tentang kompetisi, predasi, mutualisme, dan aliansi antarspesies.
4. Ekologi Ekosistem, memahami aliran energi dan siklus nutrisi di antara komponen biotik dan abiotik dalam suatu ekosistem. Ekologi ekosistem mencakup studi tentang rantai makanan, jaring-jaring makanan, produktivitas ekosistem, dan peran komponen abiotik.
5. Ekologi Lanskap, mengamati pola dan proses ekologis dalam lanskap yang lebih luas, termasuk interaksi antara beberapa ekosistem yang berbeda. Ini mencakup studi tentang fragmentasi habitat, penggunaan lahan, dan dampaknya terhadap keanekaragaman hayati.
6. Ekologi Global dan Perubahan Lingkungan, mempelajari fenomena yang memengaruhi biosfer secara global, seperti perubahan iklim, polusi global, dan hilangnya keanekaragaman hayati. Ini juga melibatkan penelitian tentang bagaimana berbagai ekosistem berinteraksi dalam skala global.

Struktur Ekosistem

Struktur ekosistem dapat dibagi menjadi beberapa komponen utama: Komponen biotik yakni *Produsen*: sebagai organisme yang mampu menghasilkan makanan sendiri melalui fotosintesis (contoh: tumbuhan).

Konsumen: Organisme yang memakan produsen atau organisme lain untuk mendapatkan energi (contoh: herbivora, karnivora, dan omnivora).

Pengurai: Organisme yang menguraikan bahan organik mati menjadi zat-zat yang lebih sederhana, sehingga nutrisi dapat kembali ke tanah (contoh: bakteri, jamur).

Komponen Abiotik: Unsur-unsur yang tidak hidup yang mempengaruhi ekosistem, seperti air, tanah, cahaya matahari, suhu, dan mineral.

Habitat: Tempat tinggal suatu organisme dalam ekosistem.

Niche: Peran atau fungsi suatu organisme dalam ekosistem, termasuk bagaimana ia mendapatkan makanan dan berinteraksi dengan organisme lain.

Fungsi Ekosistem

Fungsi ekosistem berkaitan dengan proses dan peranan yang diberikan oleh ekosistem kepada makhluk hidup, termasuk:

1. *Produksi Energi*: Proses fotosintesis oleh produsen mengubah energi matahari menjadi energi kimia yang tersimpan dalam makanan.
2. *Siklus Nutrisi*: Nutrisi bergerak melalui ekosistem melalui rantai makanan dan daur ulang oleh pengurai, memastikan keberlangsungan kehidupan.
3. *Regulasi Iklim*: Ekosistem membantu mengatur iklim dengan mempengaruhi suhu, kelembapan, dan kualitas udara.
4. *Pengendalian Erosi dan Penyediaan Air*: Vegetasi mencegah erosi tanah dan membantu menjaga keseimbangan siklus air dengan menyerap dan menyimpan air.

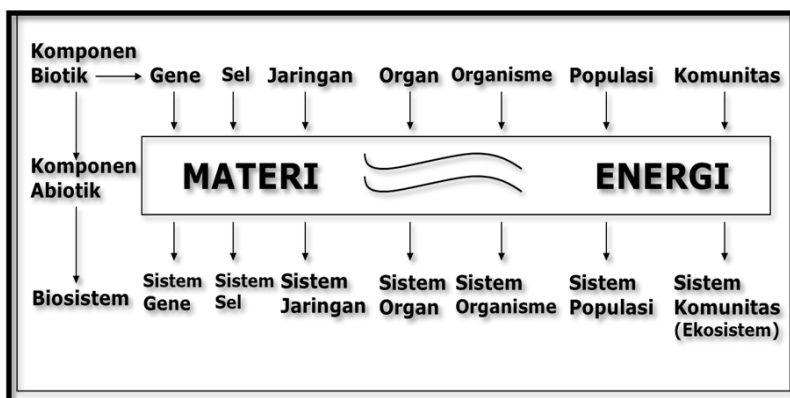
5. *Habitat dan Biodiversitas*: Ekosistem menyediakan tempat tinggal bagi berbagai spesies, yang mendukung biodiversitas dan membantu dalam pemeliharaan ekosistem.
6. *Layanan Ekosistem*: Ekosistem memberikan layanan seperti penyediaan makanan, obat-obatan, dan bahan baku, serta mendukung kegiatan rekreasi dan pariwisata.

Kompleksitas Ekologis dan Tingkat Organisasi

Kompleksitas lingkungan dapat muncul dalam berbagai cara (Loehle, 2004). Ekosistem dikenal dalam biologi sistem sebagai sesuatu sistem adaptif yang kompleks (Hartvigsen, 1998). Ekosistem terorganisir sendiri sedemikian rupa sehingga terjadi degradasi energi yang cepat. Ekologi mempelajari organisme, populasi, komunitas, ekosistem, lanskap, dan biosfer di banyak tingkat organisasi, termasuk organisme individu. Individu dan interaksi dengan lingkungannya adalah organisme pada tingkat individu. Individu dari spesies apa pun dapat ditemukan dalam kelompok pada tingkat populasi, berlaku untuk semua spesies. Interaksi populasi makhluk hidup dengan komponen lingkungan tak hidup sebagai suatu sistem disebut tingkat ekosistem (Smith and Smith, 2012). Kata "lanskap" mengacu pada kumpulan ekosistem yang berinteraksi dan diduplikasi secara sebanding dalam skala wilayah yang luas (Forman, R. T. T. and Godron, 1986). Pada akhirnya dalam bentuknya, ekosfer adalah yang terluas di dunia, sebagai sistem biologis yang otonom, termasuk semua spesies hidup di bumi yang berinteraksi dengan lingkungan fisik dengan mekanisme saling terkait dalam mengatur dirinya (Odum Eugene, 2005).

Ekologi Ekosistem adalah Studi tentang dua jenis ekologi adalah autekologi (the studi tentang organisme individu dan populasi) dan sinekologi (ekologi hubungan antara

organisme dan populasi). Ekologi ekosistem adalah pendekatan yang digunakan untuk melaksanakan sinekologi. Jumlah energi atau materi yang pergi melalui suatu sistem dianggap sebagai dimensional unit dalam studi ekosistem (Jorgensen, 2009). Akibatnya, ekologi ekosistem memperhatikan perubahan, pergerakan, dan akumulasi energi dan materi dalam suatu ekosistem (Agren, et al. 1998). Studi tentang interaksi organisme dengan lingkungannya juga termasuk dalam ekologi ekosistem (Chapin. et. al, 2011). Seiring berjalannya waktu, ungkapan ekologi ekosistem telah berkembang dan menjadi lebih holistik. Interkoneksi alam dan sistem sosial memerlukan penggunaan sudut pandang holistik (Frid and Raffaelli 2010). Interaksi masyarakat dengan ekosistem sesuatu yang rumit dalam konsekuensinya sebagai layanan lingkungan hidup. Ekologi ekosistem mempelajari tentang ide-ide yang berasal dari penatalayanan sosial-ekologis yang memungkinkan individu untuk meningkatkan ketahanan ekosistem dan kesejahteraan manusia akibat perubahan sosial-ekologis (Elegbede, 2020).



Skema 2.1: Spektrum tingkatan organisasi ekologi yang menekankan interaksi komponen hidup (biotik) dan tak hidup (abiotik). Odum (2005).

Dinamika Ekosistem

Dinamika ekosistem menggambarkan perubahan dan interaksi yang terjadi di dalam sebuah ekosistem, termasuk antara makhluk hidup (komponen biotik) dan lingkungan fisik (komponen abiotik). Beberapa faktor utama yang memengaruhi dinamika ekosistem adalah:

Aliran Energi: Energi dari matahari masuk ke ekosistem melalui fotosintesis, di mana tumbuhan menghasilkan makanan yang kemudian dimanfaatkan oleh hewan dan organisme lainnya. Energi ini mengalir dari satu tingkat trofik ke tingkat trofik lainnya melalui rantai makanan dan jaring-jaring makanan.

Siklus Materi: Ekosistem mendaur ulang materi seperti karbon, nitrogen, dan fosfor melalui proses seperti fotosintesis, respirasi, dekomposisi, dan siklus biogeokimia lainnya.

Interaksi Antar Spesies: Interaksi antar spesies, seperti predasi, kompetisi, dan simbiosis (misalnya mutualisme, parasitisme, dan komensalisme), mempengaruhi struktur populasi dan komunitas dalam ekosistem.

Perubahan Populasi: Jumlah individu dalam suatu populasi dapat berubah karena berbagai faktor, seperti sumber daya, predator, dan iklim. Dinamika ini sering mengikuti pola tertentu, misalnya siklus populasi atau pola pertumbuhan yang dapat stabil atau fluktuatif.

Disturbansi dan Suksesi: Gangguan seperti kebakaran, banjir, atau aktivitas manusia dapat mengubah komposisi ekosistem. Setelah terjadi gangguan, ekosistem bisa mengalami proses suksesi, di mana ekosistem berusaha untuk pulih dan menuju ke kondisi yang lebih stabil.

Adaptasi dan Evolusi: Organisme dalam ekosistem terus beradaptasi dengan lingkungannya. Seiring waktu, dapat berevolusi untuk bertahan hidup dalam kondisi yang berubah.

Suksesi ekosistem adalah proses perubahan teratur dalam struktur komunitas makhluk hidup di suatu area seiring waktu, menuju kondisi ekosistem yang lebih stabil. Suksesi terbagi menjadi:

1. Suksesi Primer

Terjadi di lingkungan baru yang sebelumnya tidak memiliki kehidupan, seperti area vulkanik setelah letusan, gletser yang surut, atau tebing batu yang terpapar. Dimulai oleh spesies pionir seperti lumut dan ganggang yang mampu hidup dalam kondisi ekstrem. Spesies ini membantu membentuk tanah dari batuan atau material anorganik lainnya. Seiring waktu, tanah terbentuk, memungkinkan tumbuhan lebih besar seperti rerumputan dan semak untuk tumbuh, diikuti oleh tanaman berbunga, pohon, dan akhirnya hutan yang matang. Proses ini lambat karena harus dimulai dari nol (tanpa tanah), dan bisa berlangsung ratusan hingga ribuan tahun.

2. Suksesi Sekunder

Terjadi di area yang sebelumnya memiliki kehidupan namun mengalami gangguan, seperti setelah kebakaran hutan, banjir, atau aktivitas manusia yang merusak lahan. Tanah dan biji-bijian seringkali masih ada, memungkinkan tumbuhan untuk tumbuh lebih cepat dibandingkan pada suksesi primer. Suksesi sekunder lebih cepat dan dimulai dari spesies tumbuhan yang cepat tumbuh, diikuti oleh semak dan pohon muda, hingga akhirnya mencapai kondisi klimaks atau stabil.

3. Suksesi Autotrofik

Suksesi yang ditandai dengan dominasi awal dan berkelanjutan dari organisme autotrofik seperti tumbuhan hijau. Suksesi ini dimulai di lingkungan yang didominasi anorganik dan aliran energi dipertahankan tanpa batas. Terjadi peningkatan bertahap dalam kandungan bahan organik yang didukung oleh aliran energi.

4. Suksesi Heterotrofik

Suksesi yang ditandai dengan dominasi heterotrof awal, yaitu jamur, bakteri, dan hewan. Suksesi dimulai di lingkungan yang didominasi organik, dan terjadi penurunan progresif dalam kandungan energi.

5. Suksesi Terinduksi

Komunitas klimaks memiliki produktivitas rendah dibandingkan dengan komunitas awal. Dalam komunitas klimaks, respirasi hampir menyeimbangkan produksi bahan organik. Oleh karena itu, sangat sedikit yang tersisa untuk dipanen manusia.

6. Suksesi Alogenik

Suksesi alogenik terjadi karena perubahan lingkungan yang besar di luar kendali organisme asli. Badai debu, angin, periode kering mengubah pola vegetasi. Habitat diubah oleh aksi faktor luar seperti perubahan iklim, pencucian nutrisi tanah, peningkatan konsentrasi garam tanah dan pengendapan garam atau pasir.

7. Suksesi Autogenik

Suksesi yang dihasilkan dari populasi penduduk yang mengubah lingkungannya sendiri. Misalnya, tanaman dalam keadaan perkembangannya menghasilkan

perubahan habitat pada awalnya untuk mendukung pertumbuhan mereka tetapi perubahan berlanjut melampaui yang optimal sehingga habitat menjadi tidak cocok untuk mereka. Ini membuka jalan bagi pertumbuhan jenis komunitas tanaman lain.

8. Suksesi Retrogresi

Kadang-kadang vegetasi klimaks dapat memburuk dan digantikan oleh komunitas tahap suksesi sebelumnya karena efek destruktif organisme. Kadang-kadang perkembangan komunitas yang terganggu tidak terjadi dan proses suksesi progresif menjadi retrogresif, misalnya, hutan dapat berubah menjadi semak belukar atau padang rumput.

9. Suksesi yang Menyimpang

Suksesi di mana vegetasi tidak melewati tahap perkembangan normal tetapi menambah atau mengganti jenis suksesi.

10. Serula (Mikrosere)

Merujuk pada suksesi mikroorganisme seperti jamur, bakteri, aktinomiset, dan lain-lain, yang terjadi di dalam mikrohabitat seperti batang kayu yang tumbang atau membusuk, pohon, kulit kayu, atau lainnya. Serula bersifat heterotrofik dan dimulai pada substrat yang kaya akan bahan organik.

Tahapan dalam Suksesi

Tahap Pionir: Dimulai oleh spesies yang tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrim dan mampu mendominasi area baru. Tahap pertumbuhan dan diversifikasi: Spesies baru masuk, meningkatkan keanekaragaman hayati. Tanah menjadi lebih subur, dan komunitas tumbuhan serta hewan lebih kompleks.

Tahap Lichen Foliosa: Lichen foliosa melekat pada substratum pada satu titik atau sepanjang satu tepi muncul, segera setelah sedikit tanah terkumpul pada bagian batu yang tidak terlapukkan dan pada cekungan atau situasi lain yang sedikit kurang terbuka. Lichen foliosa perlahan menggantikan bentuk krustosa. Tallus seperti daun yang mengembang ini dapat sepenuhnya menutupi lichen krustosa yang menyebabkan spesies krustosa mati dan membusuk. Di atas penyerbu berdaun, air memiliki peluang lebih baik untuk terkumpul dan diserap. Penguapan sangat berkurang. Fragmen lichen yang terbawa angin dan air serta partikel debu mengendap dan humus terakumulasi lebih cepat karena oksidasi yang kurang cepat. Asam yang dihasilkan oleh tanaman hidup dan membusuk terus-menerus menggerogoti bebatuan. Mungkin saja perubahan dari lichen krustosa menjadi foliosa merupakan perubahan habitat. Setelah krustosa berganti spesies foliosa seperti *Dermatocarpon*, *Parmelia*, *Umbilicaria*.

Tahap lumut: Begitu jumlah tanah cukup terkumpul di celah-celah kecil dan cekungan, lumut xerofit mulai muncul seperti spesies *Gerimmia*, *Polytrichum*, dan *Tortula*. Batang lumut yang tegak sering kali melebihi lumut daun dalam hal ketinggian. Lumut membentuk lapisan tebal dan berperan penting dalam membangun substrat tanah yang tebal. Pertumbuhan, kematian, dan pembusukannya yang terus-menerus selama beberapa tahun menghasilkan tanah yang baik yang sangat cocok untuk pertumbuhan tumbuhan herba.

Tahap Herba: Reaksi pembentukan dan penahanan tanah pada lumut sangat jelas sehingga benih beberapa herba xerofit, khususnya herba tahunan berumur pendek, segera dapat berkecambah dan tumbuh hingga dewasa. Mereka tumbuh lambat dan menunjukkan pertumbuhan terhambat karena tanahnya belum terlalu baik dan

kekurangan nutrisi. Kondisi kekeringan juga terjadi. Akar herba xerofit ini terus tumbuh dan menggerogoti bebatuan. Sisa-sisanya yang mati semakin memperkaya tanah dan lebih banyak humus terkumpul. Bergantung pada tanaman yang tumbuh di komunitas sekitar, herba yang menyerbu adalah *Potentilla*, *Solidago*, dan *Saxifraga*. Pertumbuhan organisme tersebut membuat kondisi tidak terlalu kering. Bakteri, jamur, dan mikrofauna muncul bersama rerumputan. Kematian dan pembusukan tumbuhan ini semakin menambah lapisan tanah.

Tahap perdu: Perdu berkayu seperti *Rhus glabra*, atau *Rubus* dan *Sassafras* menyerbu area ini. Keteduhannya membuat pertumbuhan herba menjadi tidak mungkin dan karenanya mereka menghilang. Kelembaban meningkat dan kecepatan angin menurun. Penambahan bahan organik ke tanah meningkatkan kapasitas tanah menahan air, tekstur dan strukturnya berubah sehingga benih pohon menemukan tempat yang cocok untuk tumbuh.

Tahap Klimaks: Ekosistem mencapai keseimbangan, di mana spesies yang lebih besar dan lama hidup, seperti pohon besar, mendominasi. Kondisi ini disebut komunitas klimaks, yang relatif stabil dan akan bertahan sampai ada gangguan baru. Contoh suksesi primer: Pertumbuhan lumut dan ganggang di daerah bekas aliran lava. Contoh suksesi sekunder: hutan kembali tumbuh setelah kebakaran; dalam beberapa tahun, semak dan pohon mulai muncul kembali.

Konsep suksesi memegang peranan penting, terdapat pola yang sangat jelas dan dapat diprediksi melalui berbagai tahap perkembangan hingga tahap akhir, yang masing-masing memiliki ukuran efisiensi dan keanekaragaman yang berbeda seiring dengan perkembangan komunitas. Proses yang terlibat dalam suksesi seperti, spesies aktual yang terlibat dalam proses di area tertentu, dipengaruhi

oleh area geologi, sejarah, iklim mikro, cuaca, jenis tanah, dan faktor lingkungan lainnya. Periode waktu suksesi tidak pasti dan dapat bervariasi dalam skala waktu, mulai dari beberapa hari hingga ratusan tahun. Diperlukan waktu ratusan tahun bagi serangkaian hutan klimaks untuk berkembang, sedangkan serangkaian invertebrata dan jamur dalam satu kotoran sapi dapat berakhir hanya dalam waktu 3 bulan. Kotoran tersebut akan berubah menjadi humus, dan nutrisi didaur ulang kembali ke dalam tanah. Apakah manusia terpengaruh oleh suksesi ekologi? Jawabannya adalah ya. Suksesi ekologi bukanlah buatan manusia tetapi kekuatan alam. Ekosistem sebagaimana kita pahami berada dalam keadaan perubahan dan restrukturisasi yang berkelanjutan.

Daftar Pustaka

- Agren. (1998). *Theoretical Ecosystem Ecology: Understanding Element Cycles*. Cambridge University Press.
- Chapin. et. al. (2011). *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1998). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics*, 25(1), 3–15. [https://doi.org/10.1016/s0921-8009\(98\)00020-2](https://doi.org/10.1016/s0921-8009(98)00020-2)
- Egerton, F. N. (2013). History of Ecological Sciences, Part 47: Ernst Haeckel's Ecology. *The Bulletin of the Ecological Society of America*, 94(3), 222–244. <https://doi.org/10.1890/0012-9623-94.3.222>
- Elegbede, I. O. (2020). Encyclopedia of Sustainable Management. *Encyclopedia of Sustainable Management*, October. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-02006-4>
- Elmqvist, E. a. (2013). Regional assessment of Africa. In *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities: A Global Assessment*. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1_23
- Forman, R. T. T. and Godron, M. (1986). Landscape ecology: The state-of-the-science. In *Key Topics in Landscape Ecology* (Issue September). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511618581.016>
- Frid, R. (2010). *Ecosystem Ecology a new synthesis*. Cambridge University Press.
- Hartvigsen, G. (1998). *Complex Adaptive Systems: Use and Analysis of Complex Adaptive Systems in Ecosystem Science: Overview of Special Section*. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s100219900036>
- Jorgensen. (2009). *Ecosystem Ecology* (1st ed.). Academic Press.

- Loehle, C. (2004). Climate change: Detection and attribution of trends from long-term geologic data. *Ecological Modelling*, 171(4), 433–450. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.08.013>
- Odum Eugene. (2005). *FUNDAMENTALS OF ECOLOGY*. Thomson Brooks/Cole.
- Schmitz.OJ. (2013). *Ecology and Ecosystem Conservation*. Island Press.
- Smith and Smith. (2012). *Elements of Ecology*. Pearson Benjamin Cummings, 2012.

Profil Penulis



Lastiar Roselyna Sitompul, S.Si., M.Pd.

adalah dosen tetap di Universitas Pelita Harapan-Fakultas Ilmu Pendidikan, Program Studi Pendidikan Biologi sejak tahun 2014 dengan spesifikasi bidang yang ditekuni adalah Ilmu Pendidikan, mengampu mata kuliah Belajar dan Mengajar, Komunitas Belajar dan PSAP Biologi dan Biologi Umum. Penulis menyelesaikan S-1 di Universitas Sumatera Utara dari Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam jurusan Biologi, menyelesaikan pendidikan pada tahun 1995. Selanjutnya menyelesaikan Pendidikan S-2 Program Studi Teknologi Pendidikan di Universitas Pelita Harapan pada tahun 2011. Pengalaman mengajar sebelum dosen, yaitu pernah sebagai guru mata pelajaran Biologi di SMA Kristen Almasih Jakarta Barat (1998 – 2003), guru mata pelajaran Biologi di SMA Kristen Kanaan Jakarta Pusat (2003-2009). Setelah menyelesaikan pendidikan Magister Pendidikan di UPH, mengajar sebagai guru mata pelajaran Biologi di UPH College (2011-2014). Buku yang ditulis berkolaborasi dengan penulis lainnya diantaranya berjudul pendekatan pembelajaran guru, perkembangan peserta didik, strategi-strategi pembelajaran. Selain Ilmu pendidikan, bidang yang diminati menulis adalah bidang biologi informatika, genetika dan ekologi.

Email Penulis: [Lastiar.sitompul@uph.edu](mailto>Lastiar.sitompul@uph.edu).

PERUBAHAN IKLIM: PENYEBAB, DAMPAK DAN MITIGASI

I Gede Herry Purnama, S.T., M.T., MIDEA.
Universitas Udayana

Pengantar

Perubahan iklim adalah salah satu tantangan paling mendesak yang dihadapi oleh umat manusia pada abad ke-21. Fenomena ini mengacu pada perubahan jangka panjang dalam pola suhu dan cuaca di bumi, yang sebagian besar disebabkan oleh aktivitas manusia. Sejak Revolusi Industri pada akhir abad ke-18, penggunaan bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam telah meningkat secara eksponensial, mengakibatkan pelepasan karbon dioksida (CO₂) dan gas rumah kaca (GRK) lainnya ke atmosfer dalam jumlah yang besar. Hal ini memperkuat efek rumah kaca, di mana panas matahari yang terperangkap di atmosfer tidak sepenuhnya dilepaskan kembali ke luar angkasa, menyebabkan peningkatan suhu global secara bertahap (*Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021*).

Bukti ilmiah menunjukkan bahwa perubahan iklim bukan sekadar fenomena baru atau alami yang terjadi secara kebetulan. Data dari *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dan organisasi iklim global lainnya menunjukkan bahwa suhu rata-rata global telah meningkat lebih dari 1,1°C sejak era pra-industri (sekitar

tahun 1850), dengan dekade terakhir tercatat sebagai periode terpanas dalam sejarah modern (NASA, 2020). Kenaikan suhu ini diiringi oleh fenomena cuaca ekstrem yang semakin sering dan intens, seperti gelombang panas, badai besar, kekeringan, dan banjir, yang memengaruhi jutaan orang di seluruh dunia.

Tidak hanya itu, dampak dari perubahan iklim juga merambah ke berbagai aspek kehidupan manusia, termasuk ekonomi, kesehatan, dan keberlanjutan lingkungan. Organisasi internasional, seperti *World Meteorological Organization* (WMO), telah memperingatkan bahwa jika tidak ada tindakan mitigasi yang signifikan, suhu global dapat meningkat hingga 2°C atau lebih pada akhir abad ini, yang berpotensi menimbulkan kerugian besar bagi perekonomian dunia dan kesejahteraan masyarakat (WMO, 2019). Suhu yang lebih tinggi akan memperparah pencairan es di wilayah kutub, mengakibatkan kenaikan permukaan laut yang mengancam wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil.

Perubahan iklim juga memicu serangkaian perubahan ekosistem yang kompleks. Berbagai studi menunjukkan bahwa perubahan suhu dan pola curah hujan telah mengganggu habitat alami banyak spesies, menyebabkan migrasi, perubahan perilaku, dan bahkan kepunahan. Ekosistem seperti terumbu karang sangat rentan terhadap peningkatan suhu laut, yang memicu pemutihan karang massal dan mengancam keberlanjutan keanekaragaman hayati laut (*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*, 2019). Tanpa langkah-langkah konservasi yang kuat, dampak perubahan iklim terhadap ekosistem dapat menyebabkan hilangnya fungsi ekosistem penting yang mendukung kehidupan manusia, seperti penyediaan air bersih dan penyimpanan karbon.

Situasi ini memerlukan respon global yang terkoordinasi untuk menanggulangi perubahan iklim. Perjanjian Paris tahun 2015 merupakan tonggak sejarah dalam upaya kolektif untuk mengurangi emisi GRK dan menjaga peningkatan suhu global agar tidak melebihi 1,5°C. Meski demikian, tantangan tetap ada, karena berbagai negara memiliki tingkat emisi yang berbeda-beda dan menghadapi kendala ekonomi serta politik dalam menerapkan kebijakan iklim yang efektif. Penelitian menunjukkan bahwa untuk mencapai target nol emisi bersih pada pertengahan abad ini, diperlukan transformasi yang cepat dan radikal dalam penggunaan energi, teknologi industri, praktik pertanian, serta pola konsumsi masyarakat (IPCC, 2018).

Pemanasan global (global warming) dan perubahan iklim tidak hanya dialami oleh sebagian wilayah di bumi saja, tetapi keseluruhan, tidak terkecuali Indonesia. Sebagai negara kepulauan, luasnya lautan di Indonesia memberikan efek terhadap pemanasan global dan perubahan iklim. Meningkatnya efek pemanasan global dan perubahan iklim terjadi karena gaya hidup dan kebutuhan manusia yang masif dan instan, termasuk dalam penggunaan teknologi. Penggunaan teknologi dari hasil bumi, misalnya minyak bumi, gas dan mineral lainnya dapat merusak lingkungan. Selain mengakibatkan pencemaran lingkungan, pemanfaatan teknologi dari hasil bumi dapat berpengaruh langsung terhadap pemanasan global. Faktor lain yang berpengaruh terhadap pemanasan global adalah perubahan penggunaan lahan.

Peningkatan penggunaan hasil bumi terutama penggunaan bahan bakar fosil dan perubahan penggunaan lahan dapat meningkatkan jumlah gas rumah kaca ke atmosfer bumi. Gas rumah kaca ini diantaranya seperti Karbon Dioksida (CO₂), Metana (CH₄), dan Nitrogen Dioksida

(NO₂). Salah satu akibat dari peningkatan gas rumah kaca ini adalah meningkatnya panas yang tertahan di bumi. Peningkatan panas ini menyebabkan efek rumah kaca yang menyebabkan iklim berubah. Peningkatan iklim global disertai dengan intensitas gelombang panas. Suhu yang ekstrim dapat menyebabkan kematian. Bahaya perubahan iklim di Indonesia dicirikan antara lain dengan kenaikan temperature, perubahan pola hujan dan kenaikan muka air laut. Secara langsung perubahan iklim tersebut dapat berpengaruh terhadap jalur kontaminasi mikroba, transmisi dinamis, hidrologi, social ekonomi dan Kesehatan.

Ancaman perubahan iklim adalah nyata dan berdampak signifikan terhadap kehidupan. Perubahan habitat dan punahnya spesies adalah dampak nyata yang diakibatkan oleh perubahan iklim. Kenaikan suhu Bumi, kenaikan muka air laut, terjadinya banjir dan badai sebagai akibat cuaca ekstrem akan membawa dampak perubahan besar terhadap kondisi habitat sebelumnya yang secara alami sebagai tempat tinggal berbagai spesies binatang, tumbuhan maupun organisme yang lain. Dampak perubahan habitat ini tidak terlepas dari rusaknya habitat yang akan mempengaruhi keberlangsungan hidup makhluk hidup yang selama ini bergantung pada habitat tersebut. Punahnya berbagai spesies menjadi ancaman yang nyata ketika habitat menjadi rusak sehingga akan mempengaruhi secara langsung pada ekosistem dan rantai makanan. Kondisi hutan sendiri, ancaman akan perubahan iklim mengarahkan pada permasalahan kualitas dan kuantitas hutan serta meningkatnya gas rumah kaca akibat penggundulan hutan. Perubahan iklim mempengaruhi siklus hujan serta meningkatkan kejadian kekeringan berkepanjangan dan jumlah curah hujan ekstrem. Saat kekeringan melanda, pasokan air menjadi langka. Sementara itu, kebalikannya, saat hujan dengan intensitas dan frekuensi tinggi terjadi dalam waktu lama, banjir pun terjadi di mana-mana.

Selain hal tersebut diatas, salah satu yang juga menjadi akar permasalahan adalah perilaku manusia. Penggunaan teknologi, pemanfaatan produk dari hasil Bumi adalah bagian dari perilaku manusia untuk sebesar-besarnya atas nama kesejahteraan manusia. Perilaku manusia menumbuhkan sifat yakin bahwa perubahan iklim terjadi sehingga mempengaruhi respon terhadap perubahan iklim itu sendiri. Respon individu terhadap perubahan iklim juga dipengaruhi oleh infrastruktur berupa aturan dan kebijakan dari Pemerintah. Penaatan terhadap infrastruktur ini menjadi kunci dalam mengurangi dampak perubahan iklim, salah satunya adalah penataan terhadap Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW), saat ini masih banyak ditemukan ketidaksesuaian antara RTRW dengan kenyataan, alih fungsi dari lahan hijau menjadi permukiman dan industri salah satunya.

Penyebab Perubahan Iklim

Pemanasan global dan perubahan iklim sebenarnya bukan merupakan hal baru. Kedua fenomena ini telah ada selama puluhan ribu tahun, terjadi secara alami karena perubahan posisi bumi. Namun, berdasarkan laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) pada tahun 2013, dalam satu abad terakhir, terjadi percepatan pemanasan global akibat meningkatnya produksi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer yang berasal dari penggunaan bahan bakar fosil serta aktivitas manusia lainnya seperti perubahan dan alih fungsi lahan. Laporan Khusus IPCC tentang Pemanasan Global 1,5°C pada tahun 2017 menyatakan bahwa suhu bumi saat ini telah meningkat sekitar 1°C dibandingkan pada masa pra-industri (Ajeng & Rosalina, 2021).

Emisi gas rumah kaca menyelimuti Bumi dan memerangkap panas matahari. Hal ini menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim. Saat ini, dunia mengalami pemanasan tercepat dalam sejarah (PBB, 2022). Laporan Hasil Perserikatan Bangsa-bangsa (PBB, 2022) Penyebab perubahan iklim meliputi:

1. Pembangkitan energi

Pembangkitan energi listrik dan panas dengan membakar bahan bakar fosil akan menghasilkan emisi global dalam jumlah besar. Sebagian besar energi listrik masih dihasilkan dengan membakar batu bara, minyak, atau gas. Pembakaran ini akan menghasilkan karbon dioksida dan dinitrogen oksida, yakni gas rumah kaca berbahaya yang menyelimuti Bumi dan memerangkap panas matahari. Hanya sekitar seperempat dari energi listrik global yang dihasilkan dari angin, tenaga surya, dan sumber daya terbarukan lainnya. Tidak seperti bahan bakar fosil, sumber daya terbarukan hanya sedikit atau tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polusi udara.

2. Manufaktur barang

Manufaktur dan industri menghasilkan emisi, yang sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar fosil untuk menghasilkan energi guna membuat berbagai hal seperti semen, besi, baja, elektronik, plastik, pakaian, dan barang lainnya. Pertambangan dan proses industri lainnya juga menghasilkan gas, begitu pula industri konstruksi. Mesin yang digunakan dalam proses manufaktur sering kali beroperasi dengan batu bara, minyak, atau gas. Selain itu, sejumlah bahan baku seperti plastik juga terbuat dari bahan kimia yang berasal dari bahan bakar fosil. Industri manufaktur merupakan salah satu kontributor emisi gas rumah kaca terbesar di seluruh dunia.

3. Penebangan hutan

Penebangan hutan untuk membuat lahan pertanian atau peternakan, ataupun untuk alasan lainnya, akan menghasilkan emisi, karena pohon yang ditebang akan melepaskan karbon yang tersimpan di dalamnya. Sekitar 12 juta hektar hutan dihancurkan setiap tahunnya. Karena hutan menyerap karbon dioksida, penghancurannya juga akan membatasi kemampuan alam dalam mengurangi emisi di atmosfer. Penggundulan hutan, serta pertanian dan perubahan fungsi lahan lainnya, merupakan penyumbang sekitar seperempat dari emisi gas rumah kaca global.

4. Penggunaan transportasi

Sebagian besar mobil, truk, kapal, dan pesawat beroperasi menggunakan bahan bakar fosil. Hal ini menjadikan sektor transportasi sebagai kontributor utama gas rumah kaca, terutama emisi karbon dioksida. Kendaraan darat menghasilkan emisi paling banyak karena adanya pembakaran produk berbahan dasar minyak bumi, seperti bensin, dalam mesin pembakaran internalnya. Namun, emisi dari kapal dan pesawat terus meningkat. Transportasi menyumbang hampir seperempat dari emisi karbon dioksida global terkait energi. Selain itu, tren menunjukkan bahwa akan terjadi peningkatan signifikan dalam penggunaan energi untuk transportasi pada tahun-tahun mendatang.

5. Produksi makanan

Produksi makanan menghasilkan emisi karbon dioksida, metana, dan gas rumah kaca lainnya dengan berbagai cara, termasuk melalui penggundulan hutan dan pembersihan lahan untuk pertanian dan penggembalaan, gas dari sapi dan domba, produksi dan penggunaan pupuk dan pupuk kandang untuk bercocok tanam, serta penggunaan energi untuk menjalankan peralatan pertanian atau perahu nelayan yang biasanya menggunakan bahan bakar fosil. Semua hal tersebut

menjadikan produksi makanan sebagai kontributor utama bagi perubahan iklim. Selain itu, pengemasan dan pendistribusian makanan juga menghasilkan emisi gas rumah kaca.

6. Penyuplaian energi untuk bangunan

Bangunan tempat tinggal dan komersial memakai lebih dari setengah energi listrik global. Seiring dengan berlanjutnya penggunaan batu bara, minyak, dan gas alam untuk sistem penghangat dan pendingin, bangunan tempat tinggal dan komersial menghasilkan jumlah emisi gas rumah kaca yang signifikan. Naiknya permintaan energi untuk sistem penghangat dan pendingin dengan bertambahnya jumlah orang yang memiliki AC, serta meningkatnya pemakaian energi listrik untuk penerangan, peralatan, dan perangkat terhubung, telah berkontribusi pada peningkatan emisi karbon dioksida terkait energi dari bangunan dalam beberapa tahun terakhir.

Dampak Perubahan Iklim



(Sumber: Prihantoro, 2017)

1. Dampak perubahan iklim bagi kehidupan

Perubahan suhu secara global mempengaruhi berbagai sektor kehidupan. Masyarakat lokal dapat merasakan dampak perubahan iklim dalam kurun waktu beberapa tahun ini. Hujan yang tidak normal. Hujan Mengalami perubahan besar. Curah hujan yang turun di musim kemarau seringkali lebat, Bencana alam sering terjadi seperti kekeringan dan badai yang kemungkinan besar menimbulkan tanah longsor. Peningkatan jumlah serangan penyakit. Beberapa sumber penyakit seperti demam berdarah dan demam menyebar dengan mudah karena nyamuk pembawa sumber penyakit tersebut berkembang seiring dengan naiknya suhu (Prihantoro, 2017).

Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) dalam *Indonesia Research Institute for Decarbonization* (t.t) mengungkapkan dampak perubahan iklim yaitu terjadi kekeringan pada musim kemarau akan semakin buruk. Berdasarkan skenario proyeksi siklus curah hujan musiman pada tiga periode 15 tahunan (2020 – 2100) yang dilakukan Bappenas, saat musim kemarau, persentase curah hujan akan menurun, terutama setiap bulan Juli, Dengan rentang nilai -10.2 untuk bulan Juli periode 2020-2034 Hingga -20.8 untuk bulan yang sama pada tahun 2086 – 2100. Akibatnya, frekwensi musim kering diperkirakan akan mengalami peningkatan. Tingkat kekeringan yang lebih parah itu mengancam ketersediaan air bagi masyarakat. Menurut *Intergovernmental Panel for Climate Change* (IPCC), di Indonesia penurunan ketersediaan air secara merata akan terjadi di Pulau Jawa pada periode proyeksi 2020-2034 dan Nusa Tenggara pada 2030 – 2045. IPCC juga memperkirakan, pada tahun 2024, rata-

rata penurunan ketersediaan air di Pulau Jawa mencapai 439,21 m³ per kapita per tahun dan 1.098,08 m³ per kapita per tahun di Nusa Tenggara. Tak hanya di tanah air, IPCC menyebutkan dalam laporan tahunannya yang kelima bahwa peningkatan kekeringan serupa telah terjadi di wilayah Mediterania dan Afrika Bagian barat.

2. Dampak perubahan iklim sektor kelautan

Laporan Khusus IPCC tentang Pemanasan Global 1,5°C mengungkap bahwa lapisan Permukaan atas lautan (dengan kedalaman 0-700 meter) telah mengalami peningkatan Suhu. Selain itu, permukaan tiga cekungan Samudera juga menghangat selama periode 1950–2016 (masing-masing sebesar 0,11°C, 0,07°C, dan 0,05°C per dekade untuk Samudera Hindia, Atlantik dan Pasifik). Kenaikan suhu permukaan air laut juga terjadi di Indonesia. Bappenas menyebutkan, hal itu terjadi seiring dengan meningkatnya Suhu udara di Indonesia yang mencapai 0,7°C ± 0,2°C setiap abad. Perubahan suhu itu memperparah intensitas badai dan tinggi gelombang air laut.

Bappenas mengungkap, pada tahun 2045, tinggi gelombang di perairan Indonesia, terutama di bagian timur, berpotensi bertambah sekitar 0,5 meter. Dampaknya, persentase kecelakaan kapal dan terhambatnya pelayaran antar pulau meningkat. Jumlah hari melaut bagi para nelayan pun akan berkurang. Peningkatan suhu air laut juga menyebabkan lapisan es di Kutub Utara mencair dengan cepat. Menurut IPCC, pada bulan September periode 1997 – 2014, rata-rata luas laut es mengalami penyusutan hingga sebesar 130 ribu km² per tahun. Proses itu Terjadi empat kali lebih cepat dibandingkan proses hilangnya es pada bulan September periode

1979 – 1996. Hal itu berdampak pada naiknya permukaan air laut sehingga menempatkan daerah pesisir dalam kondisi kian tak stabil dan rentan terhadap banjir rob (banjir di tepi pantai). Berdasarkan penelitian Bappenas, daerah pesisir di wilayah Indonesia bagian barat lebih rentan terhadap banjir rob Karena area pantainya cenderung lebih landai (IPCC, 2023).

3. Dampak perubahan iklim sektor pertanian

Semua proses dan kegiatan sistem produksi pertanian baik dari hulu sampai ke hilir sangat bergantung pada kondisi cuaca dan iklim sehingga perubahan pada unsur iklim dan cuaca akan berdampak pada sistem pertanian. Perubahan iklim secara nyata telah memengaruhi sistem pertanian Indonesia, baik langsung maupun tidak langsung, pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Dampak langsung perubahan iklim di antaranya ialah peningkatan konsentrasi CO₂, suhu, dan curah hujan. Perubahan tersebut berdampak pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Dampak tidak langsungnya, antara lain ketersediaan air, erosi, perubahan serangan hama dan penyakit, kemunculan spesies invasif, dan berkurangnya daerah yang sesuai karena penurunan wilayah pesisir dan penggurunan (disertifikasi lahan) (Susanti dkk., 2018).

Dampak perubahan suhu udara pada sistem pertanian banyak dikaji melalui fenologi tanaman, yaitu ilmu yang mempelajari fase- fase pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Setiap komoditas pertanian memiliki karakteristik fenologi yang berbeda-beda. Fenologi ini dijadikan indikator yang paling sensitif dan akurat untuk melihat pengaruh perubahan iklim terutama peningkatan suhu udara terhadap komoditas pertanian. Dampak lain dari

peningkatan suhu udara ialah peningkatan serangan organisme pengganggu tanaman (OPT). Perubahan iklim telah menyebabkan peningkatan luasan serangan hama dan penyakit tanaman di Indonesia (Susanti dkk., 2018). Dampak lainnya ialah munculnya hama dan penyakit dominan baru.

Perubahan curah hujan, baik intensitas maupun polanya, menyebabkan perubahan masa tanam dan awal musim tanam. Panjang masa tanam dan awal tanam sangat penting dalam pertanian tanaman semusim. Perubahan panjang masa tanam menyebabkan perubahan pola tanam. Penurunan produktivitas terjadi karena kegiatan budi daya dilakukan pada kondisi lingkungan yang kurang optimum dan risiko kehilangan hasil diakibatkan oleh bencana iklim yang makin tinggi. Pada tanaman perkebunan yang sebagian besar merupakan tanaman tahunan, perubahan pola dan intensitas curah hujan ini dapat menyebabkan penurunan produktivitas, pergeseran musim berbunga dan panen, serta perubahan tingkat kesesuaian lahan. Pengaruh kenaikan suhu udara, curah hujan, dan peningkatan CO₂ terhadap produksi Padi di Indonesia secara simultan dengan menggunakan beberapa pemodelan iklim telah dilakukan (Kinose dkk., 2020). Peningkatan suhu udara berdampak pada produksi Padi dengan proyeksi penurunan mencapai 30%. Perubahan produksi yang disebabkan perubahan curah hujan berkisar 0-5%. Lain halnya dengan peningkatan CO₂, sampai batas tertentu yang diproyeksikan justru akan dapat meningkatkan produksi Padi. Hal ini dapat terjadi karena proses fotosintesis pada tanaman akan meningkat seiring dengan peningkatan kadar CO₂ di atmosfer. Namun, peningkatannya hanya berkisar 0-10% yang tidak sebanding dengan kehilangan hasil karena peningkatan suhu udara. Lebih lanjut,

proyeksi produksi dengan mengombinasikan perubahan konsentrasi CO₂, peningkatan suhu udara, dan perubahan curah hujan, Indonesia secara rata-rata akan mengalami penurunan produksi sebesar 12,1% (Kinose dkk., 2020).

4. Dampak perubahan iklim sektor Kesehatan

Dampak perubahan iklim pada sektor kesehatan sangat kompleks. Haryanto dkk. (2020) menguraikan beberapa mekanisme bagaimana perubahan iklim berdampak pada sektor kesehatan, antara lain sebagai berikut.

- a. Perubahan suhu dan curah hujan berdampak pada siklus kehidupan penyebab penyakit dan/atau spesies yang merupakan pengantar penyakit pada manusia. Perubahan temperatur dan curah hujan ini dapat berdampak pada proses reproduksi, umur hidup, penyebaran, dan hal lain yang berdampak pada kehidupan manusia yang terkena penyakit.
- b. Perubahan suhu udara dan curah hujan akan berdampak pada sektor pertanian dan pangan yang dapat meningkatkan risiko gagal panen dan kekurangan gizi yang berkonsekuensi pada berbagai macam permasalahan kesehatan.
- c. Perubahan curah hujan menyebabkan perubahan siklus hidrologi yang berdampak pada ketersediaan air bersih dan sanitasi. Hal ini akan dapat menyebabkan peningkatan risiko *water-borne disease*.
- d. Kejadian iklim ekstrem menyebabkan kerusakan pada permukiman dan sarana-sarana umum lainnya yang menyebabkan kerusakan fisik pada tubuh manusia, kehilangan pendapatan, stres, dan berbagai dampak kesehatan lainnya.

5. Dampak perubahan iklim sektor Air

Air merupakan komponen utama bagi kehidupan. Pertumbuhan jumlah penduduk, peningkatan kebutuhan domestik, dan industri mengakibatkan kebutuhan dan persaingan untuk mendapatkan air makin tinggi yang sering menyebabkan konflik, baik di level individu, kelompok, komunitas masyarakat, dan bahkan antarsektor. Perubahan iklim yang ditandai dengan peningkatan suhu udara dan perubahan pola curah hujan menyebabkan berubahnya siklus hidrologi. Perubahan siklus hidrologi ini membawa dampak pada ketersediaan air, kualitas air, distribusi spasial dan temporal, serta adanya peningkatan bencana yang disebabkan oleh air, seperti banjir, longsor/erosi, badai, dan kekeringan (Sarvina dkk,2023).

Peningkatan suhu udara menyebabkan peningkatan evaporasi. Perubahan nilai evaporasi ini, lebih lanjut, menyebabkan perubahan surplus dan defisit sumber daya air yang ditunjukkan oleh nilai selisih antara curah hujan (P) dan evaporasi (E). Nilai $P - E$ negatif menunjukkan defisit dan sebaliknya, nilai positif menunjukkan surplus sumber daya air. Secara global, pada masa yang akan datang, dunia mengalami defisit sumber daya air. Nilai limpasan permukaan juga diproyeksikan meningkat di sebagian besar wilayah dunia. Peningkatan nilai limpasan permukaan ini menjadi ancaman risiko bencana hidrologi berupa erosi dan banjir (Sarvina dkk,2023).

Total ketersediaan air Indonesia saat ini 690×10^9 m³/tahun, sedangkan total permintaan air adalah 175×10^9 m³/tahun. Data ini menunjukkan bahwa dari segi volume, Indonesia masih surplus air, tetapi permasalahan utama sumber daya air di Indonesia adalah distribusi ketersediaan air yang tidak merata,

baik secara spatial maupun temporal. Secara spasial, Pulau Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara Timur (NTT) adalah wilayah yang sudah hampir mengalami defisit air, sedangkan pulau lain, seperti Kalimantan, Papua, dan Sumatra, memiliki surplus air yang cukup besar. Distribusi temporal menunjukkan kelimpahan pada musim hujan, sedangkan pada musim kemarau sebagian besar wilayah mengalami defisit sumber daya air. Oleh karena itu, perlu dikembangkan berbagai teknologi untuk memanen dan menyimpan air pada musim hujan. Air hujan yang jatuh di daratan harus dapat ditahan agar tidak terus bermuara ke laut (Sarvina dkk,2023).

Mitigasi Perubahan Iklim

Mitigasi perubahan iklim adalah upaya yang dilakukan untuk mengurangi emisi gas-gas rumah kaca dari sumbernya atau dengan meningkatkan kemampuan alam dalam menyerap emisi tersebut. Sedangkan adaptasi perubahan iklim adalah upaya untuk mengatasi dampak perubahan iklim baik yang sifatnya reaktif maupun antisipatif. Beberapa upaya praktis yang dapat Anda lakukan untuk melakukan Mitigasi agar laju perubahan iklim dan pemanasan global dapat dikurangi adalah sebagai berikut (Masripatin,2017):

1. Mengonsumsi barang berdasarkan kebutuhan, bukan menurut kemauan.
2. Menanam pohon.
3. Melestarikan keanekaragaman hayati.
4. Hemat air.
5. Hemat energi (kurangi penggunaan listrik dan BBM).
6. Menggunakan pemanas air bertenaga surya.
7. Menggunakan sumber energi yang ramah lingkungan.

8. Memanfaatkan sumber listrik tenaga nonfosil seperti PLTA, biogas, biofuel, Biodiesel, geothermal, arus laut, angin, dan surya.
9. Beralih menggunakan sumber energi rendah emisi. Contohnya dari kayu Bakar atau minyak tanah menjadi gas elpiji.
10. Memakai produk dengan nilai emisi rendah dalam pembuatannya.
11. Memakai produk dengan nilai emisi rendah dalam pemakaiannya.
12. Menggunakan lampu hemat energi dan memaksimalkan pencahayaan Ruangan yang berasal dari alam.
13. Menggunakan warna terang di tembok, menggunakan genteng kaca di Plafon, dan memaksimalkan pencahayaan melalui jendela.
14. Berbelanjalah di lingkungan sekitar, jangan jauh-jauh agar hemat energi.
15. Membawa tas belanja yang bisa dipakai ulang (reuse).
16. Melakukan daur ulang (recycle) dan memakai barang atau alat dengan Usia yang lebih panjang.
17. Mendaur ulang sampah.
18. Memanfaatkan tanaman sisa pertanian sebagai pakan ternak.
19. Membuatan pupuk organik.
20. Memanfaatkan serasah sisa panen untuk dijadikan pupuk kompos.
21. Memanfaatkan kotoran ternak untuk pupuk dan biogas

Upaya mitigasi yang pada sektor kelautan dan perikanan

Sektor kelautan dan perikanan juga perlu melakukan berbagai upaya mitigasi perubahan iklim. Mitigasi tersebut dapat dilakukan dengan menerapkan teknologi ramah lingkungan, seperti penggunaan bahan bakar ramah Lingkungan (biofuel) sebagai pengganti bahan bakar fosil, penanaman vegetasi pantai dan lain sebagainya.

1. Pengembangan bahan bakar ramah lingkungan untuk kapal.

Pengembangan bio fuel (energi dari nabati) sebagai pengganti minyak Bumi akan memberikan kesempatan lebih besar untuk memperbaiki kualitas Lingkungan hidup. Bio fuel adalah energi yang bersumber dari berbagai Tanaman seperti kelapa, jarak, jagung, ubi kayu, tebu, dan lain sebagainya. Pemanfaatan bahan bakar nabati ini dapat menurunkan emisi GRK. Dengan demikian, semakin banyak bio fuel yang digunakan di kapal-kapal Nelayan maka emisi GRK tidak bertambah. Di sisi lain, pengembangan energi terbarukan semacam ini juga dapat Meningkatkan kesejahteraan rakyat dengan menciptakan lapangan kerja. Selain itu, pendapatan masyarakat juga dapat meningkat.

2. Penanaman vegetasi pantai.

Penanaman vegetasi pantai seperti mangrove, ketapang, cemara, dan Waru laut selain merupakan upaya adaptasi juga sekaligus upaya mitigasi. Disebut upaya adaptasi karena vegetasi tersebut melindungi kawasan pesisir Dari dampak perubahan iklim, seperti rob, banjir, dan erosi (Mastiarpin,2017).

Upaya mitigasi pada sektor pertanian

Ada tiga jenis upaya mitigasi yang dilakukan di bidang pertanian, yakni menemukan beberapa varietas padi rendah emisi GRK, mengelola Gambut secara berkelanjutan, dan mengelola perkebunan ramah lingkungan (Kementrian Pertanian,2019). Beberapa varietas padi yang rendah emisi GRK namun berproduksi tinggi adalah IR64, Ciherang, Way Apoburudan Inpari 1.

Selain itu, lahan gambut juga perlu dikelola secara berkelanjutan. Hal ini Penting karena lahan gambut merupakan penyimpan gas CO₂ terbesar di lahan pertanian. Pembukaan lahan gambut untuk pertanian akan membuka cadangan karbon terbesar sehingga karbon terlepas ke udara. Pembukaan lahan dengan cara membakar akan melepaskan banyak CO₂ ke udara. Tak hanya itu, pembuatan saluran drainase dan pembakaran gambut juga ikut memperparah pelepasan GRK. Karena itu beberapa upaya mitigasi yang dilakukan terkait dengan pengelolaan gambut adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan dan menerapkan teknologi pembukaan lahan tanpa bakar (PLTB) dalam usaha pertanian di lahan gambut. PLTB adalah cara membuka lahan Gambut tanpa melakukan pembakaran, untuk mencegah terjadinya kebakaran lahan dan hutan. Sisa-sisa tanaman yang tidak diperlukan dapat digunakan sebagai bahan pembuatan kompos sehingga dapat meningkatkan kesuburan tanah.
2. Memilih jenis tanaman yang tidak memerlukan sistem drainase yang dalam, contohnya sagu, nipah, karet, dan padi.
3. Mengembangkan teknologi ameliorasi, yaitu teknologi yang digunakan untuk memperbaiki kesuburan tanah dengan cara memperbaiki kondisi fisik, kimia, dan

biologi tanah. Bahan-bahan yang digunakan untuk ameliorasi dapat berupa bahan organik, bahan anorganik, atau kombinasi keduanya, untuk mengurangi Emisi CO₂ dari lahan gambut (Kementrian Pertanian, 2019).

Sementara itu, upaya mitigasi untuk mengelola perkebunan dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengembangkan tanaman kelapa sawit dan karet pada lahan semak belukar dan alang-alang.
2. Memanfaatkan lahan alang-alang (cadangan karbon rendah) menjadi lahan perkebunan (cadangan karbon lebih besar).
3. Menggunakan limbah tanaman perkebunan sebagai sumber bahan organik dan sumber bioenergi.
4. Meremajakan tanaman perkebunan yang sudah menurun produktivitasnya (Kementrian Pertanian, 2019)

Daftar Pustaka

- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian, 2019. Pedoman Umum Inventarisasi Gas Rumah Kaca Dan Mitigasi Perubahan Iklim Sektor Pertanian.
- Masripatin, N. (2017). Studi Perubahan Iklim di Indonesia Perkembangan Studi Kerentanan, Risiko, Dampak dan Adaptasi Perubahan Iklim: Tantangan dan Peluang. Direktorat Adaptasi Perubahan Iklim
- Bappenas (2018). Kaji Ulang Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim (RAN API) Kajian Basis Ilmiah Bahaya Perubahan Iklim.
- Prihantoro, F. (2017). Perubahan iklim. Semarang: Foe Jepang
- Haryanto, B., Lestari, F., & Nurlambang, T. (2020). Extreme events, disaster, and health impact in Indonesia. Dalam R. Akhtar (Ed.), *Extreme weather events and human health* (227-245). Springer.
- IPCC. (2023). *Summary for policymakers. Dalam Core Writing Team, H. Lee, & J. Romero (Ed.), Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (1-34). https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf
- IPCC, "Laporan Khusus IPCC tentang Pemanasan Global 1,5°C", https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf, Akses 22 October 2024.
- Kementerian PPN/Bappenas. (2021). Daftar lokasi & aksi ketahanan iklim.
- Sarvina, Y., Surmaini, E., & Supriatin, L. S. (2023). Dampak perubahan iklim pada sektor prioritas. Dalam Elza Surmaini, Lilik Slamet Supriatin, & Yeli Sarvina (Ed.), *Teknologi dan kearifan lokal untuk adaptasi perubahan iklim* (1-21).

Susanti, E., Surmaini, E., & Estiningtyas, W. (2018). Parameter iklim sebagai indikator peringatan dini serangan hama penyakit tanaman. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 12(1), 59–70.

Perserikatan Bangsa-Bangsa Indonesia (2022) .Penyebab dan Dampak Perubahan Iklim. <https://indonesia.un.org/id/175273-penyebab-dan-dampak-perubahan-iklim>, Akses 22 October 2024. indonesia.un.org.

Profil Penulis



I Gede Herry Purnama, S.T., M.T., MIDEA.

Ketertarikan penulis terhadap ilmu lingkungan dimulai pada tahun 1994 silam. Hal tersebut membuat penulis memilih untuk masuk ke Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya dengan memilih Jurusan Teknik Lingkungan dan berhasil lulus pada tahun 1999. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan Pasca Sarjana (Magister) pada Jurusan Teknik Lingkungan di Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya, kemudian mengambil Master Degree of International Development and Environmental Analysis di Monash University, Australia. Saat ini penulis adalah kandidat Doktor pada Bidang Ilmu Lingkungan.

Penulis memiliki kepakaran dibidang Rekayasa dan Manajemen Lingkungan. Sebagai tenaga pendidik profesional, penulis aktif sebagai peneliti dibidang rekayasa dan manajemen lingkungan. Beberapa penelitian yang telah dilakukan didanai oleh internal perguruan tinggi dan juga Kemenristek DIKTI. Selain peneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara yang sangat tercinta ini.

Email Penulis: herrypurnama@unud.ac.id

POLUSI UDARA, AIR DAN TANAH : SUMBER DAN PENANGANANNYA

Rachman Irwanto, A.Md.RO., S.T., M.T.
Akademi Refraksi Optisi Surabaya

Polusi

Polusi adalah pencemaran lingkungan yang terjadi karena Zat atau energy berbahaya masuk ke dalam lingkungan. Polusi dapat berupa zat padat, cair atau gas serta seperti energy panas, suara, cahaya dan radioaktivitas. Sinonim dari Polusi adalah Kontaminasi, pencemaran atau pengotoran. Polusi dapat muncul dari berbagai sumber, seperti industry, transportasi dan aktivitas manusia lainnya. Polusi juga dapat merusak lingkungan serta mengganggu kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya. Dalam Undang-Undang Nomor 4 tahun 1982 menyebutkan bahwa Polusi berarti masuknya makhluk hidup, materi, energy atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup dan menyebabkan perubahan tatanan lingkungan hidup karena kegiatan manusia atau proses alam.

Polutan adalah bahan limbah atau zat yang mencemari udara, air dan tanah, serta mampu menyebabkan pencemaran lingkungan. Suatu zat dinamakan sebagai polutan jika memiliki kadar berlebihan serta mengganggu keadaan sekitarnya. Zat tersebut kemudian akan mengakibatkan kerugian pada makhluk hidup, salah satunya adalah melalui pencemaran udara.

Dalam buku berjudul *The Miracle of Jilbab*, dijelaskan bahwa udara pada suatu daerah akan dikatakan tercemar jika memiliki zat asing yang jumlahnya melebihi dari batas yang wajar. Contohnya, apabila dalam keadaan normal, karbondioksida memiliki manfaat bagi tumbuhan, tetapi jika berlebihan, maka akan membuat udara menjadi tidak sehat untuk dihirup. Contoh lainnya adalah asap kendaraan, asap rokok, asap pabrik atau kebakaran hutan dan lainnya yang ikut memberikan polusi pada kehidupan manusia setiap harinya. Ada pula contoh lain dari zat polutan yang biasanya ditemui ialah CO₂, NO₂, SO₂ dan lainnya.

Polusi Udara

Polusi udara terjadi karena adanya zat-zat polutan yang mengotori udara. Zat-zat polutan ini dapat dihasilkan dari penggunaan alat-alat tertentu, seperti AC, kendaraan bermotor, dan *hair dryer*. Selain itu, zat-zat polutan juga dapat dihasilkan dari aktivitas yang dilakukan oleh manusia, seperti membakar sampah, menggunakan pestisida untuk membunuh hama di lahan pertanian, dan aktivitas pabrik yang menimbulkan asap. Polutan udara adalah polutan yang terdapat dalam udara seperti asap, debu, gas, dan partikel lainnya yang dapat menyebabkan pencemaran udara. Polutan udara dapat dihasilkan dari aktivitas manusia seperti pabrik, kendaraan bermotor, dan kebakaran hutan, serta aktivitas alam seperti erupsi gunung berapi dan kebakaran hutan.

Pencemaran udara dapat terjadi dikarenakan adanya campuran polutan yang disebabkan oleh tindakan manusia serta memiliki dampak pada ekosistem alam. Pencemaran udara adalah terjadi suatu proses penurunan kualitas udara dikarenakan masuknya beberapa unsur berbahaya seperti Karbon Monoksida atau CO₂, Nitrogen Dioksida atau NO₂, Sulfur Dioksida

atau SO₂ dan unsur yang lainnya. Polusi udara yang disebabkan oleh polutan juga dapat disebabkan oleh dua faktor, di antaranya adalah alam serta manusia. Faktor alam yang menjadi penyebab dari pencemaran udara diakibatkan oleh adanya aktivitas pada alam, contohnya seperti gunung api yang menghasilkan gas vulkanik dan abu. Selain itu, kebakaran hutan juga dapat menjadi salah satu faktor alam yang dapat menimbulkan polutan berupa debu, asap serta gas yang pada akhirnya mengotori udara. Ada pula faktor manusia yang menjadi penyebab polutan udara adalah karena adanya aktivitas pembakaran sampah, sektor industri dan kendaraan bermotor. Ada pula kegiatan manusia lainnya yang akan menghasilkan uap, debu, CO₂ dan NO₂. Terdapat beberapa jenis polutan udara yang memenuhi atmosfer bumi dan perlu diwaspadai, di antaranya adalah sebagai berikut:

1. Materi Partikulat (PM)

Mobil dan pabrik yang membakar bahan bakar dapat mengeluarkan limbah yang merusak udara. Ini terutama terjadi saat kebakaran hutan yang terjadi saat kemarau. Udara di sekitar kita akan dipenuhi dengan partikel (PM) dan cairan berbahaya yang mengisi atmosfer kita. Partikel ini terdiri dari komponen seperti nitrat, sulfat, debu, allergen, dan serbuk sari. Partikel-partikel ini sangat kecil sehingga mudah masuk ke hidung dan paru-paru. Setelah dihirup, partikel ini dapat menyebabkan masalah pada paru-paru dan jantung. Efek jangka pendeknya akan menyebabkan sakit tenggorokan, iritasi mata, dan asma. Sedangkan efek jangka panjangnya dapat menyebabkan masalah seperti penurunan fungsi paru-paru dan masalah kardiovaskular.

2. Sulfur Dioksida (SO₂)

Pembakaran bahan bakar fosil dapat mengeluarkan gas berbahaya seperti sulfur dioksida ke atmosfer. Gas ini juga dapat terjadi akibat letusan gunung berapi yang sering terjadi di Indonesia. Sulfur dioksida adalah zat yang tidak berwarna dan tidak berbau, sehingga sulit dilihat dengan mata telanjang. Sulfur dioksida berkontribusi terhadap polusi lingkungan dengan mengeluarkan partikel ke udara. Jika zat ini tercium, dapat menyebabkan iritasi pada hidung, tenggorokan, paru-paru, sistem kardiovaskular, dan penyakit pernapasan lainnya. Kamu harus waspada terhadap zat ini agar terhindar dari penyakit seperti penyempitan saluran udara, mengi, sesak dada, dan sesak napas.

3. Karbon Monoksida (CO)

Polusi udara yang terjadi karena limbah pabrik dapat mengeluarkan zat karbon monoksida yang sangat berbahaya. Zat ini tidak berwarna dan tidak berbau, sehingga mudah dihirup. Zat ini dapat menghambat jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh organ dan jaringan tubuh. Selain itu, konsekuensi fatalnya dapat menyebabkan kematian. Paparan polutan ini dapat menyebabkan beberapa gejala seperti flu, sakit kepala, pusing, disorientasi, mual, hingga kelelahan. Pada orang yang memiliki riwayat jantung, zat ini dapat menyebabkan sakit dada. Selain itu, paparan dalam konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan masalah penglihatan dan berisiko bagi bayi yang belum lahir.

4. Nitrogen Dioksida (NO₂)

Nitrogen dioksida adalah polutan yang berbahaya karena ikut membentuk kabut fotokimia yang merusak kesehatan. Emisi berbahaya dari mobil,

industri, bahan bakar fosil, dan kompor yang menggunakan gas dapat mengeluarkan gas nitrogen dioksida (NO₂) yang berbahaya. Zat ini mudah ditemukan di jalan raya dan ruangan yang menggunakan gas untuk memasak. Jika konsentrasi gas yang dihirup terlalu tinggi, akan menyebabkan masalah kesehatan yang tidak boleh dianggap remeh. Nitrogen dioksida menyebabkan peradangan saluran pernapasan, infeksi seperti influenza dan pneumonia, dan rentan terhadap infeksi paru-paru. Zat ini juga dapat menyebabkan alergi dan asma. Jika jumlahnya terlalu banyak, akan mempengaruhi lapisan ozon dan struktur tanah.

Polusi Air

Pencemaran air terjadi karena adanya zat-zat polutan yang masuk ke dalam sumber air, seperti insektisida, kotoran, limbah, pupuk, dan sampah. Air yang tercemar akan berbau, keruh, dan berwarna, sehingga tidak layak untuk dikonsumsi. Jika dikonsumsi, air tersebut akan mengganggu kesehatan.

Polutan air merupakan polutan yang terdapat dalam air seperti bahan kimia, limbah domestik, dan limbah industri yang dapat merusak kualitas air dan menyebabkan kerusakan pada ekosistem air. Air yang tercemar oleh zat-zat polutan dapat menyebabkan kerusakan serta matinya ekosistem air yang tersusun dari makhluk hidup maupun tumbuhan air. Hal tersebut dapat diidentifikasi dengan cukup mudah dengan melakukan pengamatan mengenai fenomena berkurangnya beberapa spesies binatang air pada habitat aslinya. Menurut modul *Ilmu Pengetahuan Alam: Pencemaran Lingkungan* yang ditulis oleh Lina Herlina dan Rangga Bhakty Iskandar (2020: 7), pencemaran air dapat terjadi pada beberapa sumber air. Sumber air yang

dimaksud ialah sungai, mata air, rawa, laut dan danau. Sementara itu, beberapa polutan juga akan menyebabkan terjadinya pencemaran air seperti limbah rumah tangga, limbah industri dan limbah pertanian. Ada beberapa usaha yang dapat dilakukan demi mencegah pencemaran yang terjadi pada air, di antaranya adalah sebagai berikut:

1. Tidak menggunakan deterjen dengan berlebihan.
2. Mengurangi penggunaan pupuk pabrik dan beralih menggunakan pupuk organik secara masif.
3. Menghindari menggunakan racun maupun bahan peledak ketika menangkap ikan.
4. Menjaga kebocoran instalasi pengeboran minyak serta kapal tanker pada daerah sekitar pantai.

Polusi Tanah

Pencemaran tanah terjadi karena adanya zat-zat polutan yang masuk ke dalam lapisan tanah sehingga kualitas tanah menurun. Zat-zat polutan tersebut dapat berasal dari tumpahan minyak, kebocoran limbah yang berbentuk cair, pestisida yang digunakan secara berlebihan, cairan dari timbunan sampah, serta zat-zat lainnya, seperti arsen, besi, cadmium, chloride, chromium, fluor, mercury, lead, nitrate, silver, selenium, dan sulfate. Polutan tanah merupakan polutan yang terdapat di dalam tanah seperti bahan kimia, limbah industri, dan limbah domestik yang dapat merusak struktur tanah dan menyebabkan kerusakan pada tanaman dan hewan.

Pencemaran tanah yang diakibatkan oleh polutan terjadi karena adanya limbah rumah tangga, kegiatan pertanian serta pertambangan. Hal tersebut terjadi dikarenakan adanya mikroorganisme di dalam tanah yang tidak dapat mengolah senyawa anorganik terutama limbah. Dampak dari pencemaran tanah akan menyebabkan beberapa hal seperti timbulnya penyakit-penyakit yang akan berimbas

pada kesehatan manusia. Selain itu, polutan tanah juga akan menyebabkan kualitas tanah menjadi layu, mati atau kurang subur. Ada beberapa upaya serta pencegahan yang dapat dilakukan oleh manusia untuk dapat melindungi tanah dari pencemaran, di antaranya adalah penambahan nutrisi, melakukan aerasi tanah, melakukan penyiraman tanah sehingga tanah menjadi lebih lembab, monitoring lingkungan serta melakukan bioremediasi. Polutan tanah dapat dibagi kembali menjadi lima tipe, di antaranya :

1. Bio Polutan

Tipe polutan tanah yang pertama adalah bio polutan yang disebut pula dengan polutan yang berasal dari agen biologi. Agen biologi tersebut pada umumnya memiliki peran sebagai pupuk kompos bagi tanaman yang ada di dalam tanah. Tipe polutan satu ini berasal dari hasil ekskresi burung, jenis hewan lain atau manusia.

2. Aktivitas Pertanian Dan Perkebunan

Pertanian atau bahkan perkebunan pada umumnya menggunakan beberapa jenis bahan kimia guna menunjang hasil panen. Bahan kimia tersebut dapat berupa pupuk kimia, pestisida, zat kapur, herbisida, kompos dan lainnya. Penggunaan bahan kimia secara berlebihan, dapat berpotensi mencemari tanah serta berbahaya bagi kesehatan manusia.

3. Polutan Radioaktif

Substansi dari zat radioaktif yang dihasilkan oleh aktivitas manusia, contohnya seperti uranium, nitrogen, thorium dan lain sebagainya. Zat radioaktif tersebut akan menyumbat tanah serta memberikan efek toksik bagi makhluk hidup yang berada di sekitarnya. Contoh dari pencemaran radioaktif dapat ditemukan di sekitar prefektur Fukushima, Jepang.

Gempa bumi serta tsunami melanda Fukushima di tahun 2011 lalu. Bencana alam tersebut kemudian menyebabkan meledaknya reaktor nuklir pada PLTN Fukushima, sehingga menyebabkan kebocoran air radioaktif. Lalu, zona tersebut kemudian menjadi kawasan tertutup dikarenakan tingkat kontaminasi radiasi nuklir yang cukup tinggi.

4. Limbah Urban

Tipe polutan tanah yang keempat adalah polutan yang dihasilkan oleh rumah tangga sebagai hasil dari aktivitas manusia di sekitar perkotaan. Polutan tersebut dapat berupa limbah domestik atau komersial, sampah plastik dan materi buangan yang lainnya.

5. Limbah Dari Buangan Industri.

Industri yang memiliki skala besar, contohnya seperti pertambangan serta pabrik produksi akan menyebabkan kerusakan tanah dalam jangka panjang. Limbah industri dengan skala besar, di antaranya dapat berupa logam seperti merkuri (Hg), timbal (Pb), arsenik (As), nikel (Ni) dan lain sebagainya. Selain itu ada pula beberapa contoh lain dari pencemaran tanah yang diakibatkan oleh limbah industri. Seperti kasus Lumpur Lapindo yang terjadi di Kabupaten Sidoarjo. Kasus lumpur lapindo adalah polusi tanah yang disebabkan oleh semburan lumpur panas di Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Semburan lumpur panas tersebut terjadi karena aktivitas pengeboran di sumur eksplorasi milik Lapindo Brantas Inc. Polusi ini menyebabkan dampak yang cukup besar, antara lain lumpur menggenangi 16 desa di 3 kecamatan, kerusakan area pertanian yang diikuti oleh kerusakan lingkungan, permukaan tanah ambles di sekitar semburan lumpur, kerusakan sarana dan prasarana infrastruktur dan lain-lain.

Penyebab Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan disebabkan oleh berbagai aktivitas manusia dan proses alami. Berikut adalah beberapa penyebab utama pencemaran lingkungan :

1. Limbah Industri

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah industri terbagi menjadi:

a. Emisi Gas dan Partikel

Pabrik dan industri mengeluarkan gas-gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen oksida (NO_x), dan partikel halus ke udara. Emisi ini berasal dari pembakaran bahan bakar fosil dan proses produksi.

b. Limbah Cair

Limbah cair yang mengandung bahan kimia berbahaya sering dibuang ke badan air tanpa pengolahan yang memadai, mencemari sungai, danau, dan laut.

c. Limbah Padat

Limbah padat yang tidak dikelola dengan baik dapat mencemari tanah dan air tanah, serta menghasilkan polutan yang berbahaya bagi ekosistem.

2. Limbah Domestik

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah domestik terdiri dari:

a. Sampah Rumah Tangga

Pembuangan sampah rumah tangga yang tidak dikelola dengan baik dapat mencemari tanah dan air. Sampah plastik, khususnya, menjadi masalah besar karena sulit terurai.

b. Air Limbah

Air limbah dari rumah tangga yang mengandung deterjen, bahan kimia pembersih, dan sisa makanan dapat mencemari sumber air jika tidak diolah dengan benar.

3. Pertanian

Tidak hanya industri dan domestik, pencemaran lingkungan juga bisa disebabkan dari sektor pertanian, yaitu:

a. Pestisida dan Herbisida

Penggunaan pestisida dan herbisida dalam pertanian dapat mencemari tanah dan air. Bahan kimia ini dapat meresap ke dalam air tanah atau terbawa air hujan ke sungai dan danau.

b. Pupuk

Penggunaan pupuk yang berlebihan dapat menyebabkan pencemaran air melalui aliran limpasan yang membawa nutrisi berlebih seperti nitrogen dan fosfor, yang menyebabkan eutrofikasi.

4. Transportasi

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh akibat penggunaan transportasi terbagi menjadi:

a. Emisi Kendaraan

Kendaraan bermotor mengeluarkan gas berbahaya seperti karbon dioksida (CO_2), karbon monoksida (CO), dan nitrogen oksida (NO_x) yang mencemari udara.

b. Tumpahan Minyak

Tumpahan minyak dari kendaraan, kapal, dan aktivitas pengeboran minyak dapat mencemari tanah dan air.

5. Kegiatan Penambangan

Pencemaran lingkungan juga dapat disebabkan oleh kegiatan penambangan, yaitu:

a. Ekstraksi Sumber Daya

Penambangan mineral dan logam berat dapat menghasilkan limbah beracun dan bahan kimia yang mencemari tanah dan air.

b. Kegiatan Tambang

Penambangan batu bara dan minyak bumi menghasilkan limbah yang dapat mencemari air dan udara, serta menyebabkan degradasi lahan.

6. Pembakaran Hutan

Pembakaran hutan juga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, sebagai berikut:

a. Deforestasi dan Pembakaran Lahan

Pembakaran hutan untuk membuka lahan pertanian atau pemukiman menghasilkan asap dan partikel yang mencemari udara, serta menyebabkan kehilangan habitat bagi flora dan fauna.

b. Kebakaran Hutan

Kebakaran hutan alami maupun buatan dapat menghasilkan emisi karbon dan partikel halus yang mencemari udara.

7. Pembuangan Sampah dan Limbah

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh pembuangan sampah dan limbah terdiri dari:

a. Sampah Plastik

Sampah plastik yang dibuang sembarangan mencemari lautan, sungai, dan tanah, serta dapat membahayakan kehidupan laut.

b. Sampah Elektronik

Limbah elektronik mengandung logam berat dan bahan kimia beracun yang dapat mencemari tanah dan air jika tidak dikelola dengan baik.

8. Aktivitas Rumah Tangga

Aktivitas rumah tangga menjadi salah satu faktor utama dari pencemaran lingkungan, yaitu:

a. Penggunaan Produk Kimia

Produk rumah tangga seperti deterjen, pembersih, dan obat nyamuk mengandung bahan kimia yang dapat mencemari air jika tidak dibuang dengan benar.

b. Pengelolaan Sampah yang Buruk

Pembuangan sampah yang tidak terkelola dengan baik dapat menyebabkan pencemaran tanah dan air.

Daftar Pustaka

- Darmono. (2001). *Lingkungan Hidup dan Pencemaran: Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- Miller, GT, Jr. (1979). *Living in the Environment*. 2nd Edition. Belmont, California: Wadsworth Publishing Company.
- Wardhana, Wisnu Arya. (2001). *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Edisi Revisi. Yogyakarta: Penerbit Andi
- Vesilind, P. Aarne. (1978). *Environmental Pollution and Control*. 5th printing. Durham, North Carolina: Ann Arbor Science Publishing Inc.

Profil Penulis



Rachman Irwanto, A.Md.RO., S.T., M.T.

Ketertarikan penulis terhadap keilmuan teknik dimulai pada tahun 1989 silam. Hal tersebut membuat penulis memilih untuk masuk ke Sekolah Menengah Atas Jurusan Fisika dan lulus pada tahun 1990. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi dan berhasil menyelesaikan studi S1 di prodi TEKNIK MESIN (KONVERSI ENERGI) pada tahun 2004 dimana sebelumnya telah menyelesaikan pendidikan di AKADEMI REFRAKSI OPTISI SURABAYA tahun 1995. Setelah itu penulis menyelesaikan studi S2 di MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN INSTITUT TEKNOLOGI ADHI TAMA SURABAYA (ITATS).

Penulis memiliki kepakaran bidang peroptikan dan mulai tahun 2002 sampai sekarang mengabdikan sebagai staf pengajar di ARO Surabaya. Penulis berkeinginan untuk aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara yang tercinta ini.

Email Penulis: rachman271@gmail.com

KONSERVASI KEANEKARAGAMAN HAYATI

Rusmadi Rukmana, S.Si., M.Pd.

Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

Pendahuluan

Keanekaragaman hayati atau biodiversity adalah istilah luas yang mencakup tingkat keragaman alami atau variasi jumlah serta frekuensi dalam sistem alam. Istilah ini sering dikaitkan dengan beragam jenis tumbuhan, hewan, fungi, bakteri dan mikroorganisme lainnya, termasuk gen yang mereka miliki dan ekosistem yang mereka ciptakan. Keanekaragaman yang ada saat ini merupakan hasil dari proses evolusi selama miliaran tahun yang dipengaruhi oleh alam, serta semakin berkembang dengan adanya dampak dari aktivitas manusia dan teknologi. Hal ini membentuk jaringan kehidupan yang saling terkait, di mana manusia menjadi bagian penting dan sepenuhnya bergantung padanya. Keanekaragaman hayati meliputi variasi genetik dalam setiap spesies, seperti varietas tanaman, hewan dan organisme lainnya. Keanekaragaman hayati mencakup semua tingkatan keanekaragaman hayati, mulai dari tingkat genetik hingga ekosistem (Asril et al., 2022).

Konservasi adalah upaya untuk melindungi atau memelihara sumber daya alam agar terhindar dari kerusakan. Konservasi juga bertujuan untuk melestarikan sumber daya secara bijaksana sehingga dapat memberikan manfaat optimal yang berkelanjutan,

baik untuk saat ini maupun bagi generasi mendatang. Kegiatan konservasi ini menjadi salah satu tujuan penting yang terintegrasi dalam *Sustainable Development Goals* (SDGs) (Arif Mu, 2024).

Aktivitas konservasi keanekaragaman hayati Indonesia dilakukan sebagai upaya konservasi kekayaan sumber daya alam yang melimpah, mencakup daratan, lautan, hingga udara. Kekayaan ini menjadi modal utama bagi pembangunan menuju negara yang sejahtera. Namun, pemanfaatan sumber daya alam tersebut harus dilakukan dengan bijak melalui upaya perlindungan, pelestarian, dan pengelolaan yang tepat. Langkah ini penting untuk mencegah kerusakan sumber daya alam sekaligus memastikan keberlanjutannya dalam mendukung kesejahteraan masyarakat Indonesia.

Keanekaragaman hayati berperan penting dalam menjaga kestabilan ekosistem agar tetap seimbang serta menyediakan layanan lingkungan yang mendukung keberlanjutan ekosistem. Keanekaragaman ini terjadi pada berbagai tingkatan kehidupan, mulai dari organisme tingkat rendah hingga tingkat tinggi, serta mencakup organisasi kehidupan dari tingkat spesies hingga ekosistem.

Kawasan Konservasi Indonesia

Keragaman iklim, jenis tanah, dan faktor lingkungan lainnya menjadikan Indonesia memiliki tingkat keanekaragaman ekosistem yang sangat tinggi. Indonesia memiliki sekitar 74 tipe ekosistem alami yang khas, yang mencakup berbagai jenis ekosistem seperti laut dalam, laut dangkal, pantai, serta padang lamun dan mangrove. Selain itu, ada juga ekosistem dataran rendah seperti hutan dipterokarpa, hutan kerangas, gambut, karst, dan danau, serta ekosistem hutan pegunungan bawah, pegunungan atas, subalpin, hingga alpin. Selain

ekosistem alami, Indonesia juga memiliki ekosistem buatan seperti sawah, tegalan, pekarangan, kebun, tambak, dan empang. Setiap ekosistem ini dihuni oleh berbagai spesies flora, fauna, dan mikroorganisme, sehingga Indonesia memiliki keanekaragaman spesies yang luar biasa (Setiawan, 2022).

Indonesia menduduki peringkat kedua dalam hal keanekaragaman hayati daratan setelah Brasil. Namun, jika keanekaragaman hayati laut juga diperhitungkan, Indonesia menjadi negara dengan keanekaragaman hayati tertinggi di dunia (National Geographic Indonesia, 2019).

Pemerintah Indonesia menetapkan target untuk menjadikan 10% atau sekitar 32,5 juta hektar wilayah perairannya sebagai kawasan konservasi. Pada tahun 2022, luas kawasan konservasi di Indonesia telah mencapai 29,28 juta hektar, atau sekitar 9,01% dari total wilayah perairan. Target ini merupakan komitmen Indonesia untuk memenuhi tujuan Aichi dan SDG 14 dalam rangka melindungi keberlanjutan sumber daya kelautan dan perikanan. Kawasan konservasi yang telah ditetapkan terdiri dari beberapa kategori, yaitu Taman, Suaka, dan Kawasan Konservasi Maritim (KKM).

	Jumlah Kawasan	Luas Kawasan (Ha)	Persentase (%)	
Penetapan				
Taman	127	20.697.507,96	70,70	Lihat Lebih Detil
Suaka	18	667.806,54	2,28	Lihat Lebih Detil
KKM	2	1.343,35	0,00	Lihat Lebih Detil
Uncategorized	14	1.007.981,52	3,44	Lihat Lebih Detil
Proses Penetapan				
Proses Pengusulan	2	75.165,19	0,26	Lihat Lebih Detil
Belum Diusulkan	289	6.826.736,20	23,32	Lihat Lebih Detil
Jumlah	452	29.276.540,76	100,00	

Gambar 5.1 Kawasan Konservasi wilayah Perairan (Laut/Jumlah kawasan/luas kawasan) di Indonesia (Sistem Database Konservasi Dit KKKHL, 2024)

Lingkungan kawasan pelestarian alam berfungsi sebagai perlindungan sistem penyangga kehidupan, pengawetan keanekaragaman jenis tumbuhan dan satwa, serta pemanfaatan secara lestari sumber daya alam hayati dan ekosistemnya di dalam taman nasional, taman hutan raya, dan taman wisata alam dapat dilakukan kegiatan untuk kepentingan penelitian, ilmu pengetahuan, pendidikan, menunjang budidaya, budaya, dan wisata alam.

Indonesia memiliki kawasan hutan dan kawasan konservasi perairan yang sangat luas, menjadikannya salah satu negara dengan keanekaragaman hayati terbesar di dunia. Hingga saat ini, kawasan hutan Indonesia mencakup berbagai jenis ekosistem seperti hutan hujan tropis, hutan mangrove, hutan gambut, dan hutan dataran tinggi. Luas kawasan hutan ini berfungsi tidak hanya sebagai habitat bagi flora dan fauna, tetapi juga sebagai penyerap karbon dan pengatur iklim global.

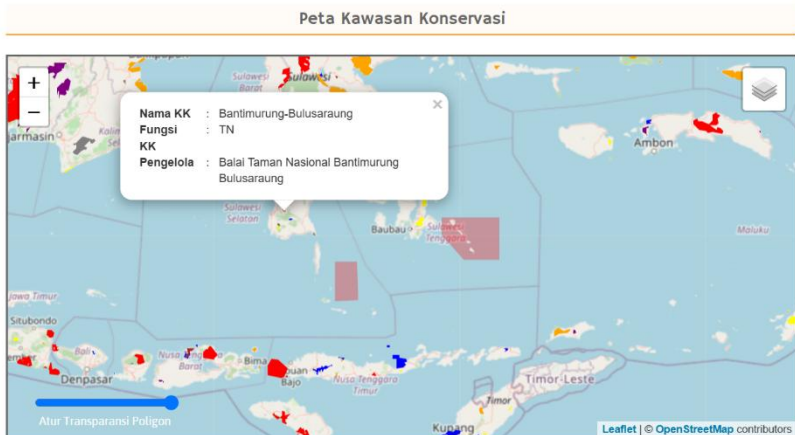
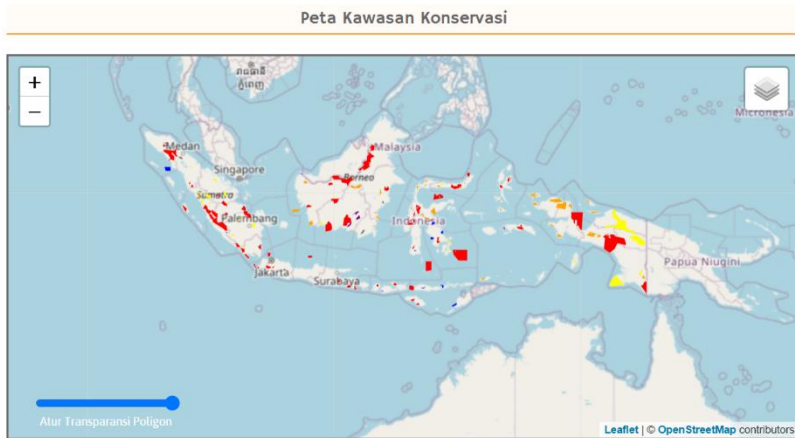
Sementara itu, kawasan konservasi perairan Indonesia juga mengalami perluasan yang signifikan sebagai bagian dari komitmen nasional terhadap pelestarian ekosistem laut dan pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs). Kawasan ini mencakup ekosistem penting seperti terumbu karang, padang lamun, dan mangrove, yang mendukung keanekaragaman spesies laut sekaligus berperan dalam keberlanjutan sektor perikanan.

Pemerintah Indonesia terus berupaya meningkatkan luas kawasan konservasi ini melalui berbagai program dan kebijakan. Langkah-langkah tersebut meliputi penetapan kawasan konservasi baru, rehabilitasi habitat yang rusak, serta pelibatan masyarakat lokal dalam pengelolaan kawasan konservasi secara berkelanjutan. Hal ini diharapkan dapat mempertahankan fungsi ekologis dan memberikan manfaat ekonomi serta sosial bagi generasi mendatang.

No.	Provinsi	2022									
		Konservasi			Hutan Lindung (Ha)	Hutan Produksi			Jumlah Luas Daratan Kawasan Hutan (Ha)	Jumlah Luas Daratan dan Perairan Kawasan Hutan (Ha)	
		Perairan (Ha)	Daratan (Ha)	Jumlah Konservasi (Ha)		Hutan Produksi Terbatas (Ha)	Hutan Produksi Tetap (Ha)	Hutan Produksi yang dapat Dikonversi (Ha)			
1 Aceh	0,00	1.058.364,40	1.058.364,40	1.781.677,92	145.178,34	549.794,88	15.374,69	2.492.025,83	3.550.390,23		
2 Sumatera Utara	0,00	427.008,00	427.008,00	1.206.881,00	641.769,00	704.452,00	75.684,00	3.055.795,00	3.055.795,00		
3 Sumatera Barat	37.164,00	769.775,00	806.939,00	791.671,00	233.211,00	360.608,00	187.629,00	2.342.894,00	2.380.057,00		
4 Riau	0,00	430.753,00	430.753,00	233.930,00	1.037.318,00	2.338.578,00	1.185.433,00	5.406.992,00	5.406.992,00		
5 Jambi	0,00	685.471,00	685.471,00	179.588,00	258.285,00	963.792,00	11.399,00	2.098.535,00	2.098.535,00		
6 Sumatera Selatan	49.104,00	741.681,00	790.785,00	578.279,00	213.918,00	1.712.819,00	160.996,00	3.407.693,00	3.456.797,00		
7 Bengkulu	0,00	462.965,00	462.965,00	250.750,00	173.280,00	25.873,00	11.763,00	924.631,00	924.631,00		
8 Lampung	0,00	462.030,00	462.030,00	317.615,00	33.358,00	181.732,00	0,00	1.004.755,00	1.004.755,00		
9 Kep. Bangka Belitung	0,00	34.500,00	34.500,00	166.371,00	0,00	443.051,00	693,00	643.615,00	643.615,00		
10 Kepulauan Riau	0,00	4.734,73	4.734,73	97.362,65	118.832,99	78.830,62	82.071,11	381.832,10	381.832,10		
11 DKI Jakarta	108.000,00	272,34	108.272,34	44,76	0,00	158,35	0,00	475,45	108.475,45		
12 Jawa Barat	0,00	131.180,00	131.180,00	291.386,00	190.152,00	202.965,00	0,00	816.163,00	816.163,00		
13 Jawa Tengah	110.117,00	16.413,00	126.530,00	84.430,00	183.930,00	362.360,00	0,00	647.133,00	757.250,00		
14 DI Yogyakarta	0,00	910,34	910,34	2.057,90	0,00	13.851,28	0,00	16.819,52	16.819,52		
15 Jawa Timur	3.506,00	230.126,00	233.632,00	344.742,00	0,00	782.772,00	0,00	1.357.640,00	1.361.146,00		
16 Banten	51.467,00	112.991,00	164.458,00	12.359,00	49.439,00	26.998,00	0,00	201.787,00	253.254,00		
17 Bali	3.415,00	22.878,59	26.293,59	95.766,06	6.719,26	1.907,10	0,00	127.271,01	130.686,01		
18 Nusa Tenggara Barat	11.121,00	167.913,00	179.034,00	430.485,00	286.700,00	150.740,00	0,00	1.035.838,00	1.046.959,00		
19 Nusa Tenggara Timur	256.482,00	264.930,00	521.412,00	684.572,00	169.707,00	288.214,00	78.494,00	1.485.917,00	1.742.399,00		
20 Kalimantan Barat	190.945,00	1.430.101,00	1.621.046,00	2.310.874,00	2.132.398,00	2.123.714,50	197.818,00	8.195.005,50	8.388.072,00		
21 Kalimantan Tengah	22.542,00	1.608.286,00	1.630.828,00	1.346.066,00	3.317.461,00	3.881.817,00	2.543.335,00	12.697.165,00	12.719.707,00		
22 Kalimantan Selatan	0,00	213.285,00	213.285,00	526.425,00	126.660,00	762.188,00	151.424,00	1.779.982,00	1.779.982,00		
23 Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara	0,00	1.704.666,00	1.704.666,00	2.848.243,00	5.045.164,45	4.022.075,55	211.575,88	13.831.724,88	13.831.724,88		
24 Sulawesi Utara	69.800,00	245.165,00	314.965,00	161.784,00	208.927,00	64.367,00	14.696,00	694.939,00	764.739,00		
25 Sulawesi Tengah	340.119,00	646.148,00	986.267,00	1.258.081,00	1.421.375,00	418.489,00	170.505,00	3.914.598,00	4.254.717,00		
26 Sulawesi Selatan	606.804,00	231.029,00	837.833,00	1.162.498,00	479.518,00	140.036,00	16.412,00	2.029.493,00	2.636.297,00		
27 Sulawesi Tenggara	1.504.160,00	282.924,00	1.787.084,00	1.081.489,00	466.854,00	401.581,00	93.571,00	2.326.419,00	3.830.579,00		
28 Gorontalo	0,00	196.653,00	196.653,00	204.608,00	251.097,00	89.879,00	82.431,00	824.668,00	824.668,00		
29 Sulawesi Barat	0,00	215.190,00	215.190,00	452.030,00	330.700,00	71.859,00	22.597,00	1.092.376,00	1.092.376,00		
30 Maluku	9.308,00	420.330,00	429.638,00	627.256,00	894.258,00	644.699,00	1.324.866,00	3.910.409,00	3.919.617,00		
31 Maluku Utara	0,00	218.499,00	218.499,00	589.058,00	666.851,00	481.730,00	564.082,00	2.515.220,00	2.515.220,00		
32 Papua Barat	928.350,00	1.711.908,00	2.640.258,00	1.631.589,00	1.778.480,00	2.188.160,00	1.474.650,00	8.794.787,00	9.713.137,00		
33 Papua	1.019.017,00	6.736.267,00	7.755.284,00	7.815.283,00	5.961.240,00	4.739.327,00	4.116.365,00	29.368.482,00	30.387.459,00		
Indonesia	5.321.321,00	22.086.347,40	27.407.668,40	29.560.152,29	26.802.781,04	29.228.418,28	12.794.164,68	120.471.864,69	125.795.306,19		

Gambar 5.2. Luas Kawasan Hutan dan Kawasan Konservasi Perairan Indonesia Tahun 2022 (Badan Pusat Statistik, 2024)

Pengelolaan Kawasan Suaka Alam dan Kawasan Pelestarian Alam di Taman Nasional dan Taman Wisata Alam dapat dilakukan kegiatan penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan, pendidikan dan peningkatan kesadaran konservasi alam; penyimpanan dan/atau penyerapan karbon, pemanfaatan air serta energi air, panas, dan angin serta wisata alam; pemanfaatan tumbuhan dan satwa liar; pemanfaatan sumber plasma nutfah untuk menunjang budidaya; pemanfaatan tradisional oleh masyarakat setempat untuk jenis yang tidak dilindungi. Sedangkan pemanfaatan di Cagar Alam dapat berupa: penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan; pendidikan dan peningkatan kesadaran konservasi alam; penyerapan dan/atau penyimpanan karbon; dan pemanfaatan sumber plasma nutfah untuk menunjang budidaya.



Gambar 5.3 Peta Persebaran Kawasan Konservasi di Indonesia (Direktorat Jenderal Konservasi Sumber Daya Alam dan Ekosistem, 2024)

Salah satu manfaat yang diberikan oleh kawasan konservasi di Indonesia kepada masyarakat adalah jasa lingkungan seperti wisata alam, air, panas bumi dan karbon.



Gambar. 5.4 Pemanfaatan Taman Nasional sebagai kegiatan wisata Alam bagi masyarakat.

Bertempat di Taman Blambangan, Kota Banyuwangi, pada hari Kamis tanggal 22 Agustus 2024. Tujuan Festival TN/TWA Tahun 2024 adalah menjadi media promosi wisata alam di Taman Nasional dan Taman Wisata Alam, sekaligus sebagai ruang edukasi untuk mengajak masyarakat menjadi wisatawan yang bijak dan cerdas. "*Responsible Tourists for Sustainable Tourism*" menjadi visi utama yang diusung dalam kegiatan ini. Dengan mematuhi aturan pengelola dan menghormati norma serta kearifan lokal setempat, festival ini diharapkan dapat membentuk wisatawan yang peduli terhadap kelestarian alam.



Gambar 5.5. Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung di Kabupaten Maros Sulawesi Selatan.
(Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung, 2024)

Taman Nasional (TN) Bantimurung Bulusaraung ditunjuk berdasarkan Keputusan Menteri Kehutanan Nomor : SK.398/Menhut-II/2004 tanggal 18 Oktober 2004 seluas \pm 43.750 Ha. Secara administrasi pemerintahan, kawasan taman nasional ini terletak di wilayah Kabupaten Maros dan Kabupaten Pangkajene Kepulauan (Pangkep). Secara geografis areal ini terletak antara $119^{\circ} 34' 17'' - 119^{\circ} 55' 13''$ Bujur Timur dan antara $4^{\circ} 42' 49'' - 5^{\circ} 06' 42''$ Lintang Selatan. Berdasarkan penataan zonasi masuk dalam zona pemanfaatan dengan luas 48,60 ha. Sedikitnya 250 jenis kupu-kupu yang teridentifikasi di kawasan wisata Bantimurung. Jenis kupu-kupu penting yang dilindungi yaitu *Cethosia myrina sarnada*, *Troides haliphron*, *Troides helena* dan *Troides hypolitus*. Kawasan wisata Bantimurung dialiri oleh sungai yang airnya bersumber dari dalam gua dan celah batu (sistem hidrologi karst) (Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung, 2024).

Sungai ini mengalir di antara tebing karst yang terjal dan membentuk telaga dan air terjun serta ke arah Selatan merupakan sumber air utama untuk daerah sekitarnya. Potensi yang paling menarik dari Kawasan wisata Bantimurung adalah keindahan air terjun serta panorama alam yang masih terjaga kelestariannya. Air Terjun Bantimurung memiliki ketinggian \pm 15 m, lebar \pm 20 m dan kemiringan \pm 45. (Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung, 2024).

Konservasi keanekaragaman hayati dapat dipahami sebagai upaya perlindungan, peningkatan, dan pengelolaan keanekaragaman hayati dengan tujuan untuk mempertahankannya pada tingkat yang dapat mendukung keberlanjutannya, sehingga dapat memberikan manfaat yang berkelanjutan bagi generasi sekarang dan mendatang. Fokus utamanya adalah pelestarian keanekaragaman spesies, pemanfaatan spesies dan ekosistem secara berkelanjutan, serta

pemeliharaan sistem pendukung kehidupan dan proses ekologi yang sangat penting. sangat penting dalam upayanya untuk mencapai pembangunan berkelanjutan dan memastikan peningkatan standar hidup bagi penduduknya. Sumber daya hayati negara ini beragam dan mencakup sumber daya yang ditemukan di kawasan lindung seperti taman margasatwa dan suaka margasatwa, hutan yang ditetapkan oleh negara, badan air, lingkungan pesisir dan laut (Otieno, 2023).

Bagi sebagian besar negara berkembang, sumber daya hayati menjadi pilar utama dalam pembangunan ekonomi dan sosial. Sumber daya hayati menyediakan makanan, tempat tinggal, bahan bakar, dan kayu, menciptakan lapangan kerja, serta menghasilkan devisa, terutama melalui sektor pariwisata. Di banyak masyarakat pedesaan, sumber daya hayati juga merupakan dasar dari mata pencaharian, serta mendasari interaksi sosial dan kemakmuran ekonomi. Melestarikan keanekaragaman hayati sangat penting untuk mempertahankan siklus biologis, pengaturan iklim, perlindungan tanah, daur ulang nutrisi penting, serta penyerapan dan penguraian polutan. Keanekaragaman sumber daya hayati juga memberikan peluang untuk pengembangan obat-obatan baru, pangan, dan produksi energi (Otieno, 2023).

Ancaman terhadap Sumber Daya Hayati

Kehilangan habitat dan degradasi ekosistem merupakan faktor utama yang menyebabkan penurunan spesies secara global, dan diperkirakan masalah ini akan semakin meningkat seiring dengan proyeksi penggunaan lahan manusia serta perubahan iklim di masa depan. Konservasi spesies yang efektif kini sangat bergantung pada pemulihan habitat untuk menghentikan penurunan jumlah spesies dan mencegah kepunahan. Upaya pemulihan habitat yang terdegradasi dapat meningkatkan

keberadaan spesies, memperbaiki struktur demografis, serta mendukung terbentuknya populasi yang sehat dan berkelanjutan. Namun, usaha ini menghadapi berbagai tantangan, baik dari sisi logistik, akademis, maupun ekonomi. Beberapa tantangan tersebut meliputi keterbatasan sumber daya dalam pengambilan keputusan yang tepat pada skala spasial dan temporal yang relevan, serta hambatan dalam penerapan alat atau produk konservasi yang ada. Selain itu, ketidakpastian yang timbul dari perubahan dunia yang terus berlangsung juga menjadi masalah. Kesulitan ini semakin diperburuk oleh keterbatasan dana dan sumber daya, serta kebutuhan mendesak untuk melakukan intervensi guna mencegah kepunahan spesies yang terancam. (Shyvers et al., 2024).

Tantangan yang dihadapi Pemerintah Indonesia ke depan adalah mengoptimalkan upaya pemanfaatan spesies yang dilindungi secara berkelanjutan, sehingga spesies tersebut tidak mengalami penurunan jumlah yang berujung pada kepunahan. Salah satu langkah yang perlu diambil adalah memperkuat penangkaran dengan meningkatkan pembangunan dan pengembangan lembaga konservasi. Penangkaran yang diikuti dengan pelepasan kembali ke alam liar merupakan salah satu teknik yang digunakan dalam konservasi spesies yang terancam punah. Teknik ini bertujuan untuk memperbanyak populasi spesies yang terancam agar dapat berkembang biak dan hidup secara alami di habitatnya. Akan tetapi, perlu diingat bahwa penangkaran kemungkinan terjadi perubahan kebugaran (*fitness*) pada keturunannya. Walaupun perubahan genetik tingkat populasi di penangkaran tidak secara intrinsik merugikan bagi individu hewan yang dipelihara di kebun binatang, tetapi mungkin memiliki konsekuensi negatif yang potensial untuk program pelepasliaran (Setiawan, 2022).

Ancaman yang lain adalah deforestasi atau penggundulan hutan, yaitu kegiatan penebangan pohon atau hutan untuk mengubah lahannya menjadi non-hutan. Deforestasi dapat menyebabkan berbagai dampak lingkungan dan terjadinya perubahan iklim. Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan ekspansi kawasan perkotaan, permintaan terhadap produk hutan diperkirakan akan meningkat, yang dapat berdampak negatif pada upaya konservasi keanekaragaman hayati. Kombinasi dari tekanan tersebut, ditambah dengan perubahan lingkungan global yang semakin intensif, berisiko merusak hutan secara signifikan. Hal ini akan mempengaruhi peran hutan sebagai habitat bagi berbagai flora dan fauna, mengancam keberlanjutan ekosistem yang bergantung pada keseimbangan tersebut. Dampak dari perubahan ini dapat mengurangi kemampuan hutan untuk menyediakan layanan ekosistem yang vital dan meningkatkan risiko kehilangan keanekaragaman hayati (Otieno, 2023).

Upaya Konservasi Keanekaragaman Hayati

Indonesia merupakan negara yang memiliki kekayaan dan keanekaragaman sumber daya hayati yang luar biasa tinggi, menjadikannya salah satu negara dengan biodiversitas terbesar di dunia. Namun, meskipun memiliki kekayaan alam yang melimpah, Indonesia juga menghadapi ancaman besar terhadap lingkungan, terutama terkait dengan kepunahan spesies. Berbagai faktor, seperti kerusakan habitat, perburuan ilegal, perubahan iklim, serta konversi lahan, telah memperburuk kondisi ini dan meningkatkan risiko hilangnya keanekaragaman hayati yang ada.

Oleh karena itu, konservasi keanekaragaman hayati, khususnya terhadap spesies tumbuhan dan hewan yang terancam punah, menjadi langkah yang sangat mendesak

dan krusial. Upaya konservasi ini tidak hanya penting untuk melindungi spesies yang terancam, tetapi juga untuk memastikan keseimbangan ekosistem yang mendukung kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya. Dengan melaksanakan strategi konservasi yang efektif, kita dapat meminimalisir dampak negatif terhadap biodiversitas dan berkontribusi pada keberlanjutan alam yang akan bermanfaat tidak hanya untuk generasi sekarang, tetapi juga untuk generasi mendatang.

Konservasi in-situ dilakukan melalui pengelolaan kawasan dengan membangun pedoman konservasi keanekaragaman hayati yang mendukung perlindungan habitat alami serta pemeliharaan populasi spesies di lingkungannya. Upaya ini meliputi pembangunan berkelanjutan yang ramah lingkungan di sekitar kawasan konservasi, rehabilitasi dan restorasi ekosistem yang rusak, serta pemulihan spesies yang terancam punah. Konservasi ini juga mencakup pengendalian risiko dari organisme hasil modifikasi genetik, pengendalian spesies yang mengancam ekosistem atau habitat, dan penciptaan kondisi yang diperlukan untuk menjaga keberlanjutan keanekaragaman hayati. Pendekatan ini menghormati kearifan lokal serta melibatkan kerja sama untuk pendanaan dan dukungan bagi keberhasilan konservasi in-situ. Kawasan Konservasi In-Situ adalah kawasan perlindungan di habitat alami (Asril et al., 2022).

Konservasi **ex situ** adalah upaya perlindungan keanekaragaman hayati yang dilakukan di luar habitat aslinya. Strategi ini bertujuan untuk melestarikan komponen keanekaragaman hayati yang terancam di habitat alami, dengan harapan dapat mendukung pelestarian spesies secara keseluruhan.

Pada era keempat konservasi **ex situ**, pendekatan ini berfokus pada dua kegiatan utama. Pertama, melakukan pencuplikan atau pengambilan komponen keanekaragaman hayati, baik itu genetik, spesies, maupun individu, dari populasi yang ada di habitat alamnya. Kedua, membangun fasilitas konservasi **ex situ** berdasarkan koleksi yang telah dikumpulkan. Fasilitas tersebut dapat berupa kebun raya, kebun binatang, bank benih, bank genetik, atau akuarium, yang dirancang untuk menjaga kelangsungan hidup spesies atau genetik dalam lingkungan buatan.

Konservasi **ex situ** memiliki peran penting, terutama dalam melestarikan spesies yang terancam punah akibat perusakan habitat, perubahan iklim, atau ancaman lainnya. Selain itu, metode ini juga mendukung penelitian, pengembangan teknologi reproduksi, dan program edukasi masyarakat. Dengan keberhasilan program **ex situ**, spesies yang dikonservasi dapat diperkenalkan kembali ke habitat aslinya atau habitat baru yang aman, sehingga berkontribusi pada pemulihan populasi di alam liar.

Konservasi sumber daya alam adalah suatu upaya untuk memanfaatkan sumber daya alam dengan bijaksana, berdasarkan prinsip-prinsip hukum alam yang memastikan keberlanjutannya. Hal ini dilakukan dengan cara yang tidak hanya mempertahankan kuantitas sumber daya alam, tetapi juga berfokus pada pemeliharaan dan peningkatan kualitas keanekaragaman hayati. Konservasi bertujuan untuk menjaga keseimbangan ekosistem, mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya alam agar dapat memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan serupa.

Melalui pendekatan konservasi yang baik, tidak hanya sumber daya alam yang terjaga, tetapi juga ekosistem yang mendukungnya. Proses ini mencakup berbagai strategi, seperti perlindungan habitat alami, pengelolaan berbasis ekosistem, restorasi dan rehabilitasi kawasan yang rusak, serta pengendalian eksploitasi berlebihan. Selain itu, konservasi juga mencakup pemeliharaan keberagaman spesies, yang melibatkan upaya untuk melindungi spesies langka dan terancam punah.

Konservasi sumber daya alam yang berkelanjutan harus memperhatikan integrasi antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Ini berarti bahwa pemanfaatan sumber daya alam harus selaras dengan kebutuhan pembangunan ekonomi, peningkatan kesejahteraan masyarakat, serta perlindungan lingkungan. Melalui upaya konservasi yang efektif, diharapkan kualitas kehidupan manusia dan kelestarian alam dapat terjaga dalam jangka panjang, sekaligus mendukung keberlanjutan kehidupan di bumi.

Menjaga kawasan hutan dan ekosistemnya, sebagai upaya konservasi keanekaragaman hayati. Di tingkat global, hutan tropis menyimpan lebih dari setengah keanekaragaman hayati dunia dan memiliki peran yang sangat penting terhadap sistem iklim. Hutan tropis juga menyediakan berbagai fungsi dan layanan ekosistem yang vital, seperti penyimpanan karbon, pengaturan siklus air, serta penyediaan habitat bagi beragam spesies. Selain itu, hutan tropis memainkan peran krusial dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan, karena mereka mendukung kehidupan manusia dengan menyediakan bahan pangan, obat-obatan, dan sumber daya alam lainnya, serta berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim dan pengurangan bencana alam. Dengan menjaga kelestarian hutan tropis, kita juga membantu memastikan keberlanjutan sosial, ekonomi, dan lingkungan untuk generasi mendatang (Otieno, 2023).

Upaya pemerintah khususnya Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) mengoptimalkan upaya pengendalian kebakaran hutan dan lahan pada wilayah-wilayah rawan karhutla, dan meningkatkan upaya pencegahan terutama di wilayah yang belum memasuki musim kemarau. Langkah ini merupakan Upaya penanganan permasalahan hilangnya biodiversitas pada lahan hutan.



Gambar 5.6. Upaya pengendalian kebakaran hutan dan lahan pada wilayah-wilayah rawan karhutla. (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2024)

Upaya pencegahan karhutla seperti deteksi dini titik panas, patroli pencegahan karhutla oleh Manggala Agni, bersama dengan TNI, Polri, dan masyarakat, sosialisasi kepada masyarakat, pembentukan Masyarakat Peduli Api (MPA), operasi modifikasi cuaca, water bombing, patroli udara, dan penataan ekosistem gambut (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2024).

Daftar Pustaka

- Arif Mu, R. (2024). Peran konservasi sumberdaya alam terhadap sustainable development goals (sdgs) air bersih dan sanitasi layak. *Jurnal Penelitian Pendidikan Indonesia*, 1(3), 378–384.
- Asril, M., Simarmata, M. M., Permata Sari, S., Indarwati, Setiawan Asri, R. B., Afriansyah, & Junairiah. (2022). Keanekaragaman Hayati. In *Yayasan Kita Menulis* (Vol. 1).
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Luas Kawasan Hutan dan Kawasan Konservasi Perairan Indonesia Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2017-2022*.
- Direktorat Jenderal Konservasi Sumber Daya Alam dan Ekosistem. (2024). *Peta Kawasan Konservasi*. <https://ksdae.menlhk.go.id/kawasan-konservasi.html>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2024). *Karhutla Teratasi Bagian Stabilitas Jelang Pelantikan Presiden*. <https://www.menlhk.go.id/>
- National Geographic Indonesia. (2019). *Kepunahan Biodiversitas Tertinggi, Indonesia Peringkat Ke-6*. Nationalgeographic.Co.Id. <https://nationalgeographic.grid.id/read/131833161/kepunahan-biodiversitas-tertinggi-indonesia-peringkat-ke-6>
- Otieno, J. O. (2023). Challenges and Current Strategies in Biodiversity Conservation in Kenya: A Review. *OALib*, 10(12), 1–17. <https://doi.org/10.4236/oalib.1110951>
- Setiawan, A. (2022). Keanekaragaman Hayati Indonesia: Masalah dan Upaya Konservasinya. *Indonesian Journal of Conservation*, 11(1), 13–21. <https://doi.org/10.15294/ijc.v11i1.34532>
- Shyvers, J. E., Van Schmidt, N. D., Saher, D. J., Heinrichs, J. A., O'Donnell, M. S., & Aldridge, C. L. (2024). Leveraging local habitat suitability models to enhance restoration benefits for species of conservation

concern. *Biodiversity and Conservation*, 33(13), 3617–3641. <https://doi.org/10.1007/s10531-024-02886-x>

Sistem Database Konservasi Dit KKKHL. (2024). *Kawasan Konservasi Target dan Jangkauan Area*. <https://sidakokkhl.kkp.go.id/sidako/capaian>

Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung. (2024). *Kawasan Wisata Bantimurung*. <https://www.bantimurungbulusaraung.id/bantimurung/>

Profil Penulis



Rusmadi Rukmana, S.Si., M.Pd.

Lahir di Jenepono, 26 oktober 1989. Penulis menyelesaikan Pendidikan S1 di Jurusan Biologi, UIN Alauddin Makassar pada tahun 2011. Melanjutkan pendidikan S2 di Universitas Negeri Makassar selesai pada tahun 2015. Sebagai dosen di Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Uin Alauddin Makassar pada tahun 2015-sekarang. Penulis Juga aktif sebagai pengajar dan pengelola Lab. Immim Putra Makassar. Penulis tertarik pada riset di bidang botani, ekologi, dan etnobiologi. Saat ini penulis aktif menulis artikel jurnal penelitian, aktif menulis buku, diantaranya Etnobotani (Tinjauan umum tentang Etnobotani dan Tumbuhan Obat) tahun 2022, Genetika Dasar Tahun 2023, Pengelolaan Hama Pemukiman 2024, dan Pengelolaan limbah 2024, EKOLOGI Pangan dan Gizi 2024. Hidrobiologi 2024. Selain itu penulis juga Aktif pada beberapa organisasi sosial kemasyarakatan, sebagai anggota Asosiasi Dosen ADBPBPTKI, sebagai anggota MABBI, dan sebagai anggota IGI Indonesia.

Email Penulis: rusmadi.bio@uin-alauddin.ac.id

PENGELOLAAN SUMBER DAYA ALAM YANG BERKELANJUTAN

Gizela Aulia Agustin, S.Si.

Duis aute irure dolor in reprehenderit

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang sangat kaya akan sumber daya alam, baik sumber daya pertanian, kehutanan, minyak bumi, gas bumi, hingga sumber daya perairan. Dengan wilayah perairan yang sangat luas, Indonesia pun dikenal sebagai negara maritim. Sebagai negara maritim, Indonesia memiliki garis pantai sepanjang 81.000 km dan luas wilayah perikanan di laut sekitar 5,8 juta km² yang terdiri dari perairan kepulauan dan teritorial seluas 3,1 juta km² dan perairan Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) seluas 2,7 juta km². Luasnya wilayah tersebut menjadikan Indonesia memiliki sumber daya alam perairan yang sangat kaya dan menunjukkan potensi pengembangan perikanan dan kelautan Indonesia yang sangat cerah serta berpotensi menjadi bagian dari kegiatan ekonomi strategis. Salah satu sumber daya alam yang menjadi kekayaan perairan Indonesia adalah aneka ragam ikan yang menjadikannya sebagai sumber daya dengan tingkat biodiversitas perairan tertinggi. Sumber daya ikan Indonesia menyumbang sekitar 37% dari spesies ikan di dunia (Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup, 1994).

Mari kita mengenal salah satu ikan endemik Indonesia, yaitu ikan wader pari (*Rasbora lateristriata* Bleeker, 1854). Ikan wader pari telah menjadi salah satu komoditas yang banyak dimanfaatkan oleh masyarakat untuk diolah menjadi aneka masakan. Namun, sumber daya yang dimanfaatkan masih bergantung pada ketersediaan ikan wader pari di alam, sehingga apabila tidak diiringi dengan pembudidayaan yang berkelanjutan, maka populasi ikan wader pari akan terancam. Berdasarkan hasil evaluasi sekitar 5.000 spesies hewan vertebrata yang dilakukan oleh IUCN (*Internasional Union for the Conservation of Nature and Natural Resources*), menunjukkan bahwa ikan air tawar adalah kelompok vertebrata yang paling terancam (Reid *et al.*, 2013). Oleh karena itu, dibutuhkan upaya pelestarian agar keanekaragaman ikan air tawar di Indonesia tetap terjaga.

Deskripsi Ikan Wader Pari (*Rasbora lateristriata* Bleeker, 1854)

Rasbora lateristriata merupakan salah satu spesies dari genus *Rasbora*, yang merupakan anggota dari kelas Teleostei, ordo Cypriniformes, dan famili Cyprinidae (ITIS, 2021). Terdapat 43 spesies ikan genus *Rasbora* yang tersebar di seluruh perairan tawar Indonesia, termasuk *Rasbora lateristriata* yang tersebar di wilayah Sumatra, Kalimantan, Jawa, Bali, dan Lombok (Kottelat *et al.*, 1993). Ikan wader pari memiliki beberapa nama lain seperti ikan seluang untuk wilayah Sumatra dan Kalimantan serta ikan nyalian untuk wilayah Bali.



Gambar 6.1. Ikan wader pari

Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1, karakteristik ikan wader pari yang paling mencolok adalah adanya garis berwarna kuning atau jingga dan biru kehitaman yang memanjang dari posterior operkulum hingga ke bagian ekor (Raharjeng dkk., 2022). Posisi mulut ikan berada di ujung dengan ukuran kecil, memiliki bonggol sambungan tulang penyusun rahang bawah, dan tidak bersungut (Saanin, 1984).

Ikan wader pari hidup pada habitat sungai, danau, kolam, parit, dan rawa-rawa yang memiliki kandungan oksigen tinggi dan tidak memiliki arus yang kuat (Brittan, 1998). Meskipun demikian, ikan wader pari dapat melakukan adaptasi pada habitat dengan kondisi ekstrem. Pada musim kemarau, saat oksigen terlarut rendah adaptasi dilakukan secara fisiologis dengan peningkatan afinitas darah terhadap oksigen. Pada musim hujan, saat kondisi arus deras, ikan wader pari akan berlindung di balik bebatuan dan berusaha berenang melawan arus (Hartoto & Mulyana, 1996). Habitat wader pari umumnya memiliki suhu berkisar antara 22-24°C dengan pH antara 6,0-6,5 (Sentosa & Djumanto, 2010). Saat akan melakukan pemijahan, ikan wader pari akan berenang ke hulu sungai yang jernih dan dangkal dengan dasar berbatu atau berpasir. Waktu pemijahan ikan wader pari di alam hanya dilakukan setahun sekali, yaitu pada akhir musim penghujan. Faktor yang mendukung pemijahan pada waktu tersebut adalah kondisi perairan yang jernih, segar, dan memiliki suhu yang cukup rendah. Tinggi permukaan air juga relatif rendah dengan arus air yang tidak terlalu cepat (Djumanto *et al.*, 2008). Selama musim pemijahan, indukan ikan wader pari akan banyak berkelompok di area pemijahan pada malam hari, sehingga waktu tersebut sering dimanfaatkan nelayan untuk menangkap ikan wader pari.

Ancaman Terhadap Kelestarian Ikan Wader Pari

Berdasarkan IUCN Red List, status ikan wader pari saat ini berada di tahap rentan atau *vulnerable* (VU). Status tersebut dapat berubah menjadi kritis apabila habitat ikan wader mengalami penurunan yang drastis sehingga menyebabkan habitat tersebut tidak cocok untuk berkembang biak. Beberapa ancaman yang berpengaruh dalam menurunnya populasi ikan wader pari diantaranya:

1. Pembangunan perumahan dan area komersial yang mengurangi habitat asli ikan wader pari

Pembangunan perumahan dapat menyebabkan kerusakan di hulu sungai karena terjadinya erosi dan sedimentasi karena tidak adanya akar pohon yang menahan lapisan tanah untuk tidak hanyut ke aliran sungai. Selain itu, adanya aktivitas penambangan pasir di sekitar sungai juga mengganggu aktivitas pemijahan ikan wader pari karena menyebabkan perubahan kualitas air serta tertutupnya substrat yang berfungsi sebagai tempat pemijahan akibat sedimentasi (Sentosa & Djumanto, 2010).

2. Habitat asli yang tercemar limbah rumah tangga maupun limbah pertanian yang berbahaya

Timbunan sampah baik organik maupun anorganik yang terakumulasi dari aktivitas rumah tangga maupun industri yang tidak dikelola dengan baik akan menyebabkan rusaknya habitat ikan wader pari, penurunan kualitas air, perubahan habitat, dan perubahan iklim.

3. Spesies invasif yang dilepas di habitat asli ikan wader pari

Di perairan Daerah Istimewa Yogyakarta tercatat 47 jenis ikan, dimana 42 jenis merupakan ikan lokal dan 5 jenis merupakan ikan introduksi atau tebaran yang terdiri dari ikan red devil (*Amphilophus amarillo*), ikan nila (*Oreochromis niloticus*), ikan guppy (*Poecilia*

reticulata), ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys* spp.), dan ikan ekor pedang (*Xiphophorus hellerii*). Ikan tersebut ditemukan pada zona tengah dan hilir. Beberapa ikan introduksi tersebut merupakan spesies invasif seperti ikan red devil yang berkembang biak sangat pesat sehingga menjadi dominan di Waduk Sermo yang berkompetisi dengan ikan asli terhadap makanan bahkan memangsa anakan dari ikan asli, sehingga jumlah ikan asli mengalami penurunan yang drastis (Habibie *et al.*, 2015). Masyarakat juga banyak memilih ikan nila untuk dilepas ke sungai karena permintaan pasar yang tinggi, padahal ikan nila merupakan salah satu spesies invasif yang menjadi salah satu penyebab terancamnya keberadaan ikan wader pari. Ikan sapu-sapu yang banyak ditemukan pada zona hilir juga berpotensi menjadi invasif karena memangsa anakan ikan asli.

Ikan import seperti ikan aligator apabila dilepaskan ke habitat baru maka tidak ada predator alami yang menjaga keseimbangan populasinya, sehingga populasi ikan tersebut akan tumbuh terus menerus. Dampak yang terjadi yaitu pergeseran struktur komunitas ikan yang didominasi ikan non ekonomi serta menurunnya biomassa ikan yang dapat dipanen oleh nelayan (Djumanto, 2023).

4. Penangkapan dan pemanenan ikan yang merusak lingkungan

Salah satu cara yang digunakan untuk penangkapan ikan yang jauh dari pemukiman adalah menggunakan setrum yang dihasilkan dari rangkaian elektronik dengan sumber listrik dari baterai. Komponen tersebut sederhana karena terbuat dari kawat tembaga, inti besi lunak, kabel, kondensator, platina, saklar, serta baterai atau aki motor, sehingga nelayan dapat membuatnya dengan mudah menggunakan biaya yang relatif murah

atau menggunakan bahan bekas. Ikan yang terpapar oleh kejutan listrik kecil akan tertarik oleh anoda, kejutan listrik sedang akan membuat ikan mengalami pingsan, dan kejutan listrik besar akan menimbulkan kematian. Alat setrum tersebut umumnya tanpa pengendali kekuatan tegangan sehingga tidak dapat menargetkan jenis ikan pada ukuran tertentu. Akibatnya, penggunaan alat ini dapat menyebabkan penurunan populasi ikan yang sangat besar (Djumanto, 2023).

Upaya Konservasi dan Pengelolaan Berkelanjutan

Selain menjaga habitat asli ikan wader pari sebagai upaya konservasi yang utama, mengurangi tingkat pemanenan ikan wader pari di habitat aslinya juga merupakan salah satu cara untuk menjaga populasi ikan wader pari di alam tetap terjaga, salah satunya adalah dengan budidaya dan pengelolaan yang berkelanjutan.

Ikan wader pari yang baru dipindahkan dari habitat aslinya perlu dilakukan aklimatisasi hingga ikan dapat beradaptasi di lingkungan baru. Ikan yang sudah beradaptasi ditandai dengan perilaku yang sudah tidak bergerombol, sudah dapat mengonsumsi pakan buatan, dan sudah dapat memijah.

Sebagai salah satu ikan endemik, tentu keberadaan ikan wader pari patut dilestarikan. Kelestarian suatu spesies berkaitan erat dengan tingkat keberhasilan spesies tersebut dalam melakukan proses pemijahan (Effendie, 2002). Pelestarian ikan wader pari juga sekaligus dapat dibersamai dengan pemanfaatan ikan wader pari yang berkelanjutan. Sebagai ikan air tawar, ikan wader pari merupakan ikan yang relatif mudah untuk dibudidayakan dengan pemeliharaan yang tidak sulit.

Budidaya sebagai salah satu upaya untuk menjaga kelestarian ikan wader pari dapat dilakukan dengan memahami media dan teknik yang digunakan.

1. Media

Kualitas air yang digunakan selama pemeliharaan tentu akan menentukan *survival rate* dari ikan wader pari dan menghindarkan dari potensi penyakit ikan. Kualitas air sebaiknya dipantau secara rutin agar habitat ikan terjaga secara optimal. Berikut merupakan parameter ideal untuk habitat ikan wader pari:

- a. DO (*dissolved oxygen*): jumlah oksigen terlarut untuk ikan wader pari idealnya berada di angka 9 mg/L, namun ikan masih dapat beradaptasi meskipun oksigen terlarut berada di bawah 5 mg/L.
- b. pH: berkisar antara 6-9
- c. Suhu: berkisar antara 24°C-32°C
- d. TDS (*total dissolve solid*): <2000 ppm, semakin kecil jumlah TDS, maka semakin baik kualitasnya karena menandakan air yang semakin bersih.

Selain kualitas air, media untuk menjadikan proses pemijahan wader pari lebih optimal adalah dengan memisahkan kolam sesuai dengan peruntukannya, sebagai berikut:

- 1) Kolam Pemijahan atau *mating chamber*, merupakan kolam yang dilengkapi dengan media pemijahan, misalnya menggunakan ijuk aren yang ditimpa dengan batu pemberat agar ijuk aren tetap berada di dasar kolam. Ijuk aren dipilih sebagai substrat karena memudahkan dalam koleksi telur.

- 2) Kolam Penetasan, merupakan kolam untuk memindahkan telur dari kolam pemijahan untuk ditetaskan.
- 3) Kolam Budidaya, merupakan kolam untuk perbesaran larva ikan wader dari kolam penetasan. Hasil dari kolam budidaya inilah yang akan dipanen maupun disortir beberapa ikan untuk dijadikan indukan baru.
- 4) Kolam Indukan, merupakan kolam untuk meletakkan indukan untuk dapat dipijahkan kembali di kemudian hari.

2. Pakan

Pemilihan pakan yang berkualitas akan berpengaruh dengan produktivitas ikan. Struktur mulut ikan wader pari yang relatif kecil berpengaruh dengan ukuran pakan yang akan diberikan, sehingga disarankan menggunakan pelet ikan berukuran -1. Pemberian pakan dilakukan tiga kali sehari pada waktu pagi, siang, dan sore hari.

3. Seleksi Indukan

Indukan yang sudah dapat memijah umumnya berusia sekitar 5 bulan. Sebelum pemijahan, ikan diseleksi terlebih dahulu ke dalam tiga kelompok, yaitu kelompok Jantan, kelompok betina, dan kelompok yang belum matang gonad atau belum siap untuk dipijahkan. Ikan yang belum matang gonad perlu dipisahkan karena dapat berpotensi menginduksi ikan lainnya sehingga menyebabkan kegagalan pemijahan sekaligus tidak efektif. Seleksi indukan dilakukan dengan cara memposisikan ikan secara terbalik sehingga abdomen menghadap ke atas. Ikan jantan dan betina yang telah matang gonad ditandai dengan keluarnya sperma dan telur dari

organ genital ketika abdomen diurut secara perlahan. Saat ikan diangkat ketika sedang diseleksi, ikan diposisikan tepat di atas permukaan air untuk menghindari ikan mengalami stress (Raharjeng *dkk.*, 2022).

4. Pemijahan

Pemijahan dalam skala kecil dilakukan menggunakan *mating chamber* berupa akuarium atau kontainer dan pemijahan skala besar dapat menggunakan kolam pemijahan. Pemijahan dilakukan dengan perbandingan ikan jantan : ikan betina adalah 2:1 agar telur dapat terbuahi dengan optimal karena jumlahnya yang lebih banyak. *Mating chamber* diisi dengan air hingga 3/4 penuh dan diberi aerator untuk menjaga kandungan oksigen terlarut tetap stabil. Indukan wader kemudian dimasukkan dalam *mating chamber* pada sore hari dan ditutup sehingga kondisi menjadi gelap selama kurang lebih 12 jam. Saat pemijahan, ikan wader pari akan mencari substrat seperti tumbuhan atau benda terapung untuk meletakkan telurnya, sehingga ikan wader pari termasuk dalam jenis ikan fitofil. Ikan litofil adalah fotofobia, sehingga ikan tersebut akan memijah di malam hari ketika kondisi gelap (Welcomme, 1985).

5. Pemanenan dan Penetasan Telur

Keesokan paginya, dilakukan pemanenan telur untuk dipindahkan ke kolam penetasan. Pemanenan telur diawali dengan pemindahan indukan ikan wader pari kembali ke kolam indukan terlebih dahulu untuk mempermudah pengambilan telur, menghindarkan indukan mengalami stress, dan supaya telur tidak dimakan oleh indukan. Setelah seluruh indukan dipindahkan, ijuk diambil dan dipastikan telur sudah tidak menempel pada ijuk. Telur kemudian

dipindahkan ke dalam kolam penetasan dengan cara disebar merata. Apabila telur terlalu berdekatan, maka dapat berpotensi menyebabkan pembusukan. Telur ikan wader pari bersifat melayang (*semi bouyant*) dan tidak memiliki perekat (*non adhesive*). Setelah dibuahi, telur akan tenggelam ke dasar air. Waktu yang diperlukan telur untuk menetas adalah 24 jam setelah fertilisasi.

6. Pembesaran Ikan

Setelah menetas, larva dapat diberi pakan pada hari ketiga karena pada waktu tersebut cadangan makanan sudah habis dan mulut sudah dapat terbuka. Pemberian pakan larva dapat menggunakan pelet ikan yang telah dihaluskan atau menggunakan pakan udang protein tinggi. Namun, penggunaan pakan udang yang berlebihan dapat menyebabkan pakan busuk sehingga menurunkan kualitas air. Pembesaran ikan wader pari hingga pemanenan dibutuhkan waktu kurang lebih 2 hingga 3 bulan.

Potensi Ekonomi dan Pemanfaatan Berkelanjutan

Ikan wader pari memiliki beberapa manfaat, diantaranya:

1. Ikan sebagai sumber protein (nutrisi)

Ikan wader pari dapat dimanfaatkan menjadi aneka olahan makanan yang bergizi karena memiliki kandungan protein hingga 19,88% (Herawati *et al.*, 2017). Ikan juga mengandung asam lemak tak jenuh dan berbagai vitamin dan mineral yang diperlukan tubuh untuk menjaga kesehatan (Alam *et al.*, 2012). Ikan juga memiliki harga yang murah sehingga lebih terjangkau untuk masyarakat luas.

Olahan makanan tradisional ikan wader pari juga dapat dikombinasikan dengan komponen wisata lain seperti yang diimplementasikan oleh Kelompok Sadar

Wisata (POKDARWIS) Klayar Manunggal di Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta untuk mengembangkan Desa Wisata Klayar sebagai salah satu tujuan wisata alternatif. Pengembangan oleh POKDARWIS tersebut dilakukan dengan mengkolaborasikan antara kuliner tradisional ikan wader, pemandangan alam Klayar yang eksotik, dan wisata petik buah (Retnoaji *dkk.*, 2022).

Selain itu, ikan wader pari juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk inovasi olahan makanan, seperti sambal wader maupun kripik wader yang tetap mempertahankan kandungan nutrisi di dalamnya dengan rasa yang enak.

2. Ikan sebagai komoditas perdagangan

Food and Agriculture Organization (FAO) pada tahun 2023 mengungkapkan produksi perikanan dunia tahun 2022 mencapai 177,8 juta ton yang terdiri dari ikan hasil tangkapan sebesar 90,3 juta ton dan hasil budidaya akuakultur sebanyak 87,5 juta ton. Hasil tangkapan ikan didominasi oleh ikan air laut sebanyak 78,8 juta ton, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan penangkapan ikan air tawar yang hanya mencapai 11,5 juta ton. Di Indonesia, produksi perikanan tangkap perairan laut mencapai 6,43 juta ton dan perikanan tangkap perairan darat sekitar 0,49 juta ton. Perairan darat menyumbang lebih dari 10% dari total produksi ikan tangkapan.

3. Ikan sebagai sumber plasma nutfah

Ikan merupakan salah satu sumber plasma nutfah karena setiap jenis ikan memiliki susunan genetik yang dapat menghasilkan karakteristik yang berbeda pada bentuk, warna, dan ukuran (Liu *et al.*, 2019).

4. Ikan sebagai indikator ekologis

Perairan yang memiliki keanekaragaman ikan melimpah dengan jumlah individu masing-masing jenis banyak, maka kualitas lingkungan perairan tersebut dapat dipastikan sangat baik dan sehat (Sherry, 2003).

5. Ikan sebagai hewan uji

Pemanfaatan ikan sebagai objek penelitian semakin berkembang pesat karena penanganan dan perawatannya tidak rumit. Ikan dapat dipelihara dalam ruang terbatas, dapat berkembang biak dengan cepat, memiliki banyak keturunan, kemudahan dalam melakukan rekayasa genetik, dan prosedur penelitian tidak memerlukan persyaratan hukum yang ketat. Ranah penelitian yang dilakukan dapat menjangkau aspek makanan atau non-makanan, dengan hasil penelitian yang mengungkap manfaat timbal balik, serta informasi yang dikumpulkan memiliki relevansi ekonomi, lingkungan, maupun konservasi. Penelitian ikan dapat dilakukan secara *in-situ* maupun *ex-situ*, dengan studi terkait siklus hidup, reproduksi, dan perilaku (Djumanto, 2023).

Kesimpulan dan Rekomendasi

Pelestarian ikan wader pari merupakan salah satu upaya kecil yang berdampak besar bagi keberlangsungan biodiversitas Indonesia. Dengan adanya pelestarian dari satu spesies endemik, diharapkan masyarakat juga semakin termotivasi untuk turut melestarikan spesies-spesies lain sebagai bentuk tanggung jawab atas kekayaan alam melimpah yang dikaruniakan kepada bangsa Indonesia.

Daftar Pustaka

- Alam, A. K. M. N., Mohanty, B. P., Hoq, M. E., & Thilsted, S. H. (2012). Nutritional values, consumption and utilization of Hilsa *Tenualosa ilisha* (Hamilton 1822). *In Proceedings of the regional workshop on hilsa: potential for aquaculture*, 16-17.
- Brittan, M. R. (1998). *Rasboras: Keeping & Breeding Them in Captivity*. New Jersey, USA: TFH Publications.
- Djumanto, Setyobudi, E., Sentosa, A A, R., Budi, R., & Nirwati, N. (2008). Reproductive biology of the yellow rasbora (*Rasbora lateristriata*) inhabitat of The Ngrancah River, Kulon Progo Regency. *Jurnal Perikanan*, 10(2):261–275.
- Djumanto. (2023). *Tantangan peningkatan produksi dan pelestarian sumberdaya ikan asli perairan darat Indonesia*. Yogyakarta, Indonesia: Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar dalam bidang Ilmu Manajemen Sumberdaya Perikanan pada Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada.
- Nur, M. (2023). Pemanfaatan dan Tantangan Pengelolaan Sumber Daya Ikan Terbang Berkelanjutan (Exocoetidae) di Perairan Selat Makassar.
- Effendie, M.I. (2002). *Biologi Perikanan*. Yogyakarta, Indonesia: Yayasan Pustaka Nusatama.
- FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. Towards Blue Transformation. Rome, Italy: FAO.
- Habibie, S. A., Djumanto, Rustadi. (2015). Penggunaan otolit untuk penentuan umur dan waktu pemijahan ikan red devil, *Amphilophus labiatus* [Günther, 1864] di Waduk Sermo, Yogyakarta. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 15(2): 87-98.
- Hartoto, D.I. & Mulyana, E. (1996). Hubungan parameter kualitas air dengan struktur ikhtiofauna perairan darat Pulau Siberut. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 29:41-55.

- Herawati, T., Yustiati A., Nurhayati A., and Mustikawati R. (2017). Proximate composition of several fish from Jatigede reservoir in Sumedang district, West Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 137(1):1-7.
- ITIS. 2021. *Rasbora lateristriata* Bleeker, (1854). [Online: https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=689914#null]. Diakses pada 7 November 2024.
- Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup. (1994).
- Kottelat, M., Whitten, A. J., Nurani, K. S., & Soetikno, W. (1993). *Freshwater fishes of Western Indonesia and Sulawesi*. Hong Kong: Periplus Editions Ltd.
- Liu, Y., Blackburn, H., Taylor, S. S., Tiersch, T. R. (2019). Development of germplasm repositories to assist conservation of endangered fishes: Examples from small-bodied livebearing fishes. *Theriogenology*, 135:138-151.
- Raharjeng, A. R. P., Sani, L. P. A., Harahap, J. O., Blatama, D., Pratama, S. F., Adaninggar, A., & Saragih, S. G. (2022). Pengaruh Chlorpyrifos Terhadap Perkembangan Embrio Ikan Wader Pari. *Berkala Ilmiah Biologi*, 13(2):21-31.
- Reid G. M., Contreras, M. T., & Csatadi, K. (2013). Global challenges in freshwater fish conservation related to public aquariums and the aquarium industry. *International Zoo Yearbook*, 47(1):6-45.
- Retnoaji, B., Karyadi, J. N. W., Anshori, K., Sabilillah, A. M., Al Umami, L., & Sofyantoro, F. (2022). Implementasi Teknologi Budidaya Massal dan Pengolahan Pasca Panen Ikan Wader Pari. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 6(4):3112-3120.
- Saanin, H. (1984). *Taksonomi dan kunci identifikasi ikan Jilid I*. Bandung, Indonesia: Bina Cipta.
- Sentosa, A. A., & Djumanto, D. (2010). Habitat Pemijahan Ikan Wader Pari (*Rasbora Lateristriata*) Di Sungai Ngrancah, Kabupaten Kulon Progo [Spawning

Habitat of *Rasbora Lateristriata* in Ngrancah River, Kulon Progo Regency]. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 10(1), 55-63.

Sherry, J P. 2003. The role of biomarkers in the health assessment of aquatic ecosystems. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 6(4):423-440.

Welcomme, R. L. (1985). *River fisheries*. FAO Fisheries Technical Paper, 262:330.

Profil Penulis



Gizela Aulia Agustin, S.Si.

Penulis merupakan lulusan Biologi dari Universitas Gadjah Mada dengan minat khusus pada konservasi, biologi akuatik, dan pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan. Sejak di bangku kuliah, penulis telah terlibat dalam berbagai penelitian lapangan serta proyek konservasi, termasuk eksplorasi biodiversitas perairan dan budidaya ikan lokal. Penulis aktif sebagai anggota Gama Wader Research Team, sebuah tim yang fokus pada konservasi ikan wader pari (*Rasbora lateristriata*) dan aktif melakukan edukasi terkait budidaya ikan wader pari yang berkelanjutan kepada petani-petani lokal maupun masyarakat umum. Pada 2022, penulis dipercaya untuk menjadi ketua Gama Wader selama satu tahun.

Ketertarikan penulis terhadap biologi akuatik juga mengantarkan penulis untuk bergabung dalam Kelompok Studi Kelautan Fakultas Biologi UGM, sebuah kelompok kajian kelautan yang memperluas wawasan tentang biodiversitas dan ekosistem pesisir serta permasalahan konservasi di wilayah laut khususnya di Daerah Istimewa Yogyakarta. Penulis juga berpengalaman menjadi Asisten Laboratorium pada beberapa mata kuliah seperti Struktur dan Perkembangan Hewan, Histologi, Patologi Anatomi, dan Fisiologi Hewan, yang memperkuat keterampilan penulis dalam analisis laboratorium dan pemahaman terhadap metodologi riset ilmiah. Dengan latar belakang tersebut, penulis berkomitmen untuk berkontribusi pada pelestarian sumber daya alam Indonesia melalui pendekatan ilmiah dan edukatif.

Email Penulis: gizelaaulia99@mail.ugm.ac.id

ENERGI TERBARUKAN DAN EFISIENSI ENERGI

Dr. Kurniati Abidin, M.Si.
UIN Alauddin Makassar

Pendahuluan

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber alam yang dapat diperbarui atau yang secara alami dapat pulih kembali dalam waktu singkat, seperti sinar matahari, angin, air, biomassa, dan panas bumi. Berbeda dengan energi fosil yang membutuhkan waktu jutaan tahun untuk terbentuk, sumber energi terbarukan dapat diandalkan dalam siklus yang relatif pendek, menjadikannya pilihan yang berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi jangka panjang. Energi terbarukan sering kali dikenal sebagai energi yang bersih karena umumnya menghasilkan emisi karbon yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil.

Sejak ribuan tahun yang lalu, manusia telah menggunakan energi terbarukan untuk kebutuhan sehari-hari, mulai dari tenaga air yang digunakan untuk menggiling biji-bijian hingga tenaga angin untuk berlayar. Namun, pada era Revolusi Industri, penggunaan energi fosil mulai dominan karena kemampuannya menghasilkan energi dalam jumlah besar.

Perhatian pada energi terbarukan kembali muncul pada tahun 1970-an saat krisis minyak terjadi, dan negara-negara mulai menyadari risiko ketergantungan terhadap energi fosil. Sejak saat itu, penelitian dan pengembangan teknologi energi terbarukan semakin pesat. Kini, berbagai inovasi teknologi, seperti panel surya dan turbin angin modern, memungkinkan energi terbarukan menjadi lebih efisien dan terjangkau.

Terdapat beberapa keunggulan energi terbarukan dibandingkan energi fosil, diantaranya **bersifat berkelanjutan**, sumber energi seperti matahari, angin, dan air selalu tersedia di alam dan tidak akan habis jika dikelola dengan baik. **Ramah lingkungan**, emisi gas rumah kaca dari energi terbarukan jauh lebih rendah dibandingkan energi fosil, sehingga berkontribusi terhadap pengurangan perubahan iklim. **Diversifikasi sumber energi**, dengan adanya berbagai jenis energi terbarukan, ketergantungan terhadap energi fosil dapat berkurang dan menciptakan stabilitas energi. **Penciptaan lapangan kerja baru**, energi terbarukan sering kali melibatkan teknologi baru yang membutuhkan tenaga kerja terampil, menciptakan peluang ekonomi di berbagai sektor.

Adapun keterbatasan pengembangan energi terbarukan diantaranya: **Biaya awal yang tinggi**, investasi awal untuk teknologi energi terbarukan, seperti panel surya atau turbin angin, masih relatif mahal meskipun terus menurun. **Ketergantungan pada kondisi cuaca dan lokasi**, sumber energi seperti surya dan angin sangat bergantung pada kondisi cuaca dan lokasi, yang dapat memengaruhi ketersediaan energi. **Kapasitas penyimpanan yang terbatas**, energi terbarukan memerlukan teknologi penyimpanan energi seperti baterai, agar energi yang dihasilkan dapat digunakan secara efektif ketika dibutuhkan.

Penggunaan energi fosil seperti batu bara, minyak, dan gas alam adalah penyebab utama emisi karbon dioksida (CO₂) yang berkontribusi terhadap pemanasan global. Selain itu, pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan polutan yang dapat mencemari udara, air dan tanah, Ekstraksi bahan bakar fosil, seperti pertambangan batu bara dan pengeboran minyak, seing kali menyebabkan kerusakan ekosistem, termasuk penggundulan hutan dan pencemaran air.

Seiring dengan meningkatnya kesadaran akan perubahan iklim dan dampaknya, kebutuhan akan energi bersih menjadi semakin mendesak. Energi terbarukan menjadi solusi penting dalam mengurangi jejak karbon manusia dan menciptakan masa depan yang lebih hijau. Melalui transisi ke energi bersih, manusia memiliki kesempatan untuk memperlambat laju perubahan iklim, mengurangi polusi, dan melindungi sumber daya alam bagi generasi mendatang.

Jenis Jenis Energi Terbarukan

Energi Surya

Energi surya, yang bersumber dari radiasi matahari, merupakan bentuk energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk memenuhi kebutuhan energi yang ramah lingkungan. Pada dasarnya, panel surya memanfaatkan sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik melalui mekanisme yang disebut efek fotovoltaik. Dalam proses ini, partikel cahaya (foton) yang berasal dari sinar matahari menghantam bahan semikonduktor, mereka memberikan energi yang cukup untuk membebaskan elektron. Elektron-elektron yang bebas ini kemudian mengalir melalui rangkaian listrik, menciptakan aliran arus listrik yang dapat dimanfaatkan.

Energi surya memiliki beragam aplikasi, baik untuk skala perumahan maupun komersial. Di sektor perumahan, panel surya banyak digunakan untuk pembangkit listrik mandiri, memungkinkan rumah tangga untuk menghasilkan listrik sendiri, dan, dalam beberapa kasus, bahkan menjual kembali kelebihan listrik ke jaringan listrik nasional. Selain itu, energi surya juga dimanfaatkan dalam sistem pemanas air tenaga surya, dimana kolektor surya mengubah energi radiasi menjadi panas yang digunakan untuk memanaskan air. Aplikasi lain termasuk peralatan bertenaga surya, seperti lampu taman dan pengisi daya portabel, yang memanfaatkan energi surya untuk mendukung aktivitas sehari-hari secara efisien.

Dengan teknologi yang semakin berkembang, efisiensi panel surya terus meningkat, sehingga energi surya menjadi solusi yang semakin menjanjikan untuk kebutuhan energi yang berkelanjutan.

Energi Angin

Energi angin merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang dihasilkan dari pergerakan massa udara akibat perbedaan tekanan atmosfer. Turbin angin berfungsi untuk menangkap energi kinetik dari angin dan mengubahnya menjadi energi listrik. Ketika angin menggerakkan baling-baling turbin, energi kinetik ini kemudian memutar poros yang terhubung ke generator di dalam turbin. Generator tersebut mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan.

Dalam aplikasi praktis, energi angin banyak digunakan dalam dua skala utama. Pertama, pada ladang angin atau *wind farms* yang terdiri dari sejumlah besar turbin angin yang terhubung ke jaringan listrik utama untuk menghasilkan listrik dalam jumlah besar, sehingga mampu menopang kebutuhan listrik skala luas. Ladang

angin ini biasanya terletak di area dengan kecepatan angin yang tinggi dan konstan, seperti di daerah pesisir, padang rumput terbuka, atau bahkan lepas pantai. Kedua, terdapat turbin skala kecil yang dirancang untuk kebutuhan listrik lokal, seperti di daerah pedesaan atau tempat yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik nasional. Turbin skala kecil ini memungkinkan masyarakat di daerah terpencil untuk memperoleh pasokan listrik yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Dengan teknologi yang semakin canggih, efisiensi dan produksi energi angin terus meningkat, menjadikannya salah satu sumber energi yang potensial untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mendukung transisi energi bersih.

Energi Laut

Energi laut mencakup semua bentuk energi yang bersumber dari laut, dengan berbagai mekanisme yang memanfaatkan sifat-sifat alami perairan laut. Jenis-jenis energi laut yang utama meliputi energi gelombang, pasang surut, arus, energi panas laut, dan gradien salinitas. Diantaranya:

Energi Gelombang: Energi ini dihasilkan dari gerakan gelombang laut yang terbentuk oleh angin dan pergerakan massa air. Konverter energi gelombang menangkap energi kinetik dari gelombang dan mengubahnya menjadi listrik, biasanya dengan menggerakkan generator yang terhubung ke perangkat mengambang atau perangkat berbasis pantai.

Energi Arus: Energi ini berasal dari aliran arus laut, yang menciptakan energi kinetik yang stabil dan konsisten. Turbin bawah air, yang menyerupai turbin angin, ditempatkan di dalam arus laut untuk menangkap aliran air dan mengkonversinya menjadi listrik.

Energi Pasang Surut: Pergerakan pasang surut air laut, yang disebabkan oleh gaya tarik gravitasi Bulan dan Matahari, menghasilkan arus yang bergerak masuk dan keluar dari daerah pesisir. Perangkat arus pasang surut, seperti turbin pasang surut, menangkap energi kinetik ini untuk menghasilkan listrik, dan aplikasi ini sangat sesuai di daerah yang memiliki perbedaan pasang surut yang besar.

Energi Panas Laut: Energi ini memanfaatkan perbedaan suhu antara air permukaan laut yang hangat dan air laut dalam yang dingin, biasanya di daerah tropis. Teknologi yang disebut *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC) mengubah perbedaan suhu ini menjadi energi listrik dengan menggerakkan fluida kerja yang menguap pada suhu permukaan laut dan menggerakkan turbin.

Energi Gradien Salinitas: Energi ini dihasilkan dari perbedaan konsentrasi garam antara air laut dan air tawar, seperti di muara sungai. Ketika air tawar bercampur dengan air asin, terjadi proses osmosis alami yang menciptakan tekanan yang dapat dimanfaatkan. Teknologi konversi, seperti *Reverse Electrodialysis* (RED) atau *Pressure Retarded Osmosis* (PRO), digunakan untuk menangkap energi ini dan mengubahnya menjadi listrik.

Energi laut memiliki potensi yang besar untuk menjadi sumber energi terbarukan yang dapat diandalkan, terutama bagi negara-negara kepulauan dan kawasan pesisir. Namun, untuk mencapai potensi penuh ini, diperlukan teknologi yang lebih maju serta pemahaman mendalam tentang dampak lingkungan dari penerapan teknologi energi laut.

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

PLTA merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memanfaatkan energi dari air yang mengalir atau jatuh untuk menghasilkan listrik. Prinsip kerjanya

didasarkan pada konversi energi potensial air, terutama di daerah dengan ketinggian tertentu, menjadi energi kinetik yang kemudian digunakan untuk memutar turbin. Turbin ini yang terhubung langsung ke generator, menghasilkan listrik saat berputar.

Dalam penerapannya, PLTA dapat dibedakan dalam dua skala utama:

Bendungan Hidroelektrik Skala Besar: Bendungan skala besar dibangun untuk menampung sejumlah besar air yang berada pada ketinggian tertentu. Ketika air dilepaskan, gravitasi memaksanya mengalir melalui pipa atau terowongan di bendungan dengan kecepatan tinggi, yang memutar turbin besar yang terhubung langsung ke jaringan utama untuk memenuhi kebutuhan masyarakat luas.

Sistem Hidro Skala Kecil: Sistem hidroelektrik skala kecil atau mikrohidro digunakan untuk menyediakan listrik di daerah terpencil yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik utama. Biasanya, sistem ini memanfaatkan aliran air yang lebih kecil, seperti sungai atau saluran irigasi, untuk memutar turbin yang lebih kecil dan menghasilkan listrik untuk kebutuhan lokal. Sistem ini cocok untuk catu daya mandiri atau di luar jaringan (*off-grid*) dan merupakan solusi yang ramah lingkungan.

Keunggulan PLTA terletak pada kemampuannya untuk menyediakan energi secara konsisten, terutama ketika dibandingkan dengan sumber energi terbarukan lain seperti angin atau surya yang bersifat intermitten. Selain itu, teknologi ini juga memiliki dampak lingkungan yang relatif rendah dalam hal emisi karbon setelah konstruksi selesai. Namun, pembangunan bendungan skala besar membutuhkan pertimbangan lingkungan yang mendalam, seperti perubahan habitat, pengaruh pada ekosistem air, dan pengelolaan air yang berkelanjutan.

Energi Biomassa

Energi biomassa adalah sumber energi terbarukan yang berasal dari bahan organik seperti kayu, tanaman, serta limbah pertanian dan hewan. Energi ini dihasilkan dari konversi bahan-bahan tersebut melalui pembakaran atau proses kimiawi dan biologis untuk melepaskan energi kimia yang tersimpan di dalamnya. Terdapat beberapa prinsip dasar dalam konversi biomassa menjadi energi:

Pembakaran Langsung: Biomassa, seperti kayu dan sisa tanaman, dapat dibakar langsung untuk menghasilkan panas. Energi panas ini dapat digunakan untuk memasak, pemanasan, atau menggerakkan turbin dalam pembangkit listrik tenaga biomassa, menghasilkan listrik yang bisa disalurkan ke jaringan.

Pirolisis dan Gasifikasi: Proses pirolisis melibatkan pemanasan biomassa dalam kondisi tanpa oksigen, mengubahnya menjadi bentuk cair (bio-oil), gas (syngas), dan padatan (biochar). Bio-oil dapat digunakan sebagai bahan bakar cair, sementara syngas dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik atau proses pemanasan. Gasifikasi, di sisi lain, mengubah biomassa menjadi syngas pada suhu tinggi dengan sedikit oksigen, yang juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi.

Proses Biologis: Beberapa biomassa diproses secara biologis untuk menghasilkan energi dalam bentuk gas atau bahan bakar cair. Salah satu contoh adalah fermentasi bahan organik (seperti kotoran hewan atau sisa tanaman) dalam kondisi anaerob untuk menghasilkan biogas, yang mengandung metana (CH_4) dan dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk memasak, pemanasan, atau pembangkit listrik.

Aplikasi energi biomassa mencakup berbagai kebutuhan, seperti:

Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa: Biomassa digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan listrik, seing kali dengan cara pembakaran langsung atau gasifikasi, dan dihubungkan ke jaringan listrik utama.

Kompore Biomassa: Digunakan untuk memasak dan pemanasan domestik di daerah pedesaan, kompor biomassa lebih efisien dalm menghasilkan panas dibandingkan pembakaran terbuka.

Bahan Bakar Nabati: Diperoleh dari minyak tanaman atau proses kimiawi lainnya, bahan bakar nabati seperti bioetanol dan biodiesel digunakan sebagai pengganti atau campuran bahan bakar fosil untuk kendaraan.

Dengan memanfaatkan bahan organik yang dapat diperbarui, energi biomassa membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Namun, penggunaannya juga memerlukan pengelolaan yang berkelanjutan agar tidak berdampak negatif pada lingkungan, seperti penebangan liar atau pembebasan lahan hutan untuk produksi biomassa skala besar.

Efisiensi Energi dan Manajemen Penggunaan Energi

Efisiensi energi dan manajemen penggunaan energi menjadi aspek penting dalam pengelolaan sumber daya energi terbarukan maupun non-terbarukan. Prinsip-prinsip dasar dan teknologi terkait memungkinkan pengurangan konsumsi dan dampak lingkungan tanpa mengorbankan produktivitas atau kenyamanan.

Efisiensi energi berfokus pada penggunaan energi secara lebih optimal untuk mengurangi pemborosan. Dalam konsumsi energi global, efisiensi energi berperan penting untuk menurunkan permintaan energi yang berlebihan, menjaga cadangan energi, serta mengurangi emisi karbon. Contohnya, peralatan yang lebih efisien atau bangunan dengan desain hemat energi memungkinkan penggunaan

energi yang lebih rendah untuk mencapai hasil yang sama, mengurangi tekanan pada sumber daya energi.

Penggunaan teknologi hemat energi dapat menghemat energi dalam berbagai sektor, diantaranya: Rumah Tangga, penggunaan peralatan hemat energi, seperti lampu LED, pemanas air yang efisien, dan perangkat pintar yang dapat mengatur penggunaan energi sesuai kebutuhan, sangat membantu mengurangi konsumsi energi rumah tangga. Industri, teknologi efisiensi energi di sektor industri melibatkan proses produksi yang optimal, seperti penggunaan motor efisien dan sistem pengendalian panas untuk mengurangi energi yang terbuang. Transportasi, kendaraan listrik dan sistem transportasi umum yang efisien merupakan contoh penerapan teknologi hemat energi untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan emisi.

Selain faktor di atas, konservasi energi juga merupakan langkah untuk mengurangi penggunaan energi tanpa mengorbankan kenyamanan atau produktivitas. Langkah-langkah ini mencakup tindakan sederhana seperti mematikan peralatan saat tidak digunakan, penggunaan termostat cerdas, dan pengaturan waktu operasional peralatan yang besar. Di industri, konservasi energi dapat dicapai melalui audit energi yang membantu mengidentifikasi area-area untuk pengurangan energi yang efektif.

Saat ini, terdapat *smart grid* yang merupakan sistem jaringan listrik cerdas yang mengintegrasikan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi distribusi dan konsumsi energi. Teknologi ini memungkinkan komunikasi dua arah antara pemasok dan konsumen energi, sehingga konsumsi dapat diatur secara *real-time* untuk memenuhi kebutuhan tanpa membebani jaringan. *Smart grid* mendukung integrasi energi terbarukan yang

lebih efisien dan mengurangi risiko pemadaman dengan pemantauan dan penyeimbangan daya yang lebih baik.

Dengan adopsi prinsip efisiensi dan teknologi hemat energi, serta penerapan sistem cerdas *smart grid*, kita dapat memaksimalkan penggunaan sumber daya energi yang ada dan mendorong transisi menuju konsumsi energi yang lebih berkelanjutan.

Dampak Sosial dan Ekonomi Energi Terbarukan

Energi terbarukan membuka peluang besar bagi pertumbuhan ekonomi melalui penciptaan lapangan kerja dan industri baru. Transisi ke energi terbarukan, seperti tenaga surya, angin dan biomassa, membutuhkan tenaga kerja yang terampil dalam produksi, instalasi, pemeliharaan, dan pengembangan teknologi. Di samping itu, industri manufaktur dan teknologi yang menghasilkan peralatan hemat energi, seperti lampu LED, isolasi termal, dan kendaraan listrik, turut menciptakan lapangan kerja baru. Pengembangan ini memperkuat perekonomian lokal, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan mendorong inovasi berkelanjutan.

Namun, meskipun potensi ekonominya besar, pengembangan energi terbarukan menghadapi beberapa kendala, diantaranya: Biaya Awal, investasi awal untuk teknologi energi terbarukan dan perangkat hemat energi sering kali cukup tinggi. Misalnya, pemasangan panel surya atau sistem turbin angin memerlukan biaya awal yang besar, meskipun dalam jangka panjang lebih hemat biaya. Hal ini menjadi kendala bagi masyarakat atau bisnis yang memiliki keterbatasan anggaran.

Selain biaya awal yang besar, akses teknologi juga menjadi kendala. Tidak semua daerah memiliki akses yang sama terhadap teknologi energi terbarukan. Daerah terpencil, khususnya, mungkin kesulitan mendapatkan peralatan,

jaringan, dan dukungan teknis yang memadai untuk mengadopsi teknologi ini.

Transisi energi terbarukan juga memerlukan tenaga kerja yang terampil. Pelatihan masyarakat dalam keterampilan teknis baru sangat penting untuk memastikan teknologi ini dapat diterapkan dan dikelola dengan baik, terutama di daerah yang sebelumnya bergantung pada energi konvensional.

Oleh karena itu, dibutuhkan peran pemerintah dalam mendukung pengembangan energi terbarukan melalui kebijakan dan regulasi yang tepat, seperti subsidi dan bantuan pemerintah, regulasi yang mengatur standar efisiensi energi di berbagai sektor serta insentif pajak bagi perusahaan dan individu yang mengadopsi energi terbarukan atau teknologi hemat energi merupakan cara efektif untuk mendorong investasi di bidang ini.

Secara keseluruhan, dampak sosial dan ekonomi dari energi terbarukan sangat besar, dengan peluang untuk mempercepat pertumbuhan ekonomi, menciptakan lapangan kerja baru, serta mendorong keberlanjutan. Namun, keberhasilan transisi ini juga bergantung pada peran aktif pemerintah, akses yang merata ke teknologi, dan kesiapan masyarakat untuk beradaptasi dengan perubahan ini.

Tantangan dan Masa Depan Energi Terbarukan

Tantangan dan masa depan energi terbarukan di Indonesia menyimpan peluang besar sekaligus hambatan yang perlu diatasi untuk mendukung transisi energi nasional dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Berikut beberapa aspek penting;

Infrastruktur dan Teknologi

Salah satu tantangan utama adalah kurangnya infrastruktur yang mendukung integrasi energi

terbarukan, terutama di daerah terpencil dan kepulauan di Indonesia. Integrasi energi terbarukan dalam jaringan nasional (seperti tenaga surya, angin, dan hidro) membutuhkan teknologi seperti *smart grid* yang memungkinkan distribusi energi secara efisien masih terbatas di Indonesia. Peningkatan infrastruktur jaringan listrik dan penerapan teknologi digital sangat penting untuk mendukung pengembangan energi terbarukan dan mencapai target energi berkelanjutan di masa depan.

Penyimpanan Energi

Karena energi terbarukan, seperti tenaga surya dan angin, bersifat *intermittent* (tidak selalu tersedia), teknologi penyimpanan energi menjadi penting untuk memastikan ketersediaan energi saat dibutuhkan. Solusi penyimpanan, seperti baterai skala besar, membantu menstabilkan pasokan energi dengan menyimpan kelebihan energi saat produksi tinggi dan mengalirkannya kembali ke jaringan saat produksi rendah. Tantangan terbesar untuk penyimpanan energi di Indonesia adalah biaya dan infrastruktur untuk memasang baterai dalam skala besar, terutama di daerah dengan pasokan energi yang terbatas. Namun, penelitian terus berkembang untuk menghasilkan teknologi penyimpanan yang lebih efisien dan terjangkau.

Riset dan Inovasi

Riset dan inovasi memainkan peran kunci dalam meningkatkan efisiensi teknologi energi terbarukan. Di Indonesia, penelitian diperlukan untuk mengadaptasi teknologi energi terbarukan dengan kondisi geografis dan iklim yang spesifik, seperti pengembangan panel surya yang lebih tahan cuaca dan turbin angin yang cocok untuk daerah berkecepatan angin rendah. Selain itu, riset dapat membantu mengoptimalkan sumber daya lokal, seperti potensi panas bumi dan biomassa yang besar di

Indonesia, agar dapat dimanfaatkan dengan lebih efisien. Investasi dalam penelitian dan pengembangan energi terbarukan diperlukan untuk mendorong inovasi yang dapat meningkatkan kapasitas dan efisiensi energi terbarukan di tanah air.

Prediksi Masa Depan

Di masa depan, energi terbarukan di Indonesia memiliki potensi besar untuk berkembang, sejalan dengan komitmen global terhadap pengurangan emisi karbon dan target pemerintah untuk meningkatkan kontribusi energi terbarukan dalam bauran energi nasional. Dengan kemajuan teknologi, biaya energi terbarukan semakin menurun, yang membuatnya lebih mudah diakses. Pada tingkat global, energi terbarukan diprediksi akan menjadi tulang punggung pasokan energi di banyak negara. Di Indonesia, potensi tenaga surya, angin, biomassa, dan panas bumi masih sangat besar dan belum sepenuhnya dimanfaatkan. Dukungan pemerintah melalui regulasi, insentif pajak, dan subsidi sangat penting untuk mempercepat perkembangan energi terbarukan di masa depan.

Secara keseluruhan, meski menghadapi tantangan, Indonesia memiliki peluang besar untuk memanfaatkan energi terbarukan sebagai sumber energi utama. Dengan dukungan inovasi, teknologi penyimpanan yang memadai, dan infrastruktur yang lebih baik, energi terbarukan dapat menjadi pilar penting dalam mencapai ketahanan energi yang ramah lingkungan di masa depan.

Daftar Pustaka

- Ariyanto, S., & Heriyanti, S. I. (Eds.). (2023). *Renewable Energy: Policy and Strategy*. Jakarta: BRIN Publishing.
- da Rosa, A. V. (2005). *Fundamentals of renewable energy processes*. Elsevier Academic Press.
- Kreith, F., & Pepper, D. W. (2016). *Mechanical and Aerospace Engineering*. CRC Press, Taylor & Francis Group.

Profil Penulis



Dr. Kurniati Abidin, M.Si.

Penulis adalah seorang akademisi yang telah menekuni bidang Fisika sejak lulus dari Universitas Negeri Makassar (UNM) dengan gelar Sarjana Fisika pada tahun 2005. Melanjutkan pendidikannya, ia memperoleh gelar Magister Fisika dari Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya (ITS) pada tahun 2009, sebelum akhirnya meraih gelar doktor dalam bidang Fisika Material dengan spesialisasi Nanomaterial di Institut Teknologi Bandung (ITB) pada tahun 2021.

Sejak 2013, penulis telah mengabdikan diri sebagai dosen tetap di Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Alauddin Makassar. Dalam peran ini, ia mengajar berbagai mata kuliah inti, termasuk Fisika Kuantum, Fisika Statistik, Fisika Matematika dan Fisika modern. Keahliannya tidak hanya berada di dalam ruang kelas; sebagai reviewer jurnal ilmiah JFT dan Sainfis, ia aktif dalam pengembangan ilmu fisika di lingkup akademik.

Minat risetnya terutama berfokus pada Nanomaterial, dengan perhatian khusus pada lapisan tipis, nanotube, dan grafena. Melalui risetnya, ia telah menghasilkan berbagai karya ilmiah yang berkontribusi signifikan pada pemahaman dan aplikasi nanomaterial. Beberapa publikasinya dapat ditemukan di Google Scholar pada tautan berikut <https://scholar.google.com/citations?user=ljRc9S0AAAAJ&hl=en>

Email Penulis: kurniati.abidin.1212@gmail.com

PENGELOLAAN SAMPAH DAN DAUR ULANG

Rizky Arief Shobirin, M.Si.

UIN Sayyid Ali Rahmatullah Tulungagung

Pendahuluan

Pengelolaan sampah dan daur ulang merupakan isu yang semakin mendesak dalam konteks global dan lokal. Dengan meningkatnya jumlah populasi dan konsumsi, tantangan terkait pengelolaan sampah menjadi lebih kompleks, berpotensi menimbulkan dampak serius terhadap lingkungan, kesehatan masyarakat, dan ekonomi. Dalam konteks ini, pentingnya pendidikan dan kesadaran akan pengelolaan sampah serta daur ulang tidak dapat diabaikan.

Sampah yang tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan. Pemaparan tertulis dari World Bank membahas bahwa dunia diperkirakan menghasilkan sekitar 2,01 miliar ton sampah padat setiap tahun, dan angka ini diperkirakan akan meningkat menjadi 3,4 miliar ton pada tahun 2050 jika tidak ada tindakan lanjut konkrit untuk mengurangi jumlah sampah yang dihasilkan. Masalah ini diperparah oleh fakta bahwa sekitar 33% dari total sampah tersebut tidak dikelola secara efektif menyebabkan pencemaran tanah dan air serta emisi gas rumah kaca yang berbahaya

(sering kali hanya berakhir di TPA (Tempat Pembuangan Akhir) yang tidak terkelola dengan baik).

Dampak kesehatan dari pengelolaan sampah yang buruk juga signifikan. Dalam *Environmental Health Perspectives*, hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan terhadap limbah padat dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, termasuk infeksi, penyakit pernapasan, dan gangguan sistem kekebalan tubuh. Selain itu, kualitas udara dapat terpengaruh oleh pembakaran sampah yang tidak terkontrol, menghasilkan polutan berbahaya seperti dioxin dan partikel halus yang dapat memicu penyakit jantung dan paru-paru.

Dari perspektif ekonomi, pengelolaan sampah yang tidak efisien dapat mengakibatkan biaya tinggi bagi pemerintah dan masyarakat. Biaya pembersihan dan pemrosesan limbah yang meningkat dapat membebani anggaran publik. Sebuah studi oleh *The Lancet Planetary Health* menyoroti bahwa investasi dalam sistem pengelolaan sampah yang lebih baik dapat menghasilkan penghematan biaya jangka panjang melalui pengurangan biaya kesehatan dan peningkatan produktivitas masyarakat.

Daur ulang merupakan salah satu solusi kunci untuk mengatasi masalah pengelolaan sampah. Dengan mendaur ulang bahan-bahan seperti kertas, plastik, dan logam, kita dapat mengurangi jumlah sampah yang masuk ke TPA dan menghemat sumber daya alam. Berdasarkan laporan dari *Ellen MacArthur Foundation*, penerapan ekonomi sirkular (produk dirancang untuk didaur ulang atau digunakan kembali) dapat memberikan manfaat ekonomi hingga \$4,5 triliun pada tahun 2030.

Pengelolaan sampah dan daur ulang adalah aspek penting dalam upaya menjaga keberlanjutan lingkungan dan kesehatan masyarakat. Dengan memahami dampak

negatif dari pengelolaan sampah yang buruk serta manfaat dari daur ulang dalam mendukung ekonomi sirkular, kita dapat mendorong tindakan kolektif untuk meningkatkan kesadaran dan praktik pengelolaan sampah yang lebih baik. Pendidikan lingkungan menjadi kunci dalam membangun kesadaran ini sehingga setiap individu berkontribusi pada solusi global terhadap masalah lingkungan.

Jenis dan Kategori Sampah

Pengelolaan sampah merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi masyarakat modern. Dengan meningkatnya jumlah populasi dan konsumsi, klasifikasi sampah berdasarkan asal dan sifatnya menjadi sangat penting untuk memahami dampak yang ditimbulkan serta strategi pengelolaannya. Secara umum, sampah dapat dibagi menjadi tiga kategori utama: organik, anorganik, dan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Setiap kategori memiliki karakteristik unik dan memerlukan pendekatan pengelolaan yang berbeda.

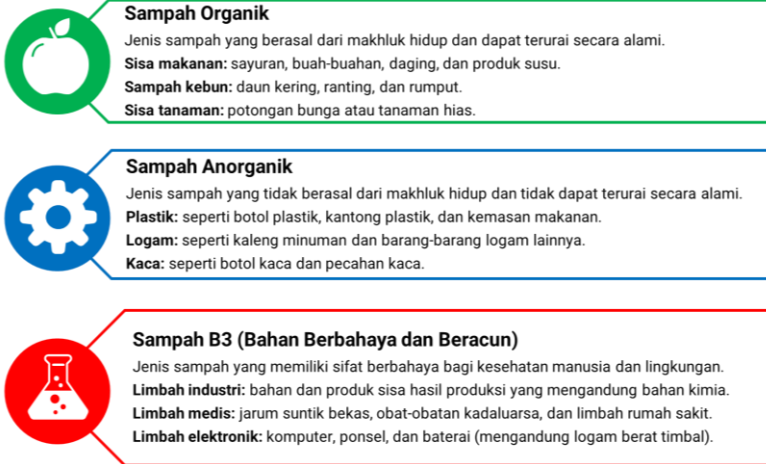
1. Sampah Organik

Sampah organik memiliki potensi untuk diolah menjadi kompos yang dapat digunakan sebagai pupuk alami. Pengomposan sampah organik dapat mengurangi volume sampah yang masuk ke tempat pembuangan akhir (TPA) hingga 30%.

2. Sampah Anorganik

Pengelolaan sampah anorganik sangat penting karena banyak dari bahan ini dapat didaur ulang. Daur ulang plastik dapat mengurangi penggunaan energi hingga 66% dibandingkan dengan produksi plastik baru dari bahan baku.

3. Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)
4. Pengelolaan B3 memerlukan perhatian khusus karena jika tidak ditangani dengan benar, dapat menyebabkan pencemaran tanah dan air serta dampak kesehatan yang serius. Pengelolaan limbah B3 yang buruk dapat menyebabkan risiko kesehatan jangka panjang bagi masyarakat.



Gambar 8.1. Jenis dan Kategori Sampah beserta Contoh-contohnya.

Klasifikasi sampah berdasarkan asal dan sifatnya sangat penting untuk pengelolaan limbah yang efektif. Dengan memahami jenis-jenis sampah (organik, anorganik, dan B3), masyarakat dapat lebih mudah menerapkan praktik pengurangan, penggunaan kembali, dan daur ulang (3R). Upaya ini tidak hanya membantu mengurangi volume sampah yang dihasilkan tetapi juga mendukung keberlanjutan lingkungan.

Prinsip Dasar Pengelolaan Sampah (3R: *Reduce, Reuse, Recycle*)

Pengelolaan sampah yang efektif menjadi semakin penting di tengah meningkatnya jumlah limbah yang dihasilkan oleh masyarakat modern. Salah satu pendekatan yang

paling dikenal dan diterima secara luas dalam pengelolaan sampah adalah prinsip 3R, yaitu *Reduce* (Mengurangi), *Reuse* (Menggunakan Kembali), dan *Recycle* (Mendaur Ulang). Ketiga prinsip ini tidak hanya berfungsi untuk mengurangi dampak negatif dari sampah terhadap lingkungan, tetapi juga membantu menciptakan ekonomi yang lebih berkelanjutan.



Gambar 8.2. Beberapa Contoh Pengelolaan Sampah dengan Prinsip 3R (*Reduce*, *Reuse*, dan *Recycle*).

1. *Reduce*

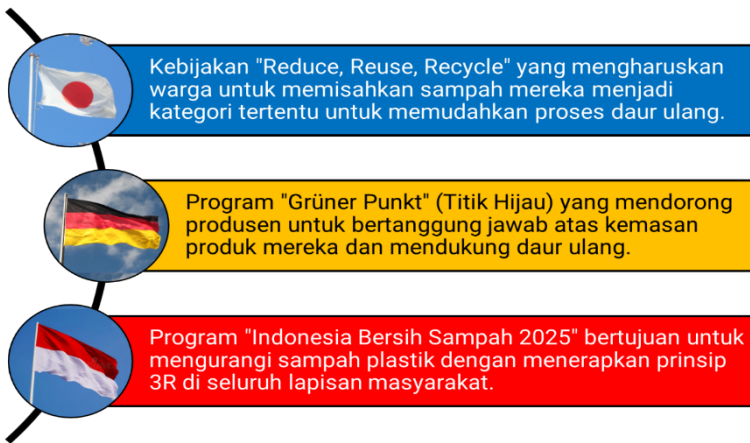
Prinsip *Reduce* berfokus pada pengurangan jumlah sampah yang dihasilkan dengan cara mengurangi konsumsi barang dan sumber daya. Pengurangan limbah di sumbernya adalah langkah paling efektif dalam manajemen limbah, karena mencegah pembentukan limbah sebelum terjadi.

2. *Reuse*

Reuse mendorong penggunaan kembali barang-barang yang masih dapat digunakan untuk fungsi yang sama atau berbeda. Penerapan prinsip *reuse* ini dapat mengurangi kebutuhan akan produksi baru dan menghemat sumber daya alam secara signifikan.

3. *Recycle*

Proses *Recycle* melibatkan proses pengolahan kembali bahan-bahan bekas menjadi produk baru. Proses ini mencakup pengumpulan, pemrosesan, dan pemurnian limbah untuk menghasilkan bahan baku baru. Program daur ulang yang efektif tidak hanya mengurangi volume limbah tetapi juga mengurangi emisi gas rumah kaca dan penggunaan energi.



Gambar 8.3. Salah satu contoh bentuk penerapan kebijakan berbasis 3R untuk mengatasi masalah sampah di Jepang, Jerman, dan Indonesia.

Daur Ulang Sampah: Proses dan Manfaatnya

Daur ulang adalah proses yang penting dalam pengelolaan limbah, yang berfokus pada pengolahan bahan bekas menjadi produk baru. Proses ini tidak hanya membantu mengurangi jumlah sampah yang dihasilkan, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi dan lingkungan yang signifikan. Dalam narasi ini, kita akan membahas proses daur ulang berbagai bahan spesifik, manfaatnya dalam menghemat sumber daya alam dan energi, serta contoh produk hasil daur ulang.

1. Proses Daur Ulang Sampah

- a. **Plastik:** Proses daur ulang plastik dimulai dengan pemilahan dan pembersihan bahan plastik yang akan didaur ulang. Setelah itu, plastik dihancurkan menjadi serpihan kecil dan dicuci untuk menghilangkan kontaminan. Selanjutnya, serpihan plastik dilebur dan dibentuk kembali menjadi butiran plastik baru yang dapat digunakan untuk memproduksi berbagai produk, seperti botol baru, tas, atau komponen otomotif. Daur ulang plastik dapat mengurangi penggunaan energi dibandingkan dengan memproduksi plastik dari bahan baku baru.
- b. **Kaca:** Daur ulang kaca melibatkan pengumpulan botol dan wadah kaca yang digunakan, kemudian dibersihkan dan dihancurkan menjadi pecahan kecil. Pecahan kaca ini kemudian dilebur dan dibentuk kembali menjadi produk baru. Proses daur ulang kaca sangat efisien karena dapat dilakukan tanpa mengurangi kualitas material. Penelitian menunjukkan bahwa mendaur ulang kaca dapat menghemat energi dibandingkan dengan produksi kaca baru dari pasir silika.
- c. **Kertas:** Proses daur ulang kertas dimulai dengan pemilahan kertas bekas berdasarkan jenisnya. Kertas kemudian dihancurkan dan dicampur dengan air untuk membuat pulp. Pulp ini kemudian dibersihkan dari kontaminan dan diproses menjadi lembaran kertas baru. Daur ulang kertas dapat menghemat energi dan mengurangi emisi gas rumah kaca secara signifikan.

- d. **Logam:** Daur ulang logam seperti aluminium dan baja dimulai dengan pemisahan logam dari limbah lainnya. Logam kemudian dilebur pada suhu tinggi untuk diolah kembali menjadi produk baru. Daur ulang aluminium dapat menghemat energi dibandingkan dengan produksi aluminium dari bijih bauksit.
- e. **Sisa Makanan:** Sisa makanan dapat didaur ulang melalui proses komposting, di mana limbah organik diuraikan oleh mikroorganisme menjadi kompos yang kaya nutrisi untuk tanah. Komposting tidak hanya mengurangi volume sampah tetapi juga meningkatkan kesuburan tanah.
- f. **Kotoran:** Kotoran hewan atau manusia dapat diolah menjadi biogas melalui proses anaerobik dalam biodigester. Biogas ini dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan, sementara sisa padatan dapat digunakan sebagai pupuk organik.

2. Manfaat Daur Ulang Sampah

- a. **Menghemat Sumber Daya Alam:** Dengan mendaur ulang bahan-bahan seperti plastik, kertas, dan logam, kita mengurangi kebutuhan akan bahan baku baru yang sering kali memerlukan ekstraksi dari alam.
- b. **Menghemat Energi:** Proses daur ulang umumnya memerlukan lebih sedikit energi dibandingkan dengan produksi barang baru dari bahan mentah.
- c. **Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca:** Dengan mengurangi penggunaan energi dan meminimalkan jumlah limbah yang dibuang ke TPA, daur ulang membantu menurunkan emisi gas rumah kaca.

- d. **Mendukung Ekonomi Sirkular:** Daur ulang berkontribusi pada ekonomi sirkular dengan menciptakan nilai dari limbah dan mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam.
3. Dampak Daur Ulang terhadap Pengurangan Sampah
Daur ulang secara signifikan berkontribusi terhadap pengurangan volume sampah yang dihasilkan. Penerapan program daur ulang yang efektif dapat mengurangi jumlah limbah padat secara signifikan. Dengan memanfaatkan kembali material bekas sebagai produk baru, kita tidak hanya mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan tetapi juga menciptakan peluang ekonomi yang berkelanjutan.

Teknologi dan Inovasi dalam Pengelolaan Sampah dan Daur Ulang

Pengelolaan sampah yang efektif merupakan tantangan besar di seluruh dunia, terutama dengan meningkatnya volume limbah yang dihasilkan oleh masyarakat modern. Teknologi dan inovasi memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan sampah serta mendaur ulang. Dalam narasi ini, kita akan membahas berbagai teknologi modern dalam pengelolaan sampah, contoh inovasi dalam pengelolaan dan daur ulang, serta peran teknologi dalam mendukung proses daur ulang.

1. Teknologi Modern dalam Pengelolaan Sampah dan Daur Ulang
 - a. **Insinerasi:** Proses pembakaran sampah pada suhu tinggi untuk mengurangi volume limbah. Insinerasi dapat mengurangi volume sampah secara signifikan dan menghasilkan energi yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik. Insinerasi yang dilakukan dengan baik dapat

mengurangi emisi gas rumah kaca jika dibandingkan dengan metode pembuangan lainnya, dan teknologi modern ini telah diterapkan secara kontinyu di Singapura.

- b. **Waste-to-Energy (WtE):** Teknologi ini mengubah limbah menjadi energi melalui proses pembakaran, gasifikasi, atau anaerobik. WtE tidak hanya mengurangi jumlah limbah yang masuk ke TPA tetapi juga menyediakan sumber energi alternatif. Laporan dari Waste Management menunjukkan bahwa WtE dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil.
- c. **Biokonversi:** Proses ini menggunakan mikroorganisme untuk mengubah limbah organik menjadi biogas atau kompos. Biokonversi efektif dalam mengelola limbah organik dan mengurangi emisi metana dari tempat pembuangan akhir. Penelitian di Renewable Energy menunjukkan bahwa biokonversi dapat meningkatkan nilai tambah dari limbah organik.

2. Inovasi Pengelolaan Sampah dan Daur Ulang

Inovasi dalam pengelolaan sampah dan daur ulang sangat penting untuk meningkatkan partisipasi masyarakat dan efisiensi sistem. Beberapa contoh inovasi tersebut antara lain:

- a. **Komposter Rumah Tangga:** Alat ini memungkinkan individu untuk mengolah limbah organik di rumah menjadi kompos, yang dapat digunakan sebagai pupuk. Penggunaan komposter rumah tangga dapat secara signifikan mengurangi jumlah sampah organik yang dibuang ke TPA.

- b. **Bank Sampah:** Inisiatif ini memungkinkan masyarakat untuk menyimpan dan mendaur ulang sampah mereka dengan imbalan uang atau barang. Program bank sampah telah terbukti efektif dalam meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya daur ulang dan pengurangan sampah di Indonesia.
 - c. **Aplikasi Berbasis Digital:** Beberapa aplikasi telah dikembangkan untuk membantu masyarakat dalam pengelolaan sampah, seperti aplikasi yang memberikan informasi tentang lokasi tempat pembuangan sampah, jadwal pengambilan sampah, dan tips daur ulang. Aplikasi ini meningkatkan keterlibatan masyarakat dalam pengelolaan sampah secara aktif.
3. Peran Teknologi dalam Mendukung Daur Ulang

Teknologi memainkan peran kunci dalam mendukung proses daur ulang dengan cara berikut:

- a. **Teknologi Pencacah Plastik:** Mesin pencacah plastik digunakan untuk memotong plastik bekas menjadi ukuran kecil agar lebih mudah diproses untuk didaur ulang. Proses ini meningkatkan efisiensi daur ulang plastik dengan mempercepat proses pemrosesan.
- b. **Biodigester:** Alat ini digunakan untuk mengolah limbah organik menjadi biogas melalui proses anaerobik. Biodigester tidak hanya membantu mengurangi limbah tetapi juga menyediakan sumber energi terbarukan bagi rumah tangga atau komunitas.
- c. **Inovasi Daur Ulang Lainnya:** Teknologi baru seperti robotika dan kecerdasan buatan (AI) semakin banyak digunakan dalam fasilitas daur

ulang untuk meningkatkan efisiensi pemisahan bahan-bahan yang dapat didaur ulang dari limbah campuran. Penelitian menunjukkan bahwa teknologi ini dapat meningkatkan tingkat pemulihan material cukup signifikan dibandingkan metode tradisional.

4. Contoh Produk Hasil Pengelolaan Sampah dan Daur Ulang
 - a. **Pupuk Organik:** Kompos dari limbah organik yang diolah melalui komposting dapat digunakan sebagai pupuk organik untuk pertanian, meningkatkan kesuburan tanah. Sebagai contoh, limbah industri cincau dapat diolah lebih lanjut menjadi pupuk organik yang sangat sesuai untuk diaplikasikan di lahan kering dikarenakan sifat fisiknya yang higroskopis.
 - b. **Bahan Baku Daur Ulang:** Plastik dan kertas yang didaur ulang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produk baru, seperti tas belanja dari plastik daur ulang atau kertas daur ulang untuk kemasan.
 - c. **Energi Terbarukan:** Biogas yang dihasilkan dari biodigester dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk memasak atau penerangan. Sebagai contoh, telah banyak dibangun septiktank berisi kotoran hewan ternak dengan menerapkan sistem biodigester yang menghasilkan biogas sebagai salah satu bahan bakar gas yang rutin untuk digunakan dalam keperluan dapur rumah tangga warga sekitar.

Teknologi dan inovasi sangat penting dalam pengelolaan sampah dan daur ulang. Dengan penerapan teknologi modern seperti insinerasi, *waste-to-energy*, biokonversi, serta inovasi seperti komposter rumah tangga dan aplikasi

digital, kita dapat meningkatkan efisiensi sistem pengelolaan limbah. Selain itu, produk hasil pengelolaan sampah dan daur ulang berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan serta mendukung pertanian berkelanjutan.

Tantangan dan Strategi Pengelolaan Sampah

Pengelolaan sampah, seperti di lingkungan rumah, sekolah, hingga perkotaan, merupakan langkah penting dalam mendidik generasi muda tentang tanggung jawab lingkungan. Pengelolaan sampah dari lingkup rumah, sekolah, hingga perkotaan merupakan tantangan yang kompleks, terutama di kota-kota besar yang menghadapi volume sampah yang terus meningkat. Dengan populasi yang padat dan aktivitas ekonomi yang tinggi, pengelolaan sampah yang efektif menjadi sangat penting untuk menjaga kebersihan lingkungan dan kesehatan masyarakat. Melalui penerapan strategi yang efektif, setiap lokasi penerapan strategi pengelolaan sampah tersebut dapat berperan sebagai contoh dalam pengelolaan sampah yang baik dan berkelanjutan.

1. Tantangan Utama dalam Pengelolaan Sampah
 - a. **Volume Sampah.** Salah satu tantangan terbesar dalam pengelolaan sampah di kota-kota besar adalah volume sampah yang sangat tinggi, dan ini diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan urbanisasi.
 - b. **Sistem Pengangkutan.** Sistem pengangkutan sampah yang tidak efisien dapat menyebabkan penumpukan sampah di jalanan dan mengganggu kesehatan masyarakat. Kendaraan pengangkut sampah sering kali tidak mampu mengangkut semua limbah yang dihasilkan, sehingga menyebabkan keterlambatan dalam pengumpulan dan pengangkutan.

- c. **Pemisahan Sampah.** Meskipun ada upaya untuk memisahkan sampah di sumbernya, banyak masyarakat masih mencampurkan limbah organik dan anorganik. Hal ini menyulitkan proses daur ulang dan meningkatkan volume limbah yang harus dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA) dan hanya berakhir dibakar.
2. Solusi dalam Pengelolaan Sampah
 - a. **TPS 3R (Tempat Pengolahan Sampah Reduce-Reuse-Recycle).** TPS 3R merupakan fasilitas yang dirancang untuk mengolah sampah dengan pendekatan *reduce*, *reuse*, dan *recycle*. Di tempat ini, sampah dipilah menjadi beberapa kategori seperti organik, anorganik, dan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Proses ini membantu mengurangi jumlah sampah yang dikirim ke TPA serta meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pemilahan sampah.
 - b. **Landfill Gas Recovery.** Teknologi pemulihan gas landfill adalah metode untuk menangkap gas metana yang dihasilkan dari proses dekomposisi limbah di TPA. Gas metana ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Pemulihan gas dari landfill dapat mengurangi emisi gas rumah kaca sekaligus menyediakan sumber energi alternatif.
 - c. **Pendidikan dan Edukasi Kesadaran Masyarakat.** Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah juga merupakan bagian penting dari solusi ini. Melalui program edukasi lingkungan, masyarakat diajarkan cara memilah sampah dengan benar serta dampak negatif dari limbah terhadap lingkungan.

3. Strategi Pengelolaan Sampah

- a. **Pemilahan Sampah.** Pemilahan sampah adalah langkah awal yang krusial dalam pengelolaan limbah. Sampah rumah tangga umumnya dibagi menjadi tiga kategori utama: (1) Sampah Organik; (2) Sampah Anorganik; dan (3) Sampah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Pemilahan sampah di sumbernya dapat meningkatkan efisiensi proses daur ulang dan mengurangi volume limbah yang masuk ke tempat pembuangan akhir.
- b. **Program Bank Sampah.** Program bank sampah adalah salah satu metode yang efektif dalam pengelolaan sampah di sekolah dan lingkungan masyarakat. Dalam program ini, siswa maupun masyarakat diajarkan untuk mengumpulkan dan memilah sampah yang dapat didaur ulang, seperti plastik, kertas, dan logam. Sampah yang terkumpul kemudian disimpan di bank sampah untuk dijual kepada pengepul atau perusahaan daur ulang. Implementasi program bank sampah di sekolah dan lingkungan masyarakat tidak hanya membantu mengurangi jumlah limbah tetapi juga meningkatkan kesadaran siswa maupun masyarakat tentang pentingnya daur ulang. Selain itu, mereka dapat memperoleh uang dari hasil penjualan sampah yang terkumpul, sehingga mendorong mereka untuk lebih aktif dalam pengelolaan sampah.
- c. **Komposting (Pengkomposan).** Kegiatan komposting di lingkungan sekolah, oleh pihak swasta dan TPA perkotaan juga merupakan strategi yang efektif untuk mengolah limbah organik. Sekolah dapat menyediakan tempat khusus untuk mengomposkan sisa makanan dan limbah tanaman dari kebun sekolah. Proses

komposting ini melibatkan pengumpulan bahan organik, pencampuran dengan bahan coklat (seperti daun kering), dan pemeliharaan kondisi yang tepat untuk mempercepat penguraian. Komposting di lingkungan sekolah tidak hanya mengurangi volume limbah organik, namun juga memberikan pupuk alami yang dapat digunakan untuk kebun sekolah. Selain itu, kegiatan ini mengajarkan siswa tentang pentingnya menjaga keberlanjutan kehidupan lingkungan.

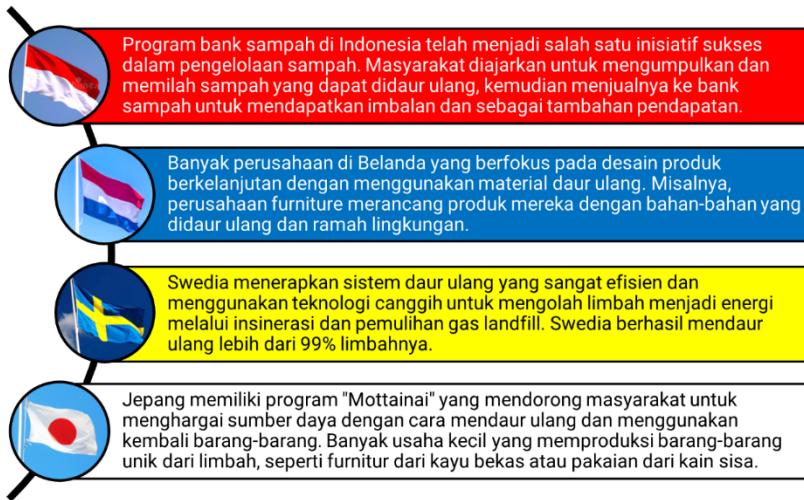
- d. **Daur Ulang Sederhana di Rumah.** Inisiatif daur ulang ini tidak hanya mengurangi jumlah sampah tetapi juga memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat. Program daur ulang yang efektif juga dapat mengurangi biaya pengelolaan sampah bagi pemerintah daerah. Gerakan daur ulang di rumah dapat diterapkan dengan cara sederhana berikut,
- 1) **Mengumpulkan Botol dan Kaleng:** Pisahkan botol plastik dan kaleng minuman untuk didaur ulang.
 - 2) **Menggunakan Kembali Kertas:** Gunakan kertas bekas untuk mencatat atau kerajinan tangan.
 - 3) **Mendonasikan Pakaian Bekas:** Pakaian yang tidak terpakai bisa disumbangkan ke organisasi sosial.
- e. **Meningkatkan Partisipasi Masyarakat.** Masyarakat memiliki peran penting dalam pengelolaan sampah secara mandiri. Kesadaran akan pentingnya pemilahan dan pengelolaan sampah harus ditanamkan sejak dini melalui pendidikan lingkungan. Ditemukan juga bahwa terdapat pengaruh tanaman hias dalam adsorpsi limbah unsur logam transisi hingga logam berat

post-transisi di lingkungan pertambangan. Maka dari itu, diperlukan program-program yang meningkatkan kesadaran dan partisipasi masyarakat dalam menjaga kelestarian lingkungan.

- 1) **Edukasi Lingkungan:** Mengadakan seminar atau workshop tentang pengelolaan sampah di tingkat komunitas.
 - 2) **Partisipasi dalam Program Bank Sampah:** Bergabung dengan program bank sampah lokal untuk mendaur ulang limbah secara kolektif.
 - 3) **Inisiatif Bersih-Bersih Lingkungan:** Mengorganisir kegiatan bersih-bersih lingkungan untuk meningkatkan kesadaran akan pentingnya menjaga kebersihan.
- f. **Edukasi Melalui Media Kreatif.** Edukasi merupakan komponen kunci dalam pengelolaan sampah di sekolah dan masyarakat. Sekolah dapat menggunakan berbagai media kreatif untuk meningkatkan kesadaran siswa maupun masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah.
- 1) **Workshop dan Seminar:** Mengadakan kegiatan workshop tentang pemilahan sampah dan daur ulang.
 - 2) **Kampanye Lingkungan:** Melakukan kampanye dengan poster, video, atau drama tentang dampak negatif dari sampah dan pentingnya daur ulang.
 - 3) **Proyek Kreatif:** Mengajak siswa untuk membuat kerajinan tangan dari bahan bekas sebagai bentuk inovasi dalam mendaur ulang.

g. **Menciptakan Peluang Usaha Baru dari Pengelolaan Sampah.**

- 1) **Daur Ulang Material:** Usaha daur ulang bahan seperti plastik, kertas, kaca, dan logam semakin diminati. Banyak perusahaan yang berfokus pada pengumpulan dan pemrosesan limbah untuk dijadikan bahan baku baru. Industri daur ulang dapat menciptakan lapangan kerja baru dan meningkatkan pendapatan masyarakat.
- 2) **Produksi Pupuk Organik:** Limbah organik seperti sisa makanan dan kotoran hewan dapat diolah menjadi pupuk organik melalui proses komposting atau biokonversi. Usaha ini tidak hanya mengurangi volume sampah tetapi juga menyediakan produk yang sangat dibutuhkan oleh petani untuk meningkatkan kesuburan tanah.
- 3) **Kerajinan Tangan dari Limbah:** Banyak pengusaha kreatif yang memanfaatkan limbah untuk membuat produk kerajinan tangan, seperti tas dari plastik bekas, perhiasan dari kaleng bekas, atau dekorasi rumah dari kertas daur ulang. Usaha ini tidak hanya memberikan nilai ekonomi tetapi juga meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya daur ulang.



Gambar 8.3. Salah satu contoh bentuk penerapan kebijakan berbasis 3R untuk mengatasi masalah sampah di Jepang, Jerman, dan Indonesia.

Peluang ekonomi dari sampah dan daur ulang sangat besar dalam konteks ekonomi sirkular. Dengan memanfaatkan limbah sebagai sumber daya, kita tidak hanya dapat mengurangi dampak lingkungan tetapi juga menciptakan lapangan kerja baru dan meningkatkan pendapatan masyarakat. Inisiatif kreatif berbasis daur ulang di berbagai negara menunjukkan bahwa pengelolaan sampah dapat menjadi sektor yang menguntungkan sekaligus berkelanjutan.

Daftar Pustaka

- Alavi, N., & Naderpour, M. (2019). The Impact of Plastic Recycling on Energy Reduction. *Waste Management*, 95(4), 234-240.
- Anawar, H.M., Freitas, M. C., Canha, N., & Regina, I.S. 2011. Arsenic, Antimony, and Other Trace Element Contamination in a Mine Tailings Affected Area and Uptake by Tolerant Plant Species. *Environmental Geochemistry and Health*, 33, 353-362.
- Bahraini, A. (2019). *Apa itu 3R? Pengertian Reduce, Reuse, Recycle dan Contohnya.* dikutip dari <https://waste4change.com/blog/konsep-prinsip-3r-reduce-reuse-recycle/> tanggal 22 November 2024.
- Defitri, M. (2020). *Kelebihan dan Kekurangan TPS 3R.* dikutip dari <https://waste4change.com/blog/kelebihan-dan-kekurangan-tps3r/> tanggal 22 November 2024.
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change.*
- Hermanus, S., & Sasongko, S. H. (2022). Penguatan Sistem Pengelolaan Sampah di TPS3R dan Bank Sampah. *Jurnal Lingkungan Hidup*, 13(1), 45-58.
- Hossain, M., Rahman, M., & Rahman, M. (2020). Effect of Compost on Soil Fertility and Crop Production. *Agricultural Sciences*, 11(3), 263-274.
- International Aluminum Institute. (2019). *Aluminium Recycling.* dikutip dari <https://recycling.world-aluminium.org/resources/processes> tanggal 22 November 2024.
- International Labour Organization. (2018). *World Employment Social Outlook 2018: Greening with Jobs.* dikutip dari <https://www.ilo.org/research-and-publication/world-employment-and-social-outlook/world-employment-and-social-outlook-trends-2018/> tanggal 22 November 2024.

- Junaidi, & Utama, A.A. (2023). Analisis Pengelolaan Sampah dengan Prinsip 3R (Reduce, Reuse, Recycle) (Studi Kasus di Desa Mamak Kabupaten Sumbawa). *Jurnal Ilmu Sosial dan Pendidikan (JISIP)*, 7(1), 706-713.
- Karmila, R., & Supriyadi, S. (2020). Pengaruh Pengomposan Sampah Organik terhadap Pengurangan Volume Sampah di TPA. *Journal of Environmental Management*, 250(1), 123-130.
- Kumar, S., Singh, R., & Singh, A. (2017). Recycling and Waste Management in India. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(4), 345-358.
- Liu, Y., Zhang, X., & Wang, J. (2019). Bioconversion of Organic Waste to Biogas: A Review. *Renewable Energy*, 135(1), 123-130.
- Mahajan, R. (2023). Environment and Health Impact of Solid Waste management in Developing Countries: A Review. *Current World Environment*, 18(1), 18-29.
- Saptaria, L., Shobirin, R.A., Astuti, R., Habibi, I., & Handayati, P. (2022). Implementasi Business Model Canvas Terintegrasi dalam Pengembangan Usaha Pupuk Organik. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 6(2), 925-942.
- Sari, A. R., & Prabowo, H. (2020). Bank Sampah sebagai Solusi Pengelolaan Sampah di Masyarakat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(2), 102-110.
- Shobirin, R.A., Daroini, A., & Suwasono, E. (2019). Color-ornamental Plants Cultivation for Metal Waste Reduction on Mining Sites and Their Biorecovery of Metals. *2019 International Conference of Interdisciplinary Sciences, Indonesia*, 15, 107-122.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. A. (1993). *Waste Management Practices*. McGraw-Hill.
- The Lancet Planetary Health. (2019). *The Economic Burden of Poor Waste Management*.

- World Bank. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*.
- Van Os, E., & De Kock, L. 2021. *Plastics: From recycling to (post-consumer) recycle: Industry views on barriers and opportunities in South Africa*. WWF South Africa, Cape Town, South Africa.
- Zhang, Y., Chen, L., & Li, Y. (2015). Reuse of Waste Materials in Construction. *Journal of Cleaner Production*, 100(1), 1-10.
- Zhang, Y., Chen, L., & Li, Y. (2018). Home Composting: A Sustainable Solution for Organic Waste Management. *Journal of Cleaner Production*, 100(1), 1-10.
- Zhang, Y., Chen, L., & Li, Y. (2020). Waste-to-Energy Technologies and Their Impact on Waste Management. *Waste Management*, 95(4), 234-240.
- Zubairi, M., & Ahmad, I. (2021). Health Risks Associated with Poor Management of Hazardous Waste. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2500-2515.

Profil Penulis



Rizky Arief Shobirin, S.Si., M.Si.

Rizky Arief Shobirin merupakan seorang dosen kimia, peneliti, penulis, dan maniak matematika, yang saat ini berafiliasi dengan Prodi Tadris Kimia, Fakultas Tarbiyah dan Ilmu Keguruan, Universitas Islam Negeri Sayyid Ali Rahmatullah Tulungagung (2023-sekarang). Beliau memiliki latar belakang pendidikan di bidang kimia murni, dengan fokus penelitian pada ilmu material, kimia fisik, kimia anorganik, dan komputasi. Beberapa penelitiannya mencakup rekayasa material, rekayasa air, kimia bahan alam, serta rekayasa terapan di bidang pertanian, peternakan, dan lingkungan. Sebelumnya beliau menempuh kuliah S1 Kimia (2007) di FMIPA di Universitas Brawijaya, yang mana aktif dalam kompetisi karya ilmiah serta kegiatan organisasi baik di Himpunan Mahasiswa Kimia (Fungsi Kontrol), Lembaga Otonomi Fakultas – FORKALAM (Ketua), hingga Badan Eksekutif Mahasiswa FMIPA UB (Presiden). Setelah lulus, beliau melanjutkan karir sebagai praktisi di PT. Roman Ceramic International (Supervisor QC), dan PT. Lautan Natural Krimerindo (Foreman QC). Beliau memutuskan untuk melanjutkan studi S2 Ilmu Kimia di tahun 2014. Beliau sempat melanjutkan studinya di National Central University (Taiwan) di tahun 2017, namun beliau memutuskan untuk tidak melanjutkannya. Beliau kembali melanjutkan karirnya menjadi dosen di Universitas Islam Kadiri (UNISKA – Kediri) di Prodi Kimia Fakultas Pertanian (2018-2023).

Rizky Arief Shobirin aktif dalam publikasi ilmiah dan pengabdian masyarakat. Beliau memiliki *passion* dalam bidang kimia secara eksperimen maupun komputasi, terutama untuk kajian mendalam terkait fenomena reaksi dan karakteristik material kimia secara mendalam dengan melibatkan berbagai persamaan matematis dan statistik dalam kimia kuantum, serta arsitektural struktur molekul secara matematika diskrit dalam kristalografi. Selain sebagai peneliti, beliau juga berperan dalam pemberdayaan masyarakat melalui pengembangan teknologi berbasis lingkungan, seperti penerapan ekonomi hijau dalam pengolahan air limbah industri tahu, pengembangan usaha organik, serta pemberdayaan sampah pertanian dan pangan untuk kebutuhan pupuk organik pertanian dan energi. Telusuri jejak beliau di:

Google Scholar:

<https://scholar.google.com/citations?user=2xJzcgUAAAAJ>

SINTA ID:

<https://sinta.kemdikbud.go.id/authors/profile/6740399>

Email Penulis: rashobirin@gmail.com

PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN DAN EKONOMI HIJAU

Sang Gede Purnama

Duis aute irure dolor in reprehenderit

Pendahuluan

Dalam menghadapi tantangan global saat ini Pendidikan lingkungan hidup menjadi penting peranannya. Melalui Pendidikan lingkungan hidup kita dapat menjaga kelestarian lingkungan, meningkatkan kesadaran dan keterampilan dalam menghadapi tantangan global seperti perubahan iklim, polusi dan penurunan keanekaragaman hayati. Pada Pendidikan lingkungan mengajarkan masyarakat tentang pentingnya menjaga keseimbangan ekosistem serta dampak pencemaran. Disamping itu juga mengajarkan tentang bagaimana membuat keputusan yang bertanggung jawab terhadap lingkungan.

Pembangunan berkelanjutan dan ekonomi hijau menjadi dua konsep yang penting dalam menghadapi tantangan global seperti sekarang ini. Pendekatan terintegrasi antar keduanya dapat menjadi penyeimbang antara pertumbuhan ekonomi, kesejahteraan sosial dan kelestarian lingkungan. Pembangunan yang dilakukan tanpa mempertimbangkan kelestarian lingkungan dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan (Basthiani *et al.*, 2024).

Pembangunan berkelanjutan dan ekonomi hijau perlu dimasukkan dalam Pendidikan lingkungan hidup karena konsep ini memberikan pemahaman tentang bagaimana menciptakan keseimbangan pertumbuhan ekonomi, keberlanjutan sosial dan perlindungan terhadap lingkungan. Dengan konsep ini maka generasi mendatang akan lebih siap menghadapi berbagai isu yang berkembang terkait perubahan iklim, pemanasan global, polusi udara, polusi air dan sebagainya (Sara, Sudarma and Saputra, 2023), (Syahwildan, Setiawan and Hariroh, 2023).

Pembangunan berkelanjutan telah menjadi isu global yang mendesak, terutama di negara-negara berkembang seperti Indonesia. Dengan populasi yang terus meningkat dan berbagai tantangan lingkungan yang semakin kompleks, pendekatan pembangunan yang tidak hanya berfokus pada pertumbuhan ekonomi, tetapi juga pada kesejahteraan sosial dan perlindungan lingkungan menjadi sangat penting. Di tengah kondisi ini, ekonomi hijau muncul sebagai suatu paradigma baru yang menawarkan solusi untuk mencapai pembangunan yang lebih berkelanjutan.

Konsep Pembangunan berkelanjutan dan ekonomi hijau

Pembangunan berkelanjutan adalah adalah upaya sadar dan terencana yang memadukan aspek lingkungan hidup, sosial, dan ekonomi ke dalam strategi pembangunan untuk menjamin keutuhan lingkungan hidup serta keselamatan, kemampuan, kesejahteraan, dan mutu hidup generasi masa kini dan generasi masa depan (Undang-Undang No. 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup)

Pembangunan berkelanjutan adalah konsep yang menekankan pada keseimbangan pertumbuhan ekonomi, pelestarian lingkungan dan kesejahteraan sosial. Konsep ini memberikan pemahaman bahwa pembangunan saat ini tanpa merusak sumber daya alam dan ekosistem untuk generasi mendatang. Pembangunan yang bersifat jangka pendek yang berpikir untuk mendapatkan keuntungan dengan mengorbankan kesehatan dan lingkungan dapat berdampak besar bagi generasi mendatang.

Hal ini sejalan dalam upaya kita melestarikan lingkungan, sebab aktivitas manusia telah menyebabkan terjadinya berbagai polusi udara, air dan tanah. Oleh sebab itu pembangunan berkelanjutan mendorong semua pihak untuk mempraktikkan budaya mengurangi polusi, melestarikan keanekaragaman hayati dan penggunaan energi terbarukan. Hal ini juga untuk mengurangi dampak perubahan iklim global .

Ekonomi hijau (green economy) suatu model ekonomi yang menekankan pada prinsip keseimbangan antara perkembangan ekonomi dan pelestarian lingkungan. Menurut United nation environment program (UNEP) ekonomi hijau adalah ekonomi yang menghasilkan kesejahteraan manusia dan kesetaraan sosial, serta mengurangi risiko lingkungan secara signifikan dan kelangkaan ekologis (Sudjono, 2023).

Adapun konsep dari ekonomi hijau yakni pengurangan emisi karbon dengan menerapkan teknologi rendah karbon dan energi terbarukan. Efisiensi sumber daya dengan menggunakan sumber daya alam secara bijaksana dan efisien serta mendaur ulang limbah. Inklusivitas sosial, yakni pertumbuhan ekonomi inklusif dan menciptakan lapangan kerja baru seperti energi terbarukan dan pertanian berkelanjutan. Pengelolaan lingkungan hidup yang berkelanjutan, dengan memantau

perkembangan pembangunan yang tidak merusak lingkungan (Anwar, 2022).

Pada tahun 2015, PBB menetapkan 17 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals - SDGs) yang menjadi pedoman bagi negara-negara di seluruh dunia, termasuk Indonesia. Beberapa tujuan yang relevan dengan konteks Indonesia antara lain: Pengentasan Kemiskinan : Mengurangi jumlah orang yang hidup di bawah garis kemiskinan. Pendidikan Berkualitas: Menjamin akses pendidikan yang berkualitas untuk semua. Perlindungan Lingkungan: Memastikan keberlanjutan ekosistem dan pengelolaan sumber daya alam yang bijaksana.

Manfaat ekonomi hijau

Dengan memberlakukan konsep ekonomi hijau dalam pembangunan nasional dapat berdampak bagi lingkungan, masyarakat dan ekonomi secara keseluruhan. Lingkungan akan menjadi lebih bersih hal ini disebabkan pengurangan emisi yang dapat meningkatkan kualitas udara. Penggunaan energi terbarukan yang memiliki rendah emisi akan mengurangi polusi udara dan selanjutnya mampu memperbaiki kualitas hidup manusia. Hal ini termasuk juga mengurangi potensi pencemaran air dan tanah (Pramesthi and Santoso, 2024).

Meningkatkan lapangan kerja baru di berbagai sektor kehidupan. Penggunaan energi terbarukan, teknologi ramah lingkungan serta pengelolaan limbah dapat membuka peluang kerja baru. Dengan demikian dapat mendorong pertumbuhan ekonomi. Sebagai contoh penggunaan kendaraan listrik selain mengurangi emisi karbon juga membuka lapangan kerja baru bagi masyarakat.

Ketahanan terhadap perubahan iklim. Melalui program yang mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil maka kita telah mengurangi risiko terjadinya polusi udara dan perubahan iklim. Kejadian akibat perubahan iklim global bukan lagi menjadi isu namun telah menyebabkan kejadian bencana kebakaran, banjir, kekeringan diberbagai negara. Program ekonomi hijau dapat membangun ketahanan masyarakat terhadap dampak dari perubahan iklim.

Mengurangi adanya kesenjangan sosial. Terjadinya kesenjangan sosial dapat menimbulkan kecemburuan dan tindakan criminal. Melalui program ekonomi hijau dengan pembangunan yang inklusif, dimana keuntungan ekonomi dapat diakses oleh berbagai pihak terutama kelompok rentan terhadap dampak lingkungan. Dengan demikian akan dapat mengurangi kesenjangan ekonomi masyarakat.

Tantangan dalam pembangunan berkelanjutan

Pembangunan berkelanjutan diharapkan dapat berjalan dengan baik, namun demikian masih ada beberapa kendala yang dihadapi untuk mewujudkannya. Berikut adalah beberapa tantangan potensial yang dihadapi dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan (Javanmardi, Liu and Xie, 2023).

Pertama, Krisis lingkungan. Indonesia mengalami deforestasi yang tinggi akibat dari pembukaan lahan pertanian, perkembunan dan penambangan. Pengundulan hutan juga sering dilakukan untuk dijual kayunya secara illegal. Kebakaran hutan akibat dari cuaca panas maupun pembukaan lahan sawit. Deforestasi dapat mengancam keanekaragaman hayati yang kita miliki, mengurangi kemampuan dalam menyerap karbon serta meningkatkan risiko bencana longsor dan banjir. Pencemaran udara, air, dan tanah

adalah masalah serius yang dihadapi Indonesia. Limbah industri, sampah plastik, dan penggunaan pestisida yang berlebihan dapat mempengaruhi kesehatan masyarakat dan ekosistem.

Kedua, adanya ketimpangan sosial dan ekonomi. Ketimpangan dalam akses terhadap sumber daya alam, pendidikan, dan layanan kesehatan masih menjadi masalah di Indonesia. Wilayah pedesaan sering kali tertinggal dibandingkan dengan perkotaan, sehingga sulit untuk menciptakan pembangunan yang inklusif. Meskipun ada pertumbuhan ekonomi, tingkat pengangguran dan kemiskinan masih cukup tinggi di beberapa daerah. Tanpa pekerjaan yang layak dan penghasilan yang cukup, masyarakat sulit untuk berpartisipasi dalam pembangunan berkelanjutan.

Ketiga, Keterbatasan Sumber Daya dan Infrastruktur. Dukungan finansial pada pembangunan berkelanjutan sangat diperlukan. Anggaran pembangunan yang terbatas dapat menghambat proses pembangunan vital yang diperlukan. Beberapa fasilitas publik membutuhkan biaya besar di awal sedangkan hasilnya dalam jangka panjang. Infrastruktur yang buruk, termasuk transportasi, energi, dan sanitasi, menghambat akses masyarakat terhadap layanan dasar. Hal ini juga mengurangi efisiensi dalam kegiatan ekonomi yang berkelanjutan.

Keempat, ketidakpastian kebijakan dan regulasi. Seringkali, kebijakan pembangunan tidak konsisten atau tidak terintegrasi. Perubahan pemerintahan dapat membawa perubahan kebijakan yang mengganggu kelangsungan proyek pembangunan yang sudah ada. Kurangnya penegakan hukum terkait lingkungan dan pengelolaan sumber daya alam menyebabkan eksploitasi yang tidak bertanggung jawab. Hal ini menghambat upaya untuk mencapai keberlanjutan.

Kelima, kesadaran dan partisipasi masyarakat yang kurang. Masih rendahnya pemahaman masyarakat terhadap isu lingkungan. Hal ini menjadi tantangan tersendiri dalam upaya konservasi lingkungan. Partisipasi masyarakat dalam ikut serta mengambil keputusan terkait pembangunan dan lingkungan seringkali minim sehingga kebijakan tidak mewakili aspirasi masyarakat.

Peluang ekonomi hijau di Indonesia

Ekonomi hijau menawarkan berbagai peluang yang dapat dimanfaatkan Indonesia untuk mencapai pertumbuhan yang berkelanjutan. Dengan kekayaan sumber daya alam dan potensi inovasi, Indonesia dapat mengembangkan sektor-sektor yang ramah lingkungan. Berikut adalah beberapa peluang utama ekonomi hijau di Indonesia:

Potensi energi terbarukan, Indonesia berpotensi mengembangkan energi terbarukan seperti pemanfaatan tenaga surya, tenaga angin dan biomassa. Tenaga surya dengan memanfaatkan sinar matahari yang berlimpah dapat membuat panel surya yang menghasilkan listrik. Tenaga angin ada di daerah pesisir yang memiliki angin sebagai pembangkit listrik. Biomassa dari limbah pertanian dan kehutanan sebagai energi alternatif. Pihak swasta dapat juga berinvestasi dalam pengembangan energi terbarukan sehingga dapat mengurangi emisi karbon dan membuka lapangan pekerjaan (Solikah and Bramastia, 2024).

Penerapan prinsip ekonomi sirkular pada pengelolaan limbah yang efektif. Pada ekonomi sirkular dilakukan upaya pengurangan, penggunaan kembali serta daur ulang limbah untuk meminimalkan dampak pada lingkungan. Melalui sistem ini maka kita dapat mengurangi limbah yang harusnya masuk ke tempat pembuangan akhir dapat memperpanjang siklus hidup produk hingga dapat dimanfaatkan kembali. Ide ini bukan hanya

mengurangi pencemaran lingkungan tetapi juga dapat menciptakan peluang ekonomi baru bagi industri daur ulang.

Sistem pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penggunaan pupuk organik dapat mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia dengan demikian dapat juga melindungi lingkungan. Menanam varietas lokal untuk meningkatkan ketahanan pangan dan keanekaragaman hayati. Permintaan global untuk produk organik dan ramah lingkungan terus meningkat. Indonesia dapat memanfaatkan peluang ini untuk mengeksport produk pertanian yang berkelanjutan. Dengan mengurangi penggunaan pestisida dan pupuk kimia, serta menerapkan praktik konservasi air, sektor pertanian dapat berkontribusi pada pengurangan emisi dan pencemaran, sekaligus memastikan keberlanjutan sumber daya alam.

Pengembangan transportasi berkelanjutan, Investasi dalam transportasi umum yang efisien dan ramah lingkungan, seperti bus listrik dan kereta api, dapat mengurangi kemacetan dan polusi udara di kota-kota besar. Mendorong penggunaan kendaraan listrik dengan menyediakan infrastruktur pengisian dan insentif bagi pengguna dapat membantu mengurangi emisi dari sektor transportasi.

Pariwisata berkelanjutan, Indonesia memiliki keanekaragaman hayati yang luar biasa dan budaya yang kaya, menjadikannya sebagai destinasi ekowisata yang menarik. Pengembangan pariwisata berbasis lingkungan dapat menciptakan lapangan kerja bagi masyarakat lokal dan mendorong pelestarian lingkungan dan budaya. Industri perhotelan dapat menerapkan praktik ramah lingkungan, seperti pengelolaan limbah dan penggunaan energi terbarukan, untuk menarik wisatawan yang peduli lingkungan.

Pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan, Program konservasi hutan dan reforestasi dapat membantu melindungi keanekaragaman hayati sekaligus menciptakan peluang ekonomi melalui pengembangan produk hutan non-kayu. Implementasi praktik perikanan yang berkelanjutan dapat meningkatkan hasil tangkapan sambil melindungi ekosistem laut. Ini termasuk pengurangan penangkapan ikan ilegal dan perlindungan habitat laut.

Kesadaran dan Pendidikan lingkungan, meningkatkan kesadaran masyarakat tentang keberlanjutan melalui program pendidikan dan pelatihan dapat menciptakan permintaan untuk produk dan layanan yang ramah lingkungan. Mendorong partisipasi komunitas dalam proyek-proyek lingkungan dapat memberdayakan masyarakat dan menciptakan ekonomi lokal yang berkelanjutan.

Studi Kasus: Inisiatif Ekonomi Hijau di Indonesia

Program Kampung Iklim

Program Kampung Iklim (ProKlim) adalah inisiatif yang diluncurkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) Indonesia untuk meningkatkan kesadaran dan partisipasi masyarakat dalam menghadapi perubahan iklim. Program ini bertujuan untuk memberdayakan masyarakat di tingkat lokal dalam melakukan aksi nyata untuk mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Dengan melibatkan komunitas dalam perencanaan dan pelaksanaan kegiatan, ProKlim berupaya menciptakan lingkungan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Program ini mendorong setiap kampung untuk mengidentifikasi masalah lingkungan yang dihadapi, merencanakan solusi, dan melaksanakan kegiatan yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca serta meningkatkan daya tahan terhadap

bencana. Pendekatan yang digunakan adalah partisipatif, di mana masyarakat dilibatkan secara langsung dalam setiap tahap, mulai dari perencanaan hingga evaluasi (Faedlulloh, Irawan and Prasetyanti, 2019), (Hafizul Furqan, Daska Azis, 2020).

Kegiatan dalam Program Kampung Iklim mencakup berbagai aspek, seperti penanaman pohon, pengelolaan sampah, konservasi air, dan pemberdayaan ekonomi lokal. Misalnya, kampung-kampung yang terlibat dalam program ini dapat mengembangkan kebun komunitas yang tidak hanya berfungsi sebagai sumber pangan tetapi juga sebagai ruang terbuka hijau yang menyerap karbon. Selain itu, pelatihan tentang praktik pertanian berkelanjutan dan pengelolaan limbah juga sering dilakukan untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan masyarakat.

Proyek Energi Terbarukan di Nusa Tenggara Timur

Nusa Tenggara Timur (NTT) adalah salah satu daerah yang menerapkan inisiatif ekonomi hijau dengan fokus pada pengembangan energi terbarukan. Di daerah ini, proyek pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) telah dilaksanakan untuk meningkatkan akses listrik bagi masyarakat yang belum terlayani. Dengan memanfaatkan sinar matahari yang melimpah, proyek ini tidak hanya menyediakan sumber energi yang bersih, tetapi juga mengurangi emisi karbon. Selain itu, masyarakat setempat dilibatkan dalam proses pembangunan dan pengelolaan, sehingga menciptakan lapangan kerja dan meningkatkan keterampilan lokal.

Pertanian Berkelanjutan di Jawa Barat

Di Jawa Barat, inisiatif pertanian berkelanjutan juga menjadi sorotan. Beberapa komunitas telah mengadopsi praktik pertanian organik dan agroforestri untuk meningkatkan hasil panen sambil menjaga keseimbangan

ekosistem. Program seperti "Kampung Organik" mendorong petani untuk beralih dari penggunaan pestisida dan pupuk kimia ke metode yang lebih ramah lingkungan. Dengan dukungan dari pemerintah dan lembaga non-pemerintah, petani tidak hanya mendapatkan pelatihan, tetapi juga akses ke pasar untuk produk organik mereka. Hal ini tidak hanya meningkatkan pendapatan petani, tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan.

Ekowisata di Bali

Bali, sebagai salah satu destinasi pariwisata utama di Indonesia, telah mengimplementasikan inisiatif ekowisata yang bertujuan untuk melestarikan lingkungan dan budaya lokal. Program ini mendorong pengembangan pariwisata yang berkelanjutan melalui pelatihan bagi masyarakat lokal dalam pengelolaan sumber daya alam dan pelestarian budaya. Misalnya, beberapa desa di Bali telah mengembangkan paket wisata yang menonjolkan keindahan alam dan budaya setempat, sekaligus memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat. Dengan pendekatan ini, Bali tidak hanya menarik wisatawan yang peduli lingkungan, tetapi juga memastikan bahwa keuntungan dari pariwisata dapat dirasakan oleh masyarakat lokal.

Mempersiapkan Generasi Hijau

Dalam menghadapi tantangan global dan perubahan iklim diperlukan Pendidikan lingkungan kepada generasi mendatang untuk meningkatkan kepeduliannya kepada lingkungan. Pemahaman terhadap isu lingkungan seperti: perubahan iklim, pencemaran lingkungan, punahnya flora dan fauna, dan lainnya. Generasi muda dapat menjadi agen perubahan yang aktif di daerahnya. Pendidikan lingkungan bukan hanya memberikan pengetahuan tetapi juga sikap positif terhadap pelestarian

alam. Usia anak-anak dan remaja adalah potensi untuk memberikan Pendidikan secara dini karena mereka akan cenderung melakukan upaya konservasi berkelanjutan di masa depan.

Sekolah memiliki tanggung jawab besar dalam menyelenggarakan pendidikan lingkungan hidup yang efektif. Kurikulum harus mencakup materi tentang keberlanjutan dan isu-isu lingkungan yang relevan. Selain itu, sekolah dapat mengadopsi praktik ramah lingkungan, seperti pengelolaan sampah, penggunaan energi terbarukan, dan penanaman pohon di lingkungan sekolah. Kegiatan ekstrakurikuler seperti klub lingkungan atau program pengabdian masyarakat juga dapat memberikan pengalaman praktis bagi siswa untuk terlibat langsung dalam isu-isu lingkungan.

Masyarakat juga dapat berperah dalam mempersiapkan generasi hijau ini. Beberapa kegiatan Pendidikan lingkungan dapat diselenggarakan dalam kegiatan berbasis komunitas seperti karang taruna, seminar, lokakarya, lomba agustusan yang melibatkan anggota masyarakat. Beberapa kegiatan di masyarakat yang relevan dengan isu lingkungan seperti pembersihan pantai, penanaman pohon serta pengelolaan sampah. Melalui keterlibatan masyarakat, anak-anak dan remaja mereka dapat belajar secara langsung dan memahami dampak lingkungan tersebut.

Pemerintah perlu mengambil langkah-langkah strategis untuk memastikan pendidikan lingkungan hidup menjadi prioritas dalam sistem pendidikan nasional. Kebijakan yang mendukung integrasi pendidikan lingkungan ke dalam kurikulum sekolah harus diterapkan. Selain itu, pemerintah dapat menyediakan dana dan sumber daya untuk program-program pendidikan lingkungan, baik di sekolah maupun di masyarakat. Kerja sama antara pemerintah, lembaga pendidikan, dan organisasi non-

pemerintah juga diperlukan untuk menciptakan program yang efektif dan berkelanjutan.

Pendidikan lingkungan hidup tidak hanya terbatas pada teori tetapi juga keterampilan praktis. Siswa perlu diajarkan tentang bagaimana melakukan pengelolaan sumber daya dengan bijaksana seperti Teknik pertanian yang berkelanjutan, penggunaan energi terbarukan dan praktik pengelolaan limbah. Dengan demikian maka siswa tidak hanya sebatas tahu namun juga dapat memiliki keterampilan dalam menerapkan pengetahuan untuk kehidupan sehari-hari.

Masa depan pendidikan lingkungan hidup harus berfokus pada inovasi dan penggunaan teknologi. Dengan perkembangan teknologi informasi, metode pembelajaran dapat menjadi lebih interaktif dan menarik. Penggunaan platform digital, seperti aplikasi pembelajaran dan media sosial, dapat membantu menyebarkan informasi tentang isu-isu lingkungan kepada generasi muda. Selain itu, pendidikan lingkungan juga harus beradaptasi dengan perubahan global, seperti krisis iklim dan urbanisasi, untuk memastikan relevansinya di masa depan.

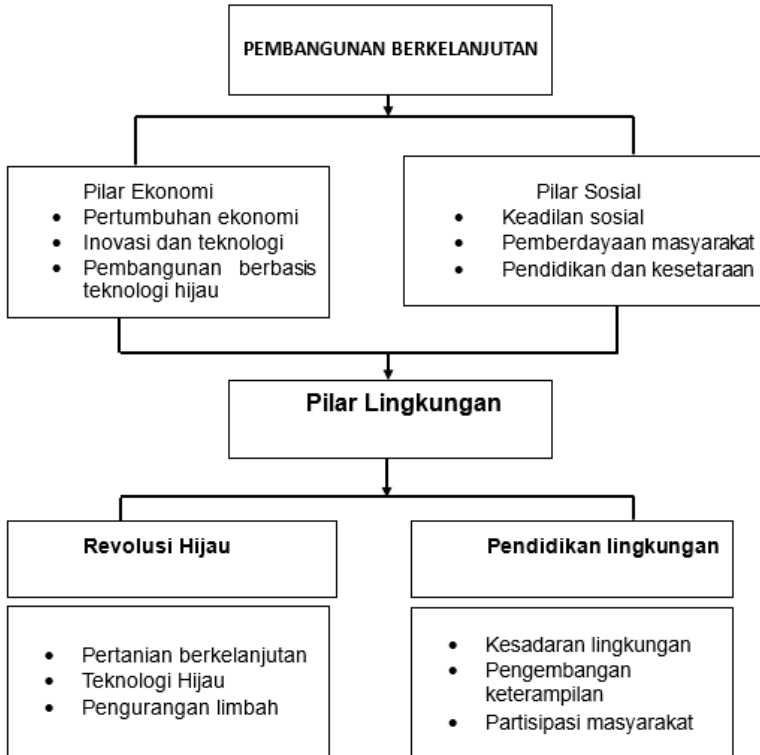
Pendidikan lingkungan hidup juga harus melibatkan kolaborasi global. Dengan saling berbagi pengetahuan dan pengalaman antarnegara, generasi muda dapat belajar dari praktik terbaik di berbagai belahan dunia. Program pertukaran pelajar dan proyek internasional dapat memberikan perspektif yang lebih luas tentang tantangan dan solusi lingkungan. Dengan cara ini, generasi hijau tidak hanya dibentuk dalam konteks lokal, tetapi juga dalam kerangka global yang lebih besar.

Strategi Pendidikan untuk Mengintegrasikan Konsep Pembangunan Berkelanjutan dalam Kurikulum

Untuk mengintegrasikan konsep pembangunan berkelanjutan dalam kurikulum, beberapa strategi dapat diterapkan: Pengembangan Kurikulum Interdisipliner. Kurikulum harus dirancang secara interdisipliner, menggabungkan berbagai disiplin ilmu untuk memberikan wawasan yang lebih holistik tentang isu-isu keberlanjutan. Misalnya, pelajaran tentang perubahan iklim dapat menggabungkan aspek sains, ekonomi, dan etika.

Pembelajaran Berbasis Proyek. Mengimplementasikan pembelajaran berbasis proyek yang berfokus pada isu-isu lingkungan dan sosial. Siswa dapat terlibat dalam proyek nyata yang berkaitan dengan keberlanjutan, seperti kegiatan pengelolaan sampah atau penanaman pohon, yang memberikan pengalaman praktis dan mengembangkan keterampilan kolaborasi. Mendorong keterlibatan komunitas dalam pendidikan tentang keberlanjutan. Sekolah dapat menjalin kemitraan dengan organisasi lokal untuk mengadakan seminar, lokakarya, dan kegiatan yang melibatkan masyarakat dalam isu-isu lingkungan.

Pelatihan untuk Guru. Memberikan pelatihan bagi guru tentang metode pengajaran yang inovatif dan informasi terkini mengenai isu-isu keberlanjutan. Guru yang teredukasi akan lebih mampu menginspirasi dan mengedukasi siswa tentang pentingnya pembangunan berkelanjutan. Dapat juga dengan mengintegrasikan pendidikan kewarganegaraan yang menekankan pentingnya partisipasi aktif dalam masyarakat. Ini dapat membekali siswa dengan pengetahuan dan keterampilan untuk berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan di komunitas mereka.



Gambar 9.1. Skema pembangunan berkelanjutan, revolusi hijau dan Pendidikan lingkungan

Skema ini menggambarkan pembangunan berkelanjutan dan revolusi hijau terintegrasi dengan berbagai elemen. Pembangunan berkelanjutan didasarkan pada tiga pilar utama yakni ekonomi, sosial dan lingkungan yang saling berinteraksi dan mendukung untuk mencapai keseimbangan yang harmonis.

Pilar yang pertama adalah ekonomi yang menekankan pada pentingnya pertumbuhan ekonomi berkelanjutan melalui berbagai inovasi dan penerapan teknologi hijau. Dalam konteks ini, teknologi hijau berperan penting dalam menciptakan produk dan layanan yang ramah lingkungan, sekaligus mendorong efisiensi dan produktivitas. Dengan memanfaatkan sumber daya

secara bijak dan mengurangi pemborosan, ekonomi yang berkelanjutan dapat memberikan keuntungan jangka panjang bagi masyarakat dan lingkungan.

Pilar kedua adalah sosial yang berbasis keadilan sosial dan pemberdayaan masyarakat. Pembangunan yang berkelanjutan tidak hanya bertujuan untuk mencapai pertumbuhan ekonomi, tetapi juga memastikan bahwa semua lapisan masyarakat mendapatkan manfaat yang adil dari hasil pembangunan. Hal ini mencakup peningkatan akses terhadap pendidikan, kesehatan, dan kesempatan kerja yang setara. Dengan meningkatkan kesetaraan dan memperkuat kapasitas masyarakat, pilar sosial berkontribusi pada stabilitas dan ketahanan sosial.

Pilar ketiga adalah lingkungan, yang terkait dengan upaya melestarikan sumber daya alam untuk keberlanjutan kehidupan di masa mendatang. Melalui pendekatan revolusi hijau sebagai solusi untuk meningkatkan produksi pangan yang berkelanjutan. Revolusi hijau melibatkan penerapan praktik pertanian berkelanjutan, yang menggunakan teknologi modern dan pendekatan ramah lingkungan untuk meningkatkan hasil pertanian tanpa merusak ekosistem. Selain itu, revolusi hijau juga mencakup upaya pengurangan limbah dan penggunaan sumber daya secara efisien, sehingga memberikan dampak positif bagi lingkungan.

Selanjutnya terkait dengan Pendidikan lingkungan yang berperan penting dalam mendukung pembangunan berkelanjutan dan revolusi hijau. Melalui Pendidikan lingkungan dapat meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap berbagai isu-isu lingkungan dan memberikan keterampilan pada siswa tentang berbagai upaya pelestarian lingkungan. Dengan demikian maka Pendidikan lingkungan dapat menciptakan masyarakat yang lebih sadar akan tanggungjawabnya dalam menjaga lingkungan.

Daftar Pustaka

- Anwar, M. (2022) 'Green Economy Sebagai Strategi Dalam Menangani Masalah Ekonomi Dan Multilateral', *Jurnal Pajak dan Keuangan Negara (PKN)*, 4(1S), pp. 343–356. doi: 10.31092/jpkn.v4i1s.1905.
- Basthiani, I. A. *et al.* (2024) 'The Role Green Economy in Sustainable Development as Long-Term Environmental and Economic Stability: A Literature Review', *Research Horizon*, 4(4), pp. 187–196.
- Faedlulloh, D., Irawan, B. and Prasetyanti, R. (2019) 'Program unggulan kampung iklim (proklim) berbasis pemberdayaan masyarakat', *Publisia: Jurnal Ilmu Administrasi Publik*, 4(1), pp. 28–44. doi: 10.26905/pjiap.v4i1.2364.
- Hafizul Furqan, Daska Azis, R. W. (2020) 'Implementasi Program Kampung Iklim (Proklim) Di Gampong Lambung Kecamatan Meuraxa Kota Banda Aceh', *Jurnal Pendidikan Geosfer*, 5(2), pp. 42–49.
- Javanmardi, E., Liu, S. and Xie, N. (2023) *Exploring the Challenges to Sustainable Development from the Perspective of Grey Systems Theory*, *Systems*. doi: 10.3390/systems11020070.
- Pramesthi, N. G. and Santoso, S. P. (2024) 'The Role Of The Green Economy, Technological Innovation, Stock Market Advantages In Sustainable Development', *International Journal of ...*, 1(3), pp. 1–11. Available at: <https://international.aripi.or.id/index.php/IJEEPA/article/view/29%0Ahttps://international.aripi.or.id/index.php/IJEEPA/article/download/29/42>.
- Sara, I. M., Sudarma, M. and Saputra, K. A. K. (2023) 'The Green Economic Movement for Sustainable Development and The Role of Green Governance: A Study in Villages in Bali', *International Journal of Social Science and Business*, 7(4), pp. 898–909. doi: 10.23887/ijssb.v7i4.58601.

- Solikah, A. A. and Bramastia, B. (2024) 'Systematic Literature Review: Kajian Potensi dan Pemanfaatan Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan Di Indonesia', *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 5(1), pp. 27–43. doi: 10.14710/jebt.2024.21742.
- Sudjono (2023) 'Green Economic Transformation: Opportunities and Challenges for Sustainable Development', *International Journal of Science and Society*, 5(5), pp. 825–835. doi: 10.54783/ijsoc.v5i5.947.
- Syahwildan, M., Setiawan, I. and Hariroh, F. M. R. (2023) 'Peran Green Economy Terhadap Pembangunan Berkelanjutan Di Indonesia', *Lentera Pengabdian*, 1(02), pp. 163–171. doi: 10.59422/lp.v1i02.38.

Profil Penulis



Sang Gede Purnama

Adalah dosen di Departemen Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kedokteran, Universitas Udayana. Beliau menyelesaikan pendidikan Magister di Universitas Gajah Mada dan Pendidikan Doktor di bidang Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia. Sebagai akademisi, Sang Gede Purnama memiliki rekam jejak yang kaya dalam riset kesehatan masyarakat, dengan beberapa publikasi penelitian nasional dan internasional yang berfokus pada topik-topik seperti pengendalian demam berdarah dengue, rabies, identifikasi risiko lingkungan, dan manajemen bencana. Selain itu, beliau juga aktif menulis buku-buku yang berkaitan dengan bidang keahlian tersebut, di antaranya adalah Epidemiologi Penyakit Berbasis Lingkungan, Manajemen Lingkungan untuk COVID-19, dan Manajemen Bencana. Dengan pengalamannya yang mendalam di bidang kesehatan lingkungan dan manajemen risiko, Sang Gede Purnama terus berkontribusi dalam penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan yang relevan dengan tantangan kesehatan masyarakat di Indonesia.

Email Penulis: sangpurnama@unud.ac.id

ETIKA LINGKUNGAN DAN TANGGUNG JAWAB SOSIAL

Tito Nurseha, M.Si.

Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang

Etika Lingkungan

Pengertian

Etika lingkungan merupakan bagian dari disiplin ilmu filsafat yang membahas tentang hubungan moral manusia dengan lingkungan dan juga sebagai landasan konseptual nilai-nilai lingkungan serta isu-isu yang lebih konkret. Landasan konseptual tersebut meliputi sikap, tindakan dan kebijakan masyarakat untuk melindungi serta mempertahankan keanekaragaman hayati dalam sistem ekologi. Pada prinsipnya etika lingkungan telah memaksimalkan perannya untuk menyatukan manusia dan lingkungan. Dalam mencapai tujuannya manusia dan lingkungan saling memiliki sifat ketergantungan.

Etika lingkungan merupakan sebuah pendekatan holistik sebagai bentuk pemahaman, evaluasi dari kewajiban moral manusia dalam melindungi dan melestarikan lingkungan. Maka dari itu, etika lingkungan diperlukan agar setiap kegiatan yang berkaitan dengan lingkungan dipertimbangkan secara cermat demi menjaga keseimbangan.

Pentingnya etika lingkungan karena memiliki tujuan untuk melindungi lingkungan dan semua makhluk serta sumber daya alam yang ada di dalamnya. Ini mendorong kesadaran tindakan manusia dalam membangun kembali hubungan baik dengan alam. Etika lingkungan juga memberikan pengaruh terhadap kebijakan publik dalam perlindungan lingkungan.

Prinsip-Prinsip Lingkungan Hidup

Sikap atau perilaku yang berhubungan dengan kegiatan menjaga alam dan lingkungan merupakan sebuah prinsip dasar dalam melaksanakan pelestarian. Prinsip etika lingkungan perlu dilakukan demi terwujudnya lingkungan sehat dan bersih. Prinsip-prinsip etika lingkungan berikut diharapkan mampu membuat setiap individu mengambil sikap dalam menjaga alam dan lingkungannya. Terdapat sembilan sikap yang termasuk dalam prinsip-prinsip etika lingkungan (Keraf, 2010).

1. Prinsip Hormat terhadap Alam (*Respect for Nature*)

Menghormati alam merupakan prinsip dasar dalam etika lingkungan. Setiap manusia harus mengetahui bahwa dirinya merupakan bagian dari alam semesta. Sebagai bagian dari alam, manusia mempunyai kewajiban untuk menghargai hak setiap makhluk hidup untuk berada, hidup, tumbuh dan berkembang secara alamiah mengikuti jalan dan tujuan yang telah ditentukan oleh Sang Pencipta.

Menjaga keseimbangan alam adalah salah satu bentuk dari menghargai hak setiap makhluk hidup. Contohnya membuang sampah pada tempatnya, melakukan reboisasi di lahan yang gundul, serta mendidik anak-anak untuk mencintai lingkungan sekitar.

2. Prinsip Tanggung Jawab (*Responsibility*)

Tanggung jawab merupakan sebuah tindakan yang pada hakikatnya hanya masing-masing individu yang memikul akibat dari perbuatan mereka (Hayek, 2001). Tanggung jawab yang bersifat individu maupun kolektif menuntut manusia untuk bersama-sama secara nyata menjaga alam semesta menjadi lebih baik. Prinsip tanggung jawab ini lebih menekankan kepada manusia untuk lebih bijak mengelola alam dari kerusakan dan senantiasa melestarikan alam sebagai bentuk warisan kepada generasi selanjutnya.

Dengan prinsip tanggung jawab, setiap pribadi maupun kelompok secara sadar akan memiliki kepentingan bersama dalam memelihara alam. Alam semesta bukan milik individu atau kelompok, tetapi alam semesta adalah milik bersama. Tanggung jawab ini akan muncul apabila cara pandang yang dimiliki bukan hanya sekedar untuk kepentingan manusia.

3. Prinsip Solidaritas Kosmis (*Cosmic Solidarity*)

Prinsip solidaritas kosmis ini mendorong manusia untuk menyelamatkan lingkungan, untuk menyelamatkan kehidupan alam semesta, karena alam dan kehidupan lainnya memiliki nilai yang sama dengan kehidupan manusia. Solidaritas kosmis berfungsi sebagai pengendali moral untuk mengharmonisasi setiap perilaku manusia dengan lingkungan dan ekosistem seluruhnya. Solidaritas kosmis berfungsi untuk mengontrol perilaku manusia dalam batas-batas keseimbangan kosmis.

Kesadaran bahwa semua makhluk saling terhubung adalah hal mendasar yang harus dipahami bersama. Untuk bernafas manusia sangat bergantung dengan tumbuhan sebagai penghasil oksigen, pun sebaliknya tumbuhan membutuhkan karbondioksida dari manusia sebagai bahan untuk fotosintesis.

4. Prinsip Kasih Sayang dan Kepedulian (*Care and Compassion*)

Prinsip kasih sayang dan kepedulian terhadap alam ialah prinsip satu arah yang tidak mengharapkan balasan darinya. Dasar prinsip ini bukan untuk kepentingan pribadi dan atau kelompok saja, namun untuk keberlangsungan dan keberlanjutan alam dan lingkungan. Harapan cinta, kasih dan kepedulian terhadap alam mampu membuat manusia berkembang menjadi pribadi yang bijak dan lebih dewasa.

Alam tidak pernah membiarkan setiap makhluk yang ada untuk berlalu tanpa perhatian darinya, alam juga memberikan pengalaman realistis dan spiritual bagi setiap makhluk yang ada.

Kepedulian terhadap kesejahteraan makhluk hidup saat ini sudah berkurang. Hal ini dilihat dari kondisi alam yang mengalami penurunan akibat manusia yang kurang kasih sayang dan peduli terhadap alam. Sebagaimana dijelaskan dalam al-quran surat ar-Rum ayat 41 Allah berfirman,

*“telah nampak kerusakan di darat dan di laut
disebabkan karena perbuatan tangan
manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka
sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar
mereka kembali (ke jalan yang benar)”*.

Empati terhadap rusaknya lingkungan perlu ditanamkan kepada generasi muda sejak dini. Tindakan peduli lingkungan tidak berbanding lurus dengan empati lingkungan itu sendiri. Hanya saja, sikap terhadap lingkungan untuk peduli dan memperbaiki akan menimbulkan dampak positif bagi lingkungan itu sendiri (Bilqisti et al., 2023).

5. Prinsip Tidak Merugikan (*No Harm*)

Tidak merugikan atau mengancam eksistensi makhluk hidup lain di alam semesta merupakan dasar dari prinsip *no harm*. Tindakan merugikan kepada sesama manusia maupun lingkungan adalah tindakan yang tidak dibenarkan baik oleh individu maupun kelompok sosial. Kelompok sosial dalam hal ini masyarakat tradisional masih berpegang teguh pada prinsip *no harm*. Mereka masih memiliki kepercayaan dan menjunjung tinggi adat, sehingga berkewajiban untuk menjaga alam dan tidak membuat tindakan yang merugikan alam.

Menghindari tindakan yang merusak lingkungan di alam dapat dilakukan dengan menjaga setiap keanekaragaman jenis flora dan fauna untuk tetap berada di habitatnya. Seperti kepercayaan para pendaki yang dilarang membawa pulang tanaman dari gunung karena bisa berdampak buruk bagi pelakunya.

6. Prinsip Hidup Sederhana dan Selaras dengan Alam

Memiliki dan mengumpulkan harta sebanyak-banyaknya, hidup bermewah-mewah dalam kelimpahan akan berakibat pada pandangan hidup terus menerus mengejar kekayaan. Gaya hidup eksploitatif akan menjerumuskan kita pada kehancuran dan kepunahan dini. Pandangan hidup seperti ini akan merusak kelestarian alam, maka sudah sepantasnya kita memiliki prinsip hidup sederhana dan selaras dengan alam.

Prinsip hidup sederhana dan selaras dengan alam menitik beratkan pada nilai, cara hidup dan kualitas. Prinsip pola hidup sederhana harus bisa diterima oleh setiap manusia. Jika tidak dapat menerima pola yang baru, maka sulit bagi kita untuk dapat menyelamatkan lingkungan dan alam semesta.

Gaya hidup berkelanjutan merupakan prinsip hidup sederhana dan menjaga kelestarian alam. Salah satu masyarakat yang masih menerapkan adalah masyarakat Baduy provinsi Banten, Jawa Barat. Mereka menganggap dirinya sebagai bagian dari alam yang memanfaatkan hasil alam sebagai sumber kehidupan. Mereka menggunakan bahan-bahan alami yang ramah lingkungan sebagai pengganti produk-produk kebersihan yang dikomersilkan (Abduh et al., 2023; Sumarlina et al., 2022).

7. Prinsip Keadilan (*Justice*)

Prinsip keadilan merupakan prinsip yang menekankan kepada manusia untuk berperilaku satu sama lain dengan alam dan lingkungan dalam keterikatan. Hubungan ini mendorong tumbuhnya rasa saling memiliki dan berdampak positif bagi lingkungan. Prinsip keadilan menjelaskan tentang akses dan peluang yang sama bagi semua lapisan masyarakat baik individu ataupun kelompok untuk turut serta mengatur kebijakan pengelolaan sumber daya alam dan pelestarian alam serta ikut merasakan manfaat dari pengelolaan alam.

Keadilan distribusi sumber daya alam adalah konsep yang menekankan pentingnya distribusi yang adil dan merata dari sumber daya alam untuk memastikan kesejahteraan lingkungan dan sosial. Hal ini mengacu pada distribusi manfaat dan risiko lingkungan secara adil.

8. Prinsip Demokrasi (*Democracy*)

Prinsip demokrasi berhubungan dengan hakikat alam. Alam semesta dengan semua keanekaragamannya memiliki peran masing-masing. Dengan prinsip demokrasi justru mampu memberikan tempat seluas-luasnya bagi perbedaan dan keragaman.

Berpartisipasi dalam pengambilan keputusan terhadap kebijakan lingkungan merupakan bentuk dari demokrasi. Selain menegakkan prinsip keadilan, memerhatikan lingkungan dan menjaga keberagaman adalah bentuk kepedulian kita terhadap keberlanjutan alam.

Prinsip demokrasi juga mendorong setiap individu untuk bersuara terhadap isu-isu lingkungan. Hak suara dalam isu lingkungan dapat disalurkan melalui berbagai kegiatan, salah satu diantaranya ialah menyampaikan aspirasi di ruang terbuka. Hal ini sebagai bentuk kepedulian terhadap lingkungan dan bentuk protes kepada para pejabat publik yang kurang memerhatikan kondisi lingkungan.

9. Prinsip Integritas Moral (*Moral Integrity*)

Prinsip ini menuntut para pemangku kebijakan dan pejabat publik untuk mampu bersikap dan berperilaku menjaga serta mengamankan sumber daya alam. Sebuah kehormatan ketika para pejabat publik berhasil memberikan perhatian besarnya pada alam bukan untuk kepentingan individu maupun golongan.

Kejujuran dalam pelaporan dampak lingkungan menuntut transparansi antara pejabat publik dan masyarakat. Pejabat publik harus memastikan bahwa tindakan mereka sesuai dengan prinsip-prinsip yang mereka pegang dan mengutamakan keseimbangan ekosistem.

Dengan demikian, sembilan prinsip etika lingkungan yang telah dijelaskan diharapkan mampu menjadi pedoman bagi setiap individu dalam berinteraksi dengan lingkungan, guna mendukung pembangunan di berbagai bidang. Baik itu pembangunan berkelanjutan yang memerhatikan lingkungan hidup

atau pembangunan yang berorientasi pada keberlanjutan lingkungan. Skenario hubungan antara filsafat, logika, dan etika membentuk norma-norma dalam masyarakat yang kemudian menjadi dasar untuk mengkritisi etika lingkungan, sehingga dapat menjadi panduan dan pandangan bagi perilaku setiap individu terhadap lingkungan hidupnya.

Pentingnya Tanggung Jawab Sosial

Pengertian

Tanggung jawab sosial merupakan bentuk dari komitmen individu maupun lembaga untuk turut serta dalam meningkatkan kualitas lingkungan yang lebih bermanfaat. Tanggung jawab sosial atau *corporate social responsibility* (CSR) merupakan suatu konsep bahwa organisasi, khususnya perusahaan bertanggung jawab terhadap konsumen, karyawan, pemegang saham, komunitas dan lingkungan dalam segala aspek operasional perusahaan baik yang berdampak pada lingkungan seperti limbah, polusi, dan keamanan produk serta tenaga kerja.

Perusahaan memiliki peran besar dalam menjaga lingkungan, membentuk lingkungan yang positif serta nyaman bagi kegiatan sosial masyarakat. Oleh karena itu, implementasi CSR yang berbasis lingkungan menjadi langkah penting dalam menciptakan keberlanjutan. Strategi CSR yang berorientasi pada lingkungan meliputi,

1. Pengelolaan sumber daya secara berkelanjutan

Perusahaan diharapkan mampu menggunakan sumber daya alam dengan efisien untuk meminimalkan dampak lingkungan. Studi menunjukkan bahwa CSR tidak memiliki pengaruh besar terhadap lingkungan, tetapi memiliki korelasi

positif dengan strategi lingkungan dan inovasi hijau yang mampu meningkatkan kinerja lingkungan. Hal ini mampu membantu para eksekutif perusahaan dalam memperkuat sumber daya internal mereka, merancang strategi lingkungan hingga membuat inovasi hijau bagi lingkungan (Kraus et al., 2020).

Dalam pengelolaan sumber daya secara berkelanjutan perusahaan harus memiliki manajemen yang terstruktur, baik sumber daya manusia maupun sumber daya lingkungannya. CSR memiliki tren positif terhadap kinerja lingkungan. Interaksi timbal balik langsung dan potesi mediasi inovasi hijau dan manajemen sumber daya manusia mampu meningkatkan kinerja lingkungan (Zhou et al., 2023).

2. Pengurangan Limbah Polusi

Banyak perusahaan telah mengadopsi program daur ulang dan pengurangan emisi karbon sebagai bagian dari komitmen CSR mereka. Misalnya IKEA menerapkan pendekatan ekonomi sirkular dalam desain produknya untuk mengurangi limbah (Reike et al., 2018). PT. MHL memanfaatkan limbah kelapa sawit, seperti tandan buah kosong, untuk memproduksi pupuk organik padat dan cair. Produk mereka, GreenGrow, mampu membantu meningkatkan kesuburan dan produktivitas tanaman, serta mendukung praktik pertanian berkelanjutan.

3. Edukasi dan Pelibatan Komunitas

Program CSR yang melibatkan masyarakat lokal dalam menjaga lingkungan, seperti penanaman pohon atau pelatihan daur ulang, memberikan manfaat ganda: meningkatkan kesadaran masyarakat sekaligus melindungi ekosistem. Salah satu

contohnya ialah yang dilakukan PT. Pertamina dalam rangka menjaga lingkungan dan melestarikan ekosistem, mereka membina kelompok usaha pembuatan tempe dengan mengelola limbah tempe (Soleha et al., 2023, 2024).

Jenis-Jenis Tanggung Jawab Sosial

1. Tanggung jawab perusahaan

Perusahaan bertanggung jawab untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan melalui pengelolaan sumber daya yang berkelanjutan. Harapan besar dari tanggung jawab ini adalah perusahaan mampu memberdayakan lingkungan sekitarnya untuk lebih aktif peduli terhadap lingkungan serta mengurangi dampak lingkungan. Peran ESG (*Environmental, Social, Governance*) yang merupakan sebuah kerangka kerja mengintegrasikan tanggung jawab lingkungan, sosial, dan tata kelola dalam strategi bisnis. Dalam kerangka kerja ini, aspek lingkungan meliputi pengelolaan sumber daya, emisi karbon serta keanekaragaman hayati. Sementara pada aspek sosial meliputi hak asasi manusia, kesejahteraan karyawan dan hubungan dengan masyarakat. Tata kelola mencakup hal yang berfokus pada transparansi, akuntabilitas dan kepatuhan regulasi.

Implementasi dari ESG ini ialah dengan menentukan target keberlanjutan terhadap lingkungan, seperti pengelolaan limbah yang efektif, penggunaan energi terbarukan serta transparansi dalam pelaporan dampak lingkungan. Bursa Efek Indonesia (BEI) telah mendorong emiten untuk mengadopsi kebijakan ESG guna memastikan keberlanjutan jangka panjang, menarik investor yang peduli terhadap lingkungan, serta mematuhi regulasi internasional seperti GRI (*Global Reporting Initiative*) dan CDP (*Carbon Disclosure Project*).

Transparansi menjadi kunci bagi perusahaan untuk memastikan akuntabilitas. Perusahaan wajib melaporkan setiap kegiatan dan kinerja lingkungan dan sosial mereka secara terbuka kepada pemangku kepentingan, termasuk investor dan masyarakat. Kinerja ini meliputi pengelolaan limbah, hasil emisi karbon dan keberlanjutan lingkungan. Dengan keberkalaan laporan kinerja lingkungan perusahaan, maka reputasi perusahaan dan kepercayaan publik akan meningkat.

2. Tanggung jawab pemerintah

Dalam memenuhi kebutuhan hidupnya, masyarakat memanfaatkan sumber daya alam berupa air, tanah, udara dan sumber daya alam lainnya. Masyarakat sebagai tatanan kelompok dengan kemampuan untuk mengelola dan memberdayakan lingkungan sudah seharusnya memiliki tujuan bersama untuk merencanakan keberlanjutan alam dan lingkungannya. Kesadaran akan sumber daya yang terbatas belum bisa mendorong masyarakat untuk lebih inovatif dalam memanfaatkan sumber daya yang ada.

Pemerintah hadir untuk bertindak dalam pemenuhan kebutuhan dasar masyarakatnya. Sebagai entitas yang memiliki otoritas dan sumber daya, peran penting pemerintah adalah menjaga kelestarian lingkungan. Tanggung jawab pemerintah meliputi pembentukan kebijakan dan regulasi, seperti menyusun undang-undang lingkungan, menetapkan standar kualitas lingkungan serta memberikan insentif bagi pelaku usaha yang menjaga kelestarian lingkungan.

Di sisi lain, pemerintah memiliki kewajiban terhadap pendidikan dan sosialisasi kebijakan lingkungan. Dengan hadirnya pemerintah di sektor ini, kampanye lingkungan mulai disebar luaskan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga lingkungan. Melindungi dan melestarikan keanekaragaman hayati dan ekosistem, mengelola hutan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat tanpa merusak ekosistem serta mengelola sumber daya air secara efisien dan berkelanjutan.

3. Tanggung jawab individu

Beragkat dari konsep *sustainable development* menuju ke konsep *sustainable lifestyle* yang mengacu pada pola tindakan dan pola konsumsi seseorang yang digunakan untuk menyamakan atau membedakan diri mereka dari orang lain. Hal ini terkait dengan kemampuan memenuhi kebutuhan dasar, meningkatkan kualitas yang lebih baik, meminimalkan konsumsi dari sumber daya alam, mengurangi emisi dari limbah dan polutan dalam siklus hidup serta tidak mengancam dan membahayakan kebutuhan untuk generasi yang akan datang (Saraswati & Anityasari, 2012).

Sebagai salah satu bentuk tanggung jawab individu dalam menjaga alam dan lingkungan, *sustainable lifestyle* lebih menekankan pada gaya hidup yang sadar akan lingkungan serta menyadari konsekuensi atas pilihan yang dibuat dengan potensi negatif paling sedikit. Hal tersebut bukan hanya sekedar peduli terhadap lingkungan, tetapi juga ingin menunjukkan kepada lingkungan sekitar betapa pentingnya menjaga alam demi kesehatan dan kesejahteraan bersama (Saraswati & Anityasari, 2012).

Selain itu, partisipasi aktif dalam konservasi lingkungan perlu ditingkatkan. Kegiatan konservasi lingkungan menjadi wujud tanggung jawab individu dalam pelestarian lingkungan dan alam. Bentuk partisipasi aktif individu dalam menjaga lingkungan bisa dimulai dari hal kecil dilingkungan tempat tinggal, yaitu dengan mengelola sampah secara mandiri, menanam pohon atau tanaman buah serta mengajak teman atau tetangga untuk berkegiatan mendaur ulang sampah anorganik menjadi produk layak pakai dan layak jual.

Kesimpulan

Etika lingkungan dan tanggung jawab sosial merupakan konsep penting dalam praktik bisnis modern dengan berkontribusi langsung terhadap keberlanjutan lingkungan. Etika lingkungan mengacu pada prinsip moral yang mengatur interaksi antara manusia dan lingkungan, termasuk pengendalian limbah dan polusi, pelestarian keanekaragaman hayati serta menjaga sumber daya alam untuk tetap lestari. Dalam sudut pandang bisnis, perusahaan mampu mengintegrasikan setiap nilai-nilai yang terkandung pada etika lingkungan dalam menerapkan kinerja mereka guna meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

Prinsip etika lingkungan dalam bisnis meliputi transparansi, akuntabilitas dan keberlanjutan. Transparansi menuntut perusahaan untuk melakukan laporan yang jujur tentang dampak lingkungan dari kegiatan perusahaan. Akuntabilitas memastikan perusahaan bertanggung jawab atas keputusan yang memengaruhi ekosistem dan masyarakat. Keberlanjutan menuntut perusahaan untuk mengelola sumber daya secara efisien agar tidak merusak kemampuan dan kebutuhan generasi berikutnya.

Daftar Pustaka

- Abduh, M., Ma'arif, A. S., Ari, D., Nurmalawati, N. N., & Unaedi, R. (2023). Implementasi gaya hidup berkelanjutan masyarakat Suku Baduy Banten. *Jurnal Citizenship Virtues*, 3(2), 607–614.
- Bilqisti, B. S., Salsabila, M. S., Fitriani, A., & Aksir, R. P. (2023). Empati dan Sikap Terhadap Lingkungan dengan Perilaku Pro-Lingkungan pada Remaja Akhir. *Indonesian Psychological Research*, 5(1).
- Etika Lingkungan: Pengertian, Jenis, Prinsip, Tujuan, dan Contoh Penerapannya – Blog LindungiHutan
- Hayek, F. A. von. (2001). Tanggung jawab individu. *Jakarta: Pradya Paramitha*.
- <https://plato.stanford.edu/entries/ethics-environmental/>
- <https://www.nature.com/scitable/knowledge/environmental-ethics-96467512/#:~:text=Environmental%20ethics%20is%20a%20branch,sustain%20biodiversity%20and%20ecological%20systems.>
- <https://csr.jabarprov.go.id/page/tentang-csr>
- Keraf, A. S. (2010). *Etika lingkungan hidup*. Penerbit Buku Kompas.
- Kraus, S., Rehman, S. U., & García, F. J. S. (2020). Corporate social responsibility and environmental performance: The mediating role of environmental strategy and green innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 160, 120262.
- Limbah Sawit: Potensi Besar untuk Keberlanjutan - Menthobi Hijau Lestari
- Reike, D., Vermeulen, W. J. V., & Witjes, S. (2018). The circular economy: new or refurbished as CE 3.0?—exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 246–264.

- Saraswati, M. I. N. P., & Anityasari, M. (2012). Analisis gaya hidup berkelanjutan (sustainable lifestyle) siswa-siswi sma di surabaya dan upaya perbaikannya. *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), A561–A566.
- Soleha, S., Maretha, D. E., & Saputra, A. (2024). Potential of Eco-enzyme *Averrhoa bilimbi* L. Fruit as an Innovation in Tempeh Wastewater Treatment in Plaju District, South Sumatra. *Journal of Multidisciplinary Applied Natural Science*.
- Soleha, S., Saputra, A., Indahsari, S. R., Butar, B. B., Suhendra, A. A., Maharani, M., Harlis, H., & Kapli, H. (2023). Optimization of pH on Enzymatic Activity of Eco-Enzyme *Averrhoa bilimbi* L. in Plaju District, South Sumatra. *Jurnal Biota*, 9(2), 72–79.
- Sumarlina, E. S. N., Darsa, U. A., & Husen, I. R. (2022). SERPIHAN TERPENDAM KEARIFAN LOKAL MASYARAKAT ADAT KANEKES BADUY: SERPIHAN TERPENDAM KEARIFAN LOKAL MASYARAKAT ADAT KANEKES BADUY. *Jurnal Kajian Budaya Dan Humaniora*, 4(3), 301–309.
- Zhou, S., Tiruneh, W. A., & Legese, M. A. (2023). The effect of corporate social responsibility on environmental performance: the mediating role of green innovation and green human resource management. *International Journal of Emerging Markets*, ahead-of-print(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/IJOEM-02-2022-0211>

Profil Penulis



Tito Nurseha, M.Si.

Penulis memulai aktivitas biologinya di program studi sarjana Tadris Biologi (IAIN) UIN Raden Fatah Palembang pada tahun 2009. Setelah menyelesaikan studi sarjananya, penulis melanjutkan studi magister di Biologi FMIPA Universitas Andalas dengan konsentrasi bioproses yang diselesaikan pada tahun 2019.

Penulis memiliki kepakaran di bidang Entomologi. Untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis aktif sebagai peneliti di bidang kepakarannya tersebut. Saat ini bertugas sebagai dosen di Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang.

Email Penulis: titonurseha_uin@radenfatah.ac.id

PENDIDIKAN LINGKUNGAN HIDUP DI SEKOLAH: KURIKULUM DAN METODE PEMBELAJARAN

Nanang Purwanto, M.Pd.

UIN Sayyid Ali Rahmatullah Tulungagung

Konsep Pendidikan Lingkungan Hidup di Sekolah

Dalam Undang-undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, disebutkan bahwa lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dalam semua benda, daya, keadaan dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi kelangsungan peri kehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup yang lain. Berdasarkan penjelasan tersebut, disimpulkan bahwa Pendidikan Lingkungan Hidup adalah upaya yang dilakukan oleh pihak atau elemen masyarakat untuk mengubah perilaku dan sikap manusia sehingga ada peningkatan pengetahuan, keterampilan, dan kesadaran tentang nilai-nilai dan problematika lingkungan dan pada akhirnya hasil pemahaman digunakan dalam upaya pelestarian lingkungan.

Hal tersebut sejalan tujuan pendidikan lingkungan hidup menurut UNESCO dalam Deklarasi Tbilisi pada tahun 1977 yang menjelaskan bahwa: *“A basic aim of environmental education is to succeed in making*

individuals and communities understand the complex nature of the natural and the built environments resulting from the interaction of their biological, physical, social, economic, and cultural aspects, and acquire the knowledge, values, attitudes, and practical skills to participate in a responsible and effective way in anticipating and solving environmental problems, and in the management of the quality of the environment" (ICEE, 1977) yang berarti bahwa tujuan dasar pendidikan lingkungan adalah untuk membuat individu dan masyarakat memahami sifat kompleks lingkungan alam dan lingkungan buatan yang merupakan hasil interaksi aspek biologis, fisik, sosial, ekonomi, dan budaya, serta memperoleh pengetahuan, nilai, sikap, dan keterampilan praktis untuk berpartisipasi secara bertanggung jawab dan efektif dalam mengantisipasi dan memecahkan masalah lingkungan, dan dalam pengelolaan kualitas lingkungan.

Dalam mempersiapkan individu tersebut, salah satu upaya yang dilakukan adalah memasukkan wawasan pendidikan lingkungan pendidikan lingkungan hidup dalam kurikulum sekolah. Sekolah merupakan salah satu miniatur budaya yang didalamnya berperan sebagai pencetak individu yang cerdas, terampil dan berbudaya sesuai dengan tujuan pendidikan yang tertuang dalam kurikulum. Oleh karena itu, di sekolah harus menjadi tempat pertama yang mengajarkan pendidikan lingkungan hidup.

Terbitnya memorandum bersama antara Departemen Pendidikan dan Kebudayaan dengan Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 0142/U/1996, dan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 89/MENLH/5/1996 tentang Pembinaan dan Pengembangan Pendidikan Lingkungan Hidup, tanggal 21 Mei 1996, mendorong Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah (Dikdasmen) untuk terus

melakukan pengembangan pelaksanaan pendidikan lingkungan hidup di sekolah-sekolah antara lain melalui penataran guru, penggalakan bulan bakti lingkungan, penyiapan Buku Pedoman Pelaksanaan Pendidikan Kependudukan dan Lingkungan Hidup (PKLH) untuk Guru SD, SLTP, SMU, dan SMK, program sekolah asri, dan lain-lain. Sementara itu, LSM maupun perguruan tinggi dalam mengembangkan pendidikan lingkungan hidup melalui kegiatan seminar, sarasehan, lokakarya, penataran guru, pengembangan sarana pendidikan seperti penyusunan modul-modul integrasi, buku-buku bacaan, dan lain-lain (Sekarwinahyu, Tanpa Tahun).

Pada tanggal 5 Juli 2005, Menteri Lingkungan Hidup dan Menteri Pendidikan Nasional mengeluarkan SK bersama No. 05/VI/KB/2005 untuk pembinaan dan pengembangan pendidikan lingkungan hidup. Di dalam keputusan bersama ini, menyebutkan bahwa pendidikan lingkungan hidup harus terintegrasi dalam mata ajaran yang telah ada. Sebagai tindak lanjut dari kesepakatan tahun 2005, pada tahun 2006 Kementerian Lingkungan Hidup mengembangkan program Pendidikan Lingkungan Hidup pada jenjang pendidikan dasar dan menengah melalui program Adiwiyata. Program ini dilaksanakan di 10 sekolah di Pulau Jawa sebagai sekolah model dengan melibatkan perguruan tinggi dan LSM yang bergerak di bidang pendidikan lingkungan hidup. Dengan melaksanakan program Adiwiyata akan menciptakan warga sekolah, khususnya peserta didik yang peduli dan berbudaya lingkungan, sekaligus mendukung dan mewujudkan sumber daya manusia yang memiliki karakter bangsa terhadap perkembangan ekonomi, sosial, dan lingkungannya dalam mencapai pembangunan berkelanjutan di daerah (Sekarwinahyu, Tanpa Tahun). Selain melalui program Adiwiyata, pendidikan lingkungan hidup harus terintegrasi dalam kurikulum sekolah dengan harapan tujuan pendidikan lebih mudah tercapai.

Konsep Standar Pendidikan Lingkungan Hidup dalam Kurikulum

Pendidikan lingkungan hidup tidak hanya menyajikan pengetahuan tetapi juga melibatkan siswa dalam pengalaman belajar aktif dan pencapaian tujuan aspek afektif. Pencapaian tujuan afektif ini cukup sulit dilakukan, oleh karena itu dalam pembelajaran guru perlu memasukkan metode-metode yang memungkinkan berlangsungnya klarifikasi dan internalisasi nilai-nilai. Oleh karena itu pendidikan lingkungan hidup disajikan mulai jenjang dasar hingga menengah. Berikut ini adalah contoh kurikulum pendidikan lingkungan hidup berdasarkan tingkat kelas.

1. *Sekolah Dasar*: Fokus pada konsep lingkungan dasar seperti ekosistem, daur ulang, alam, dan bagaimana manusia memengaruhi bumi. Kegiatannya dapat meliputi jalan-jalan di alam, proyek kelas tentang pengurangan sampah, atau belajar tentang satwa liar setempat.
2. *Sekolah Menengah Pertama*: Topik diperluas hingga mencakup perubahan iklim, polusi, konservasi sumber daya, dan eksperimen sains lingkungan. Siswa dapat merancang program daur ulang, menyelidiki kualitas air setempat, atau membuat kampanye kesadaran.
3. *Sekolah Menengah Atas*: Topik yang lebih mendalam seperti pembangunan berkelanjutan, kebijakan lingkungan, konservasi keanekaragaman hayati, dan tantangan lingkungan global. Siswa dapat melakukan proyek penelitian tentang energi terbarukan atau menyelenggarakan inisiatif keberlanjutan di seluruh sekolah

Pendidikan lingkungan hidup semakin diakui sebagai komponen penting dari kurikulum pendidikan di berbagai tingkatan. Pendidikan ini bertujuan untuk menumbuhkan kesadaran dan pemahaman tentang isu-isu lingkungan hidup, mendorong perilaku proaktif terhadap keberlanjutan di kalangan siswa. Berikut ini adalah beberapa prinsip pendidikan lingkungan hidup yang tertuang dalam Deklarasi Tbilisi pada tahun 1977 (ICEE, 1977).

1. *consider the environment in its totality-natural and built, technological and social (economic, political, cultural-historical, ethical, esthetic)*, yang berarti bahwa PLH harus mempertimbangkan lingkungan secara keseluruhan alam dan buatan, teknologi dan sosial (ekonomi, politik, budaya-sejarah, etika, estetika);
2. *be a continuous lifelong process, beginning at the preschool level and continuing through all formal and nonformal stages*, yang berarti bahwa PLH harus menjadi sebuah proses seumur hidup yang berkelanjutan, dimulai pada tingkat prasekolah dan berlanjut melalui semua tahap formal dan nonformal;
3. *be interdisciplinary in its approach, drawing on the specific content of each discipline in making possible a holistic and balanced perspective*, yang berarti bahwa ilmu PLH bersifat interdisipliner dalam pendekatannya, dengan mengacu pada konten khusus dari setiap disiplin ilmu untuk memungkinkan perspektif holistik dan seimbang;
4. *examine major environmental issues from local, national, regional, and international points of view so that students receive insights into environmental conditions in other geographical areas*, yang berarti bahwa PLH harus mengkaji isu-isu lingkungan utama dari sudut pandang lokal, nasional, regional, dan

- internasional sehingga siswa memperoleh wawasan tentang kondisi lingkungan di wilayah geografis lain;
5. *focus on current and potential environmental situations while taking into account the historical perspective*, yang berarti bahwa PLH harus berfokus pada situasi lingkungan saat ini dan yang potensial dengan mempertimbangkan perspektif historis;
 6. *promote the value and necessity of local, national, and international cooperation in the prevention and solution of environmental problems*, yang berarti bahwa PLH harus mensosialisasikan nilai dan pentingnya kerja sama lokal, nasional, dan internasional dalam pencegahan dan penyelesaian masalah lingkungan;
 7. *explicitly consider environmental aspects in plans for development and growth*, yang berarti bahwa PLH secara eksplisit harus mempertimbangkan aspek lingkungan dalam rencana pembangunan dan pertumbuhan;
 8. *enable learners to have a role in planning their learning experiences and provide an opportunity for making decisions and accepting their consequences*, yang berarti bahwa PLH memungkinkan peserta didik untuk berperan dalam merencanakan pengalaman belajar mereka dan memberikan kesempatan untuk membuat keputusan dan menerima konsekuensinya;
 9. *relate environmental sensitivity, knowledge, problem-solving skills, and values clarification to every age, but with special emphasis on environmental sensitivity to the learner's own community in early years*, yang berarti bahwa isi PLH harus mengaitkan kepekaan lingkungan, pengetahuan, keterampilan memecahkan masalah, dan klarifikasi nilai untuk setiap usia, tetapi dengan penekanan khusus pada kepekaan lingkungan terhadap komunitas peserta didik sendiri di tahun-tahun awal;

10. *help learners discover the symptoms and real causes of environmental problems*, yang berarti bahwa PLH membantu peserta didik menemukan gejala dan penyebab sebenarnya dari masalah lingkungan;
11. *emphasize the complexity of environmental problems and thus the need to develop critical thinking and problem-solving skills*, yang berarti bahwa isi PLH menekankan kompleksitas masalah lingkungan dan dengan demikian kebutuhan untuk mengembangkan pemikiran kritis dan keterampilan memecahkan masalah;
12. *utilize diverse learning environments and a broad array of educational approaches to teaching, learning about and from the environment with due stress on practical activities and first-hand experience*, yang berarti bahwa PLH harus memanfaatkan lingkungan belajar yang beragam dan berbagai pendekatan pendidikan untuk mengajar, belajar tentang dan dari lingkungan dengan penekanan yang semestinya pada kegiatan praktis dan pengalaman langsung.

Prinsip-prinsip tersebut harus menjadi roh yang adaptif sesuai dengan kondisi lingkungan pembelajaran di sekolah-sekolah. Studi terbaru menyoroti berbagai pendekatan dan kerangka kerja untuk mengintegrasikan pendidikan lingkungan hidup ke dalam sistem sekolah secara efektif. Berikut ini hasil studi terbaru seputar pendidikan lingkungan hidup di sekolah.

1. *Meningkatkan Kesadaran di Kalangan Siswa.*

Sebuah studi yang dilakukan di sebuah perguruan tinggi yang meneliti kesadaran siswa tentang isu-isu pendidikan lingkungan hidup. Melalui penyebaran kuesioner, peneliti mengidentifikasi dua tema utama: pengetahuan tentang pendidikan lingkungan hidup dan kesadaran yang berorientasi pada tindakan.

Temuan tersebut menunjukkan perlunya program wajib dan pilihan di berbagai tingkatan pendidikan untuk meningkatkan kesadaran dan keterlibatan dengan isu-isu lingkungan hidup (Yodsaphon et al, 2020).

2. *Kompetensi Guru dalam Pendidikan Lingkungan Hidup.*

Penelitian yang difokuskan pada guru sekolah menengah mengungkapkan bahwa banyak guru memiliki tingkat kompetensi yang cukup dalam mengajarkan pendidikan lingkungan hidup, termasuk kesadaran dan tanggung jawab untuk pengajaran pendidikan lingkungan hidup. Studi ini mengusulkan pendekatan sistematis untuk mengembangkan keterampilan pendidikan lingkungan hidup di kalangan guru, dengan menekankan pentingnya perencanaan pelajaran terpadu yang membahas isu lingkungan setempat (Naga and Swarupa, 2018).

Kompetensi guru dalam pendidikan lingkungan hidup sangat penting untuk menumbuhkan literasi lingkungan dan mempromosikan praktik berkelanjutan di kalangan siswa. Kompetensi ini mencakup berbagai pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang harus dikembangkan oleh pendidik untuk mengajarkan konsep lingkungan secara efektif dan melibatkan siswa dalam pengalaman belajar yang bermakna. Berikut ini kompetensi guru yang wajib dikuasai saat mengajarkan pendidikan lingkungan hidup.

- a. *Pengetahuan tentang Isu Lingkungan:* Guru harus memiliki pemahaman yang kuat tentang prinsip-prinsip ekologi, isu lingkungan terkini, dan konteks sosial-politik seputar tantangan ini. Ini termasuk pengetahuan tentang ekosistem, polusi, pembangunan berkelanjutan, dan pengelolaan sumber daya (Naga and Swarupa, 2018; Kuo-Shu Yuan et al, 2017).

- b. *Keterampilan Pedagogis*: Pendidik lingkungan yang efektif harus terampil dalam berbagai metodologi pengajaran yang mendorong pembelajaran aktif. Teknik-teknik seperti pembelajaran berbasis proyek, studi kasus, dan proyek berbasis masyarakat sangat penting untuk melibatkan siswa dan meningkatkan pemahaman mereka tentang isu-isu lingkungan (Yodsaphon *et al*, 2020; Hidayatullah dan Kheryadi, 2020; Kuo-Shu Yuan *et al*, 2017).
- c. *Tanggung Jawab atas Pendidikan Lingkungan*: Guru perlu mengambil peran aktif dalam mempromosikan kesadaran dan tanggung jawab lingkungan di antara siswa. Ini melibatkan tidak hanya memberikan pengetahuan tetapi juga menginspirasi siswa untuk mengambil tindakan menuju keberlanjutan (Yodsaphon *et al*, 2020; Hidayatullah dan Kheryadi, 2020).
- d. *Penilaian dan Evaluasi*: Guru yang kompeten mampu menilai pemahaman siswa tentang konsep lingkungan melalui penilaian autentik yang mengevaluasi pengetahuan dan aplikasi praktis (Hidayatullah dan Kheryadi, 2020; Kuo-Shu Yuan *et al*, 2017).
- e. *Pengembangan Profesional Berkelanjutan*: Pelatihan dan pengembangan profesional yang berkelanjutan sangat penting bagi guru untuk tetap mengikuti praktik dan penelitian pendidikan lingkungan terkini. Ini dapat mencakup lokakarya, seminar, dan proyek kolaboratif yang meningkatkan keterampilan mengajar dan kompetensi lingkungan mereka (Naga and Swarupa, 2018; Kuo-Shu Yuan *et al*, 2017).

3. *Persepsi tentang Pendidikan Lingkungan yang Efektif*
Sebuah studi yang melibatkan guru pendidikan anak usia dini dan pendidikan dasar menilai persepsi mereka mengenai efektivitas pendidikan lingkungan hidup di sekolah. Studi ini menyoroti perlunya partisipasi aktif siswa dalam proses pembelajaran, dengan menganjurkan metodologi seperti pemecahan masalah dan pembelajaran berbasis proyek untuk memperdalam pemahaman dan komitmen siswa terhadap keberlanjutan (Judith van de Wetering *et al*, 2022).

4. *Dampak Program Pendidikan Lingkungan*

Evaluasi lain yang difokuskan pada dampak kampanye pendidikan lingkungan berbasis sekolah menunjukkan peningkatan signifikan dalam pengetahuan, sikap, dan perilaku anak-anak terhadap isu lingkungan. Hal ini menggarisbawahi potensi program pendidikan lingkungan hidup terstruktur untuk memengaruhi tidak hanya siswa tetapi juga keluarga mereka, yang mendorong gaya hidup yang lebih berkelanjutan (Mamta Garg *and* Meenu Dhiman, 2022).

Berikut ini hasil penelitian telah menunjukkan bahwa program-program ini dapat secara signifikan memengaruhi pengetahuan, sikap, dan perilaku yang terkait dengan isu-isu lingkungan.

a. *Peningkatan Kesadaran Lingkungan.* Program pendidikan lingkungan hidup yang efektif dalam memperluas pemahaman anak-anak tentang isu-isu lingkungan dan meningkatkan kesadaran mereka. Sebuah studi yang berfokus pada siswa sekolah dasar menunjukkan bahwa paparan rutin terhadap alam dan program pendidikan terstruktur berdampak positif pada hubungan

mereka dengan lingkungan dan komitmen terhadap upaya konservasi (Sajad Mohammadian, 2024).

- b. *Perubahan Perilaku*. Partisipasi dalam program pendidikan lingkungan hidup telah dikaitkan dengan perubahan positif yang signifikan dalam perilaku pro-lingkungan. Misalnya, sebuah studi yang melibatkan siswa kelas lima menunjukkan bahwa peningkatan partisipasi dalam pendidikan lingkungan menyebabkan peningkatan perilaku peduli lingkungan, dengan analisis statistik yang mengonfirmasi korelasi positif antara tingkat partisipasi dan hasil perilaku (Handayani dan Widodo, 2024).
- c. *Retensi Pengetahuan Jangka Panjang*. Program seperti *Science Camp Explore* telah menunjukkan bahwa pengalaman langsung dalam pendidikan lingkungan menghasilkan retensi pengetahuan jangka panjang tentang sistem ekologi, seperti siklus air dan pentingnya keanekaragaman hayati. Peserta melaporkan kecenderungan yang lebih besar untuk terlibat dalam tindakan yang bertanggung jawab terhadap lingkungan pasca-program (Katherine A. Grimmette, 2014).
- d. *Keterlibatan dan Perubahan Sikap*. Pendidikan lingkungan hidup dapat menumbuhkan pemikiran kritis dan keterlibatan dengan isu-isu lingkungan, yang dapat mengubah persepsi dan sikap peserta terhadap lingkungan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa ketika siswa terlibat aktif dalam mempelajari lingkungan mereka, mereka cenderung mengembangkan rasa tanggung jawab dan mengambil tindakan untuk melindunginya (Anonim, 2016; Anonim, 2023).

- e. *Mengukur Dampak*. Pengukuran dampak program pendidikan lingkungan hidup yang efektif melibatkan penilaian perolehan pengetahuan dan perubahan perilaku. Studi merekomendasikan penggunaan metode campuran, termasuk survei pra- dan pasca-program, untuk mengukur perubahan pemahaman dan sikap di antara peserta (Judith van de Wetering *et al*, 2022).
5. *Integrasi ke dalam Kerangka Pendidikan*

Integrasi pendidikan lingkungan ke dalam kerangka pendidikan yang lebih luas sangat penting untuk mendorong tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) dalam kurikulum sekolah. Hal ini melibatkan penetapan kebijakan dan sistem pendukung yang jelas di sekolah untuk memfasilitasi praktik pendidikan lingkungan hidup yang efektif (Adi Suryani *et al*, 2019).

Model Pembelajaran untuk Pendidikan Lingkungan Hidup

Pendidikan lingkungan hidup tidak sekedar memberikan wawasan seputar pengetahuan lingkungan akan tetapi juga memasukkan aspek afektif, yaitu tingkah laku, nilai, dan komitmen yang diperlukan untuk membangun masyarakat yang berkelanjutan (*sustainable*). Pencapaian tujuan afektif ini cukup sulit dilakukan, oleh karena itu dalam pembelajaran guru perlu memasukkan metode-metode yang memungkinkan berlangsungnya klarifikasi dan internalisasi nilai-nilai. Dalam Pendidikan Lingkungan Hidup perlu memberikan kesempatan kepada siswa untuk membangun keterampilan yang dapat meningkatkan kemampuan memecahkan masalah. Berikut beberapa keterampilan yang diperlukan untuk memecahkan masalah:

1. berkomunikasi: mendengarkan, berbicara di depan umum, menulis secara persuasive, desain grafis;
2. investigasi (*investigation*): merancang survei, studi pustaka, melakukan wawancara, menganalisa data;
3. keterampilan bekerja dalam kelompok (*group process*): kepemimpinan, pengambilan keputusan, dan kerja sama.
4. pendidikan lingkungan hidup dapat mempermudah pencapaian keterampilan tingkat tinggi (*higher order skill*), seperti: (1) berpikir kritis, (2) berpikir kreatif, (3) berpikir secara integratif, dan (4) memecahkan masalah.

Model pembelajaran yang efektif melibatkan aktivitas langsung, pemecahan masalah, dan kerja kolaboratif, yang sering kali terkait dengan tantangan lingkungan di dunia nyata. Berikut ini adalah model pembelajaran dan pendekatan pedagogis yang umum digunakan untuk mencapai tujuan pendidikan lingkungan hidup di sekolah-sekolah.

1. Pembelajaran Berbasis Proyek (PjBL)

Pendidikan lingkungan hidup harus menyediakan berbagai keterampilan praktis yang dibutuhkan dalam merancang dan menerapkan solusi yang efektif untuk masalah lingkungan hidup. PjBL melibatkan siswa dalam proyek dunia nyata yang memerlukan pemikiran kritis dan pemecahan masalah, dengan harapan mereka memiliki beberapa keterampilan. Model ini memungkinkan siswa secara aktif untuk mengeksplorasi seputar lingkungan, menumbuhkan pemahaman yang lebih dalam tentang konsep ekologi dan mendorong mereka untuk mengembangkan solusi (Febrianawati *et al*, 2021; Derevenskaia, 2014).

2. Pembelajaran Berbasis Masalah (PBL)

Untuk melaksanakan tugas-tugas ini, pendidikan lingkungan hidup harus menciptakan hubungan yang lebih erat antara proses pendidikan dan kehidupan nyata, membangun kegiatannya di sekitar masalah lingkungan hidup yang dihadapi oleh masyarakat tertentu dan memfokuskan analisis pada masalah-masalah tersebut melalui pendekatan interdisipliner dan komprehensif yang akan memungkinkan pemahaman yang tepat tentang masalah lingkungan hidup. PBL berfokus pada masalah dunia nyata yang kompleks. Siswa bekerja sama untuk menganalisis masalah, mengusulkan solusi, dan merefleksikan proses pembelajaran mereka. Model ini meningkatkan pemikiran kritis dan mempersiapkan siswa untuk mengatasi tantangan lingkungan secara efektif (Febrianawati *et al*, 2021; I-Gauce, 2021).

3. Pembelajaran Eksperiensial

Pembelajaran eksperiensial menekankan pengalaman langsung, seperti kunjungan lapangan, proyek layanan masyarakat, dan aktivitas luar ruangan. Terlibat langsung dengan lingkungan membantu siswa menghubungkan pengetahuan teoritis dengan aplikasi praktis, memperkuat pemahaman mereka tentang konsep lingkungan (I-Gauce, 2021; Zdravka and Emin, 2008).

4. Pembelajaran di Luar Kelas

Pendidikan di luar kelas melibatkan pengajaran di lingkungan alam, yang dapat meningkatkan apresiasi siswa terhadap alam dan pemahaman mereka tentang sistem ekologi. Model ini telah terbukti meningkatkan retensi pengetahuan dan menumbuhkan rasa tanggung jawab terhadap lingkungan (Febrianawati *et al*, 2021; I-Gauce, 2021).

5. Pembelajaran Kolaboratif

Model dan pendekatan ini mendorong siswa untuk bekerja sama dalam kelompok untuk membahas masalah lingkungan dan berbagi perspektif. Pembelajaran kolaboratif tidak hanya meningkatkan keterampilan sosial tetapi juga mendorong rasa tanggung jawab masyarakat terhadap pengelolaan lingkungan (I-Gauce, 2021; Zdravka and Emin, 2008).

6. Pembelajaran Berbasis Integrasi Teknologi

Pendekatan ini memanfaatkan alat dan sumber daya digital (film, dokumenter, dan video edukasi) dapat meningkatkan pengalaman belajar dalam pendidikan lingkungan dengan menyediakan konteks visual dan contoh nyata isu lingkungan. Teknologi seperti realitas virtual (VR) memungkinkan siswa menjelajahi ekosistem dan memahami perubahan lingkungan secara interaktif, sehingga pembelajaran menjadi lebih menarik (I-Gauce, 2021; Zdravka and Emin, 2008). Penggunaan media/teknologi juga harus disesuaikan dengan gaya belajar yang berbeda dan dapat meningkatkan keterlibatan (Febrianawati *et al*, 2021; I-Gauce, 2021).

7. Model Pembelajaran dan Pendekatan Kontekstual

Model dan pendekatan ini memiliki konsep memasukkan isu lingkungan lokal ke dalam kurikulum membantu siswa menghubungkan pembelajaran mereka dengan lingkungan sekitar. Metode ini dapat mencakup pengintegrasian kearifan dan praktik lokal ke dalam pelajaran, sehingga konten menjadi lebih relevan dan berdampak (Febrianawati *et al*, 2021; Zdravka and Emin, 2008).

Berdasarkan pemaparan materi tersebut, bahwa pendidikan lingkungan hidup yang efektif memerlukan model dengan serangkaian metode pengajaran yang beragam yang dirancang untuk melibatkan siswa secara aktif dan menumbuhkan pemikiran kritis tentang isu ekologi. Selain itu, pendidik juga dapat menumbuhkan generasi yang terinformasi, bertanggung jawab, dan proaktif dalam mengatasi tantangan lingkungan.

Daftar Pustaka

- Adi Suryani et al. (2019). Education for Environmental Sustainability: A Green School Development. *IPTEK Journal of Proceedings Series No. 6* (2019), ISSN (2354-6026).
- Anonim. (2016). *Top 10 Benefits of Environmental Education*. Project Learning Tree.
- Anonim. (2023). *Tips for Measuring Impact in Environmental Education and Outreach*. PennState Extentions.
- Derevenskaia, Olga. (2014). Active Learning Methods in Environmental Education of Students. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 131 (2014) 101–104.
- Febrianawati Yusup, Istiqamah Istiqamah, Khairunnisa Khairunnisa. (2021). Learning Methods on Environmental Education to Improve Pre-Service Teachers Environmental Literacy. *Journal of Biology Education Research (JBER)*, Vol 2, No 2 (2021).
- Handayani, J., & Widodo, A. (2024). The Impact of Student Participation in Environmental Education Programs on Pro-Environmental Behavior. *Jurnal Cakrawala Pendas*, 10(2), 215–223.
- Hidayatullah, H., & Kheryadi, K. (2020). A Design of Environmental Education for Secondary School Teachers. Tarbawi: *Jurnal Keilmuan Manajemen Pendidikan*, 6(01), 81–90.
- I-Gauce. (2021) “*Educating for Tomorrow: A Guide to Effective Strategies For Environmental Education*”.
- Intergovernmental Conference on Environmental Education (ICEE) organlied by Unesco in co-operation with UNEP Tbilisi (USSR) 74 - 26 October 1977.
- Judith van de Wetering, Patty Leijten, Jenna Spitzer, Sander Thomaes. (2022). Does environmental education benefit environmental outcomes in children and adolescents? A meta-analysis. *Journal of Environmental Psychology*, Volume 81, June 2022, 101782.

- Katherine A. Grimmette. (2014). The Impacts of Environmental Education on Youth and their Environmental Awareness. *Environmental Studies Undergraduate Student Theses*. 135.
- Kuo-Shu Yuan, Tung-Ju Wu, Hui-Bing Chen, and Yi-Bin Li. (2017). A Study on the Teachers' Professional Knowledge and Competence in Environmental Education. *EURASIA Journal of Mathematics Science and Technology Education* ISSN: 1305-8223 (online) 1305-8215 (print) 2017 13 (7):3163-3175.
- Mamta Garg and Meenu Dhiman. (2022). Impact of Environment Education in Shaping Environmental Knowledge, Concern and Behavior. *Article ResearchGate*.
- Naga, Pakala S.K and T. Swarupa Rani. (2018). A Study on Environmental Competencies of Teacher Trainees. *IJRAR- International Journal of Research and Analytical Reviews*. Volume 5, Issue 4, Oct.– Dec. 2018.
- Sajad Mohammadian. (2024). Investigating the Impact of Environmental Education on Improving the Environmental Awareness of Elementary School Students. *Power System Technology Journal*. Vol. 48 No. 3 (2024).
- Sekarwinahyu, Mestika. Tanpa Tahun. *Sejarah dan Konsep Dasar Pendidikan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Universitas Terbuka.
- Yodsaphon Wanchana, Pram Inprom, Wee Rawang and Art-ong Jumsai Na Ayudhya. (2020). Environmental Education Competency: Enhancing the Work of Teacher. *Journal of Teacher Education for Sustainability*. Volume 22: Issue 2 (December 2020).
- Zdravka Kostova1 and Emin Atasoy. (2008). Methods of Successful Learning in Environmental Education. *Journal of Theory and Practice in Education*, 2008, 4 (1): 49-78.

Profil Penulis



Nanang Purwanto, M.Pd.

Penulis merupakan lulusan Program Studi S2 Pendidikan Biologi Universitas Negeri Malang pada tahun 2013 silam. Sebelumnya penulis menyelesaikan studi S1 di prodi Pendidikan Biologi Universitas Negeri Malang Tahun 2010. Selepas lulus S2 tahun 2013, penulis melangbuana mengabdikan sekaligus berbagi ilmu di Universitas Negeri Papua Manokwari sebagai Dosen Tidak Tetap di Jurusan Pendidikan Biologi. Tahun 2014 pindah ke kota santri, Jombang tepatnya di Universitas KH. Abdul Wahab Hasbullah. Belum genap satu tahun, pindah tugas mengajar di IAIN Tulungagung (sekarang menjadi UIN Sayyid Ali Rahmatullah Tulungagung) hingga saat ini. Di Program Studi Tadris Biologi penulis sebagai dosen untuk matakuliah-matakuliah pendidikan, seperti MK Strategi Belajar Mengajar Biologi, Perencanaan Pembelajaran IPA dan Biologi, Pengembangan Bahan Ajar Biologi dll. Sebagai dosen yang profesional, selain aktif mengajar, penulis pun aktif sebagai peneliti. Penelitian secara mandiri dan penelitian yang didanai oleh internal perguruan tinggi. Selain meneliti, penulis juga aktif sebagai penulis dan reviewer artikel jurnal serta penulis buku dengan harapan memberikan sedikit kontribusi dalam hal perkembangan pengetahuan khususnya di bidang pendidikan dan pembelajaran biologi.

Email Penulis: nanangpurwanto@uinsatu.ac.id

PENDIDIKAN LINGKUNGAN HIDUP DI MASYARAKAT: PROGRAM DAN INISIATIF

Anita Restu Puji Raharjeng, M.Si., M.BioMed.Sc.
UIN Raden Fatah Palembang

Permasalahan lingkungan hidup menjadi isu krusial di berbagai belahan dunia. Seiring dengan meningkatnya aktivitas manusia yang eksploitatif, dampak negatif terhadap lingkungan seperti perubahan iklim, deforestasi, pencemaran udara dan air, serta penurunan keanekaragaman hayati kian terasa. Di Indonesia, permasalahan ini menjadi perhatian serius mengingat negara ini memiliki keanekaragaman hayati yang sangat tinggi serta ekosistem hutan yang luas, namun menghadapi ancaman besar akibat praktik yang tidak berkelanjutan.

Di tengah berbagai tantangan lingkungan, muncul kesadaran bahwa pendidikan lingkungan hidup merupakan salah satu kunci penting dalam membangun masyarakat yang peduli dan bertindak pro-lingkungan. Pendidikan lingkungan hidup bertujuan untuk mengubah sikap dan perilaku masyarakat dengan memberikan pemahaman tentang pentingnya menjaga keberlanjutan sumber daya alam. Oleh karena itu, diperlukan program dan inisiatif yang mengintegrasikan nilai-nilai pelestarian lingkungan ke dalam kehidupan sehari-hari masyarakat.

Pendidikan lingkungan hidup sangat penting dan bermanfaat, tidak hanya untuk memberikan informasi, tetapi juga mengajarkan keterampilan untuk membuat keputusan yang berdampak positif pada lingkungan. Dalam jangka panjang, pendidikan lingkungan hidup diharapkan dapat menghasilkan masyarakat yang mampu bertindak sebagai agen perubahan, baik melalui tindakan individu maupun kolektif, dalam melestarikan lingkungan. Manfaat ini penting untuk memastikan keseimbangan antara kebutuhan manusia dengan keberlanjutan alam.

Pendidikan lingkungan hidup didefinisikan sebagai suatu proses pembelajaran yang bertujuan untuk membangun, mengembangkan, memberikan pemahaman, memberikan keterampilan, dan nilai-nilai yang diperlukan dalam melestarikan dan memperbaiki kualitas lingkungan hidup dan segala masalah yang berkaitan dengannya (Marliani, 2015). Menurut UNESCO, pendidikan lingkungan hidup harus mencakup komponen pengetahuan, kesadaran, sikap, keterampilan, dan partisipasi masyarakat untuk menciptakan perubahan positif terhadap lingkungan (Hungerford dan Peyton, 1986).

Pendidikan lingkungan hidup berperan dalam memperkuat kemampuan masyarakat untuk menghadapi tantangan lingkungan global. Dengan memahami kompleksitas isu lingkungan dan keterkaitannya dengan kesejahteraan manusia, masyarakat dapat mengadopsi perilaku yang lebih ramah lingkungan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa masyarakat yang telah mendapatkan pendidikan lingkungan cenderung lebih peduli dan aktif dalam inisiatif pelestarian lingkungan.

Teori dan Model Pendidikan Lingkungan

Pendidikan lingkungan hidup memanfaatkan beberapa model pembelajaran seperti:

1. Pendekatan Berbasis Aksi (*Action-Based Learning*): Model ini menekankan pada partisipasi langsung masyarakat dalam kegiatan pelestarian lingkungan, seperti penanaman pohon atau pengelolaan sampah, serta pelestarian daerah aliran sungai untuk mencegah banjir (Adams, 2013; Williams et al., 2017; Gamage, 2021).
2. Pembelajaran Berbasis Pengalaman (*Experiential Learning*): Pembelajaran ini mengutamakan pengalaman langsung dalam alam, yang bertujuan untuk membangun hubungan emosional antara individu dengan lingkungan (Jose et al., 2017; Cincera et al., 2020; Moseley et al., 2020).
3. Pendekatan Partisipatif: Model ini melibatkan masyarakat dalam merencanakan dan melaksanakan kegiatan, sehingga membangun rasa memiliki dan tanggung jawab terhadap lingkungan, misalnya terhadap pembelajaran tentang *climate change*, tentang bercocok tanam di sawah, dan membuang sampah sesuai dengan jenis sampah (Sauve and Godmire, 2004; Ferkany and Whyte, 2012; Ohman and Ohman, 2013).

Pentingnya Program Pendidikan Lingkungan di Masyarakat

Pendidikan lingkungan hidup di masyarakat memiliki peran yang sangat penting dalam membentuk kesadaran dan perilaku masyarakat terhadap isu-isu lingkungan. Pendidikan ini menjadi krusial terutama dalam menghadapi berbagai tantangan lingkungan yang semakin kompleks, seperti perubahan iklim, pencemaran, penurunan keanekaragaman hayati, dan pengelolaan limbah yang kurang efektif. Program pendidikan lingkungan di masyarakat berupaya memberikan pemahaman yang mendalam tentang pentingnya menjaga

keseimbangan ekosistem dan mendorong tindakan pro-lingkungan dalam kehidupan sehari-hari. Berikut adalah beberapa alasan pentingnya program pendidikan lingkungan hidup di masyarakat (Braus and Wood, 1993):

1. Meningkatkan Kesadaran Lingkungan

Banyak masyarakat yang belum memahami dampak aktivitas sehari-hari mereka terhadap lingkungan. Program pendidikan lingkungan membantu meningkatkan kesadaran masyarakat akan masalah-masalah lingkungan yang ada di sekitar mereka, mulai dari pencemaran udara hingga penanganan sampah. Dengan memahami konsekuensi dari tindakan mereka, masyarakat cenderung menjadi lebih peduli dan berusaha mengurangi dampak negatifnya.

2. Mengubah Pola Pikir dan Perilaku

Pendidikan lingkungan hidup tidak hanya bertujuan untuk menyampaikan informasi, tetapi juga untuk membentuk pola pikir dan perilaku yang berkelanjutan. Melalui pendidikan ini, masyarakat diajak untuk lebih bijak dalam menggunakan sumber daya alam dan lebih bertanggung jawab dalam mengelola limbah. Perubahan pola pikir ini diharapkan dapat mendorong masyarakat untuk menerapkan praktik-praktik yang ramah lingkungan dalam kehidupan sehari-hari, seperti mengurangi penggunaan plastik sekali pakai atau memilih produk yang ramah lingkungan.

3. Mendorong Partisipasi Aktif dalam Pelestarian Lingkungan

Program pendidikan lingkungan hidup juga berfungsi sebagai sarana untuk mengajak masyarakat berpartisipasi aktif dalam kegiatan pelestarian

lingkungan. Kegiatan seperti penanaman pohon, pengelolaan sampah mandiri, dan pelatihan daur ulang dapat melibatkan masyarakat secara langsung, sehingga mereka tidak hanya menjadi penonton, tetapi juga pelaku utama dalam upaya pelestarian lingkungan.

4. Menanamkan Nilai-Nilai Keberlanjutan Sejak Dini

Pendidikan lingkungan hidup yang dimulai sejak dini akan menanamkan nilai-nilai keberlanjutan kepada generasi muda. Dengan begitu, mereka tumbuh dengan kesadaran akan pentingnya menjaga lingkungan dan menjadi agen perubahan di masa depan. Pendidikan ini juga berkontribusi dalam membangun karakter yang peduli terhadap lingkungan, sehingga nilai-nilai tersebut akan tertanam dan diteruskan dari generasi ke generasi.

5. Mengurangi Dampak Lingkungan Secara Kolektif

Ketika masyarakat secara kolektif memahami pentingnya menjaga lingkungan, mereka dapat bekerja sama dalam melakukan tindakan yang berdampak positif. Misalnya, masyarakat yang sadar lingkungan akan mendukung pengelolaan limbah secara mandiri, mengurangi pemborosan energi, dan mendukung kebijakan pemerintah yang pro-lingkungan. Efek kolektif dari pendidikan ini sangat besar dalam membantu menjaga keseimbangan lingkungan secara luas.

6. Mendukung Kebijakan dan Program Pemerintah dalam Pelestarian Lingkungan

Pendidikan lingkungan hidup di masyarakat dapat menjadi dukungan penting bagi kebijakan pemerintah dalam pelestarian lingkungan. Program-program pemerintah, seperti pengurangan emisi karbon,

konservasi keanekaragaman hayati, dan pengelolaan sampah, akan lebih mudah dijalankan jika masyarakat memiliki kesadaran dan pemahaman yang baik mengenai isu lingkungan. Dukungan masyarakat akan menjadi kekuatan besar dalam implementasi kebijakan-kebijakan ini.

7. Menyiapkan Masyarakat untuk Menghadapi Tantangan Lingkungan di Masa Depan

Dunia menghadapi berbagai tantangan lingkungan yang semakin kompleks. Pendidikan lingkungan hidup membantu masyarakat untuk bersiap menghadapi tantangan tersebut dengan memberikan pengetahuan dan keterampilan yang relevan. Masyarakat yang teredukasi akan lebih mudah beradaptasi dengan perubahan dan mampu berkontribusi dalam mencari solusi yang berkelanjutan.

Keberhasilan dan Tantangan Program Pendidikan Lingkungan di Masyarakat

Faktor Keberhasilan Program

Keberhasilan program pendidikan lingkungan di masyarakat dapat diukur dari tingkat pemahaman dan partisipasi aktif masyarakat dalam berbagai kegiatan pro-lingkungan (Annafi et al., 2023). Beberapa faktor yang mendukung keberhasilan program pendidikan lingkungan antara lain:

1. Keterlibatan Aktif Masyarakat

Program yang melibatkan masyarakat secara langsung dan memungkinkan partisipasi aktif cenderung berhasil karena meningkatkan rasa memiliki dan tanggung jawab terhadap lingkungan. Misalnya, program bank sampah yang melibatkan masyarakat dalam pengumpulan, pemilahan, dan

pengelolaan sampah rumah tangga telah menunjukkan hasil positif di berbagai daerah. Contoh programnya adalah Forum Bank Sampah Kota Yogyakarta

<https://forumbs.jogjakota.go.id/page/index/program-kerja>, Ternate My Darling

<https://gamalamanews.com/2017/01/24/bank-sampah-dan-biopori-diresmikan-walikota-ternate/>, dan lain lain.

2. Konsistensi dan Keberlanjutan Program

Program yang berkelanjutan dan konsisten mampu menjaga minat masyarakat serta memastikan bahwa pengetahuan dan keterampilan yang diajarkan tetap terasah. Misalnya, kampanye pelestarian lingkungan yang dilakukan secara periodik, seperti kegiatan penghijauan tahunan, membantu memperkuat komitmen masyarakat untuk menjaga lingkungan. Contoh program nyatanya adalah Surabaya Green and Clean yang telah berlangsung selama bertahun-tahun (Prasetyo et al., 2019); Kegiatan rutin rawat tanam mangrove dan beach clean up di Tangerang <https://econusa.id/id/galeri/kegiatan-rutin-rawat-tanam-mangrove-dan-beach-clean-up-di-tanjung-pasir/>, dan program program lain.

3. Dukungan Teknologi dan Media Sosial

Pemanfaatan teknologi dan media sosial mempermudah penyebaran informasi dan memperluas jangkauan program pendidikan lingkungan. Contohnya, kampanye online untuk mengurangi sampah plastik dan mengajak masyarakat untuk beralih ke gaya hidup *zero-waste* menjadi populer dan efektif di kalangan generasi muda. Aksi nyatanya adalah adanya aplikasi bank sampah online <https://banksampah.id/>, aplikasi

untuk penanaman mangrove
<https://kesemat.or.id/2024/06/25/gunakan-aplikasi-karlon-kesemat-implementator-program-penanaman-dan-pemantauan-mangrove-dari-mangrove-tag-jejakin-dan-gojek-di-pantai-utara-jawa-tengah/> dan lain lain.



Gambar 12.1. Mahasiswi menanam mangrove di pesisir pantai sumatra selatan

Tantangan dalam Pelaksanaan Program

Program pendidikan lingkungan sering kali menghadapi berbagai tantangan yang dapat menghambat efektivitasnya. Tantangan-tantangan tersebut antara lain:

1. Kurangnya Pendanaan

Pendanaan yang terbatas menjadi hambatan utama dalam pelaksanaan program pendidikan lingkungan, terutama di daerah yang kurang berkembang. Kegiatan lingkungan sering kali membutuhkan anggaran untuk penyediaan fasilitas, pelatihan, dan peralatan. Keterbatasan anggaran ini membuat banyak program lingkungan sulit untuk dijalankan secara optimal atau berkelanjutan.

2. Minimnya Dukungan Pemerintah

Dukungan pemerintah dalam bentuk regulasi atau fasilitas pendukung sangat diperlukan agar program pendidikan lingkungan dapat terlaksana secara maksimal. Di beberapa daerah, kurangnya dukungan dari pemerintah lokal menyebabkan program-program ini tidak terimplementasi dengan baik. Selain itu, regulasi yang tidak tegas dalam menangani isu lingkungan juga mengurangi motivasi masyarakat untuk berpartisipasi aktif.

3. Resistensi atau Ketidakpedulian Masyarakat

Sebagian masyarakat masih belum menyadari urgensi pendidikan lingkungan atau menganggap isu lingkungan bukan prioritas. Sikap ini, baik disebabkan oleh kurangnya informasi maupun adanya kebiasaan yang sulit diubah, menghambat pelaksanaan program. Misalnya, masih banyak masyarakat yang enggan mengurangi penggunaan plastik atau memilah sampah karena anggapan bahwa aktivitas tersebut merepotkan.

4. Keterbatasan Pengetahuan dan Sumber Daya

Kurangnya pengetahuan dan keterampilan tenaga pelaksana program, seperti fasilitator lingkungan, juga menjadi tantangan. Banyak program yang membutuhkan instruktur atau pelatih yang kompeten untuk menyampaikan materi pendidikan lingkungan. Tanpa tenaga yang terlatih, penyampaian informasi bisa kurang efektif.

Peran Pemerintah, NGO, dan Sektor Swasta dalam Pendidikan Lingkungan di Masyarakat

Pendidikan lingkungan yang efektif memerlukan kolaborasi antara berbagai pihak, yaitu pemerintah, organisasi non-pemerintah (NGO), dan sektor swasta.

Setiap pihak memiliki peran dan kontribusi yang berbeda, namun saling melengkapi dalam mendukung upaya pendidikan lingkungan di masyarakat.

Peran Pemerintah

Pemerintah memiliki peran penting dalam menciptakan regulasi dan kebijakan yang mendukung pendidikan lingkungan. Beberapa kontribusi pemerintah yang penting meliputi:

1. Membuat Regulasi dan Kebijakan Lingkungan

Pemerintah dapat menciptakan regulasi yang mendukung program lingkungan, seperti larangan penggunaan plastik sekali pakai atau insentif untuk pengelolaan limbah. Kebijakan ini dapat mempengaruhi perilaku masyarakat secara luas dan menciptakan lingkungan yang mendukung praktik-praktik ramah lingkungan.

2. Menyediakan Dana dan Infrastruktur

Pemerintah juga diharapkan memberikan dana dan infrastruktur yang diperlukan, seperti tempat pengelolaan sampah yang memadai, fasilitas daur ulang, atau ruang terbuka hijau. Selain itu, pemerintah dapat memberikan bantuan finansial atau hibah untuk komunitas yang menjalankan program lingkungan.

3. Menyelenggarakan Program Pendidikan di Sekolah dan Komunitas

Program pendidikan lingkungan dapat diintegrasikan dalam kurikulum sekolah atau sebagai kegiatan komunitas. Pemerintah dapat mengadakan pelatihan untuk guru dan komunitas agar mereka dapat mengajarkan pengetahuan dan keterampilan lingkungan dengan lebih efektif.

Peran NGO (Organisasi Non-Pemerintah)

Organisasi non-pemerintah berperan penting sebagai agen pelaksana yang mengedukasi masyarakat secara langsung. Beberapa peran NGO dalam pendidikan lingkungan meliputi:

1. Melaksanakan Program Pendidikan dan Kampanye Lingkungan

NGO sering kali terlibat langsung dalam kampanye dan kegiatan pelestarian lingkungan, seperti penanaman pohon atau program edukasi untuk anak-anak sekolah. NGO dapat membantu menjangkau masyarakat yang sulit dijangkau oleh program pemerintah.

2. Memberikan Pelatihan dan Keterampilan Lingkungan

Banyak NGO yang mengadakan pelatihan keterampilan, seperti pengelolaan sampah atau pembuatan produk daur ulang. Pelatihan ini meningkatkan kapasitas masyarakat dan menciptakan peluang ekonomi dari kegiatan ramah lingkungan.

3. Mengadvokasi Kebijakan Lingkungan

NGO juga berperan dalam advokasi kebijakan lingkungan dengan menggalang dukungan masyarakat atau bekerja sama dengan pemerintah untuk menciptakan kebijakan yang lebih baik dan berkelanjutan.

Peran Sektor Swasta

Sektor swasta dapat memberikan dukungan finansial, sumber daya, dan inovasi untuk mendukung pendidikan lingkungan. Peran sektor swasta dapat mencakup:

1. Menyediakan Dana dan Sponsor untuk Program Lingkungan

Banyak perusahaan yang mendanai program lingkungan sebagai bagian dari tanggung jawab sosial perusahaan (CSR). Dana ini bisa digunakan untuk berbagai program seperti penanaman pohon, pengelolaan sampah, dan program edukasi lingkungan di sekolah-sekolah.

2. Mengembangkan Teknologi Ramah Lingkungan

Sektor swasta, terutama perusahaan di bidang teknologi dan energi, dapat mengembangkan inovasi yang mendukung pengelolaan lingkungan, seperti teknologi daur ulang, energi terbarukan, atau bahan baku yang ramah lingkungan.

3. Kolaborasi dengan Pemerintah dan NGO

Perusahaan dapat bekerja sama dengan pemerintah dan NGO dalam pelaksanaan program lingkungan, seperti penghijauan atau pengurangan sampah plastik. Kolaborasi ini memperkuat dampak program karena melibatkan lebih banyak pihak yang memiliki berbagai sumber daya dan keahlian.

Contoh Kolaborasi Antara Pemerintah dan Komunitas

Salah satu contoh kolaborasi yang sukses adalah program penghijauan yang melibatkan pemerintah, komunitas lokal, dan sektor swasta. Di beberapa daerah, pemerintah menyediakan lahan dan bibit tanaman, sementara komunitas bertanggung jawab dalam perawatan tanaman tersebut. Sektor swasta bisa mendukung dengan menyediakan dana atau mengadakan program CSR untuk merawat hutan kota.

Kesimpulan

Pendidikan lingkungan hidup di masyarakat menjadi elemen penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan menghadapi berbagai tantangan lingkungan yang semakin kompleks. Dengan memahami isu-isu lingkungan seperti perubahan iklim, pencemaran, dan penurunan keanekaragaman hayati, masyarakat dapat mengadopsi perilaku yang lebih ramah lingkungan, baik secara individu maupun kolektif. Pendidikan ini berfungsi bukan hanya sebagai sarana informasi, tetapi juga sebagai media pembentukan sikap, keterampilan, dan nilai keberlanjutan yang akan mempengaruhi generasi mendatang.

Program pendidikan lingkungan yang melibatkan aksi langsung, pengalaman, dan partisipasi masyarakat terbukti mampu meningkatkan kesadaran dan keterlibatan masyarakat dalam melestarikan lingkungan. Program ini memerlukan dukungan dari berbagai pihak—termasuk pemerintah, organisasi non-pemerintah, dan sektor swasta—untuk mencapai efektivitas dan keberlanjutan. Keberhasilan program pendidikan lingkungan bergantung pada konsistensi, keterlibatan masyarakat, serta dukungan infrastruktur dan pendanaan yang memadai.

Di sisi lain, tantangan seperti keterbatasan dana, minimnya dukungan pemerintah, dan resistensi masyarakat masih perlu diatasi agar program-program pendidikan lingkungan dapat berdampak luas. Dengan kolaborasi yang efektif dan dukungan dari semua lapisan masyarakat, pendidikan lingkungan hidup akan membentuk masyarakat yang lebih peduli, bertanggung jawab, dan siap menghadapi tantangan lingkungan di masa depan.

Daftar Pustaka

- Adams, T. R. (2013). Overcoming barriers to teaching action-based Environmental Education: A multiple case study of teachers in the public school classroom.
- Annafi, N., Lukman, L., Khairunnas, K., Mutmainah, S., Fathir, F., & Alamin, Z. (2023). PENINGKATAN KESADARAN DAN PARTISIPASI MASYARAKAT MELALUI PELATIHAN PENGELOLAAN SAMPAH. *Taroa: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(2), 91-101.
- Braus, J., & Wood, D. (1993). *Environmental education in the schools: creating a program that works!* (Vol. 2). North American Association for Environmental Education.
- Cincera, J., Johnson, B., & Kroufek, R. (2020). Outdoor environmental education programme leaders' theories of experiential learning. *Cambridge Journal of Education*, 50(6), 729-745.
- Ferkany, M., & Whyte, K. P. (2012). The importance of participatory virtues in the future of environmental education. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 25, 419-434.
- Gamage, S. (2021). Environmental education for sustainability: Environment literacy and action-oriented teaching. In *Environment and Sustainable Development* (pp. 31-49). Routledge India.
- <https://banksampah.id/>
- <https://econusa.id/id/galeri/kegiatan-rutin-rawat-tanam-mangrove-dan-beach-clean-up-di-tanjung-pasir/>,
- <https://forumbs.jogjakota.go.id/page/index/program-kerja>,
- <https://gamalamanews.com/2017/01/24/bank-sampah-dan-biopori-diresmikan-walikota-ternate/>,

- <https://kesemat.or.id/2024/06/25/gunakan-aplikasi-karlon-kesemat-implementator-program-penanaman-dan-pemantauan-mangrove-dari-mangrove-tag-jejakin-dan-gojek-di-pantai-utara-jawa-tengah/>
- Hungerford, H. R., & Peyton, R. B. (1986). Procedures for Developing an Environmental Education Curriculum. A Discussion Guide for UNESCO Training Seminars on Environmental Education. Environmental Educational Series 22.
- Jose, S., Patrick, P. G., & Moseley, C. (2017). Experiential learning theory: the importance of outdoor classrooms in environmental education. *International Journal of Science Education, Part B*, 7(3), 269-284.
- Marliani, N. (2015). Pemanfaatan limbah rumah tangga (sampah anorganik) sebagai bentuk implementasi dari pendidikan lingkungan hidup. *Formatif: Jurnal Ilmiah Pendidikan MIPA*, 4(2).
- Moseley, C., Summerford, H., Paschke, M., Parks, C., & Utley, J. (2020). Road to collaboration: Experiential learning theory as a framework for environmental education program development. *Applied Environmental Education & Communication*, 19(3), 238-258.
- Öhman, J., & Öhman, M. (2013). Participatory approach in practice: An analysis of student discussions about climate change. *Environmental Education Research*, 19(3), 324-341.
- Prasetyo, W. H., Kamarudin, K. R., & Dewantara, J. A. (2019). Surabaya green and clean: Protecting urban environment through civic engagement community. *Journal of Human Behavior in the Social Environment*, 29(8), 997-1014. <https://doi.org/10.1080/10911359.2019.1642821>
- Sauvé, L., & Godmaire, H. (2004). Environmental health education: A participatory holistic approach. *EcoHealth*, 1(Suppl 2), SU35-SU46.

Williams, S., McEwen, L. J., & Quinn, N. (2017). As the climate changes: Intergenerational action-based learning in relation to flood education. *The Journal of Environmental Education*, 48(3), 154-171.

Profil Penulis



Anita Restu Puji Raharjeng, M.Si., M.BioMed.Sc.

Ketertarikan penulis terhadap bidang ilmu biologi dimulai pada tahun 2002, yang membawanya untuk masuk ke jurusan Biologi Universitas Negeri Malang. Setelah lulus S1, penulis melanjutkan S2 di Universitas Brawijaya dengan konsentrasi Bioteknologi Molekuler. Setelah menyelesaikan S2 pertamanya, penulis melanjutkan pendidikan S2 kembali di Australia, tepatnya di James Cook University, pada Fakultas Kedokteran dengan jurusan Biomedical Science dengan konsentrasi Ilmu Nuklir. Penulis kemudian melanjutkan studi S3 di Universitas Gadjah Mada jurusan Biologi.

Penulis memiliki kepakaran di bidang Biomedical Science. Untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis aktif sebagai peneliti di bidang kepakarannya tersebut. Beberapa penelitian yang dilakukannya didanai oleh internal perguruan tinggi dan juga Kemenristek DIKTI. Penulis telah banyak melakukan penelitian dengan kolaborasi baik di dalam maupun di luar negeri. Rekam jejak penulisan karya ilmiahnya dapat dicek di Google Scholar dengan ID <https://scholar.google.co.id/citations?user=iRp3uCAAAAAJ&hl=en>, Scopus ID: 57205056103, Sinta DI: 6023919 dan ORCID id: <https://orcid.org/0000-0002-8308-4574> Selain sebagai peneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara yang tercinta ini. Pada tahun 2024, penulis meraih juara 1 Lomba Karya Tulis Ilmiah (LKTI) internasional yang diadakan oleh Persatuan Pelajar Indonesia di Malaysia (PPI Malaysia), dan pada tahun 2015 penulis juga pernah memenangkan lomba menulis bidang kehutanan yang diselenggarakan secara nasional oleh Balai Penelitian Daerah Aliran Sungai MUSI Sumsel.

Email Penulis: anitaraharjeng_uin@radenfatah.ac.id.

TEKNOLOGI DAN INOVASI DALAM PERLINDUNGAN LINGKUNGAN

Goreta, S.Pd., M.Pd.
STIKPAR Toraja

Pendahuluan

Polusi, limbah, dan budaya membuang merupakan bentuk pencemaran lingkungan yang dialami setiap hari. Terkena polusi udara mengakibatkan berbagai masalah kesehatan, bahkan menyebabkan kematian. Limbah berbahaya, baik limbah industri maupun produk kimia yang tidak dapat diurai oleh proses biologis. Budaya membuang barang yang cepat disingkirkan menjadi sampah tanpa mendaur ulang. Di tengah meningkatnya tantangan lingkungan global yang disebabkan pencemaran lingkungan, seperti perubahan iklim yang berdampak pada pemanasan global, polusi dan penurunan keanekaragaman hayati, teknologi dan inovasi memainkan peranan yang semakin krusial dalam upaya perlindungan lingkungan. “Teknosains yang diarahkan dengan baik, dapat menghasilkan sarana yang sungguh berharga untuk meningkatkan kualitas hidup manusia, mulai dari peralatan rumah tangga yang bermanfaat hingga sarana-sarana transportasi besar, jembatan-jembatan, bangunan-bangunan, serta ruang-ruang publik; teknosains juga mampu menghasilkan hal-hal yang indah dan membantu manusia yang tenggelam

dalam dunia materi untuk melompat ke dalam dunia kesenian; namun harus juga diakui bahwa energi nuklir, bioteknologi, teknologi informatika dan pengetahuan serta kemampuan-kemampuan yang diperoleh karena itu telah memberi kita kekuasaan dahsyat, dan tidak ada jaminan bahwa itu akan selalu digunakan dengan baik” (Fransiskus, 2015, p. 66). Penggalan kalimat tersebut merupakan salah satu butir yang terdapat dalam Ensiklik *Laudato Si’* yang dikeluarkan oleh Paus Fransiskus, Pimpinan Tertinggi Tahta Suci Vatikan sebagai bentuk respon atas realitas yang terkait dengan lingkungan hidup. Teknosains yang diarahkan dengan baik, kemajuan dan perkembangan teknologi yang digunakan dengan baik dan memperhatikan keberlangsungan hidup alam semesta dan segala makhluk di dalamnya merupakan hal baik yang dibutuhkan sebagai tanggapan sikap atas pencemaran lingkungan sebagai bumi kita bersama dengan semua makhluk. Memanfaatkan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang diarahkan dengan baik, dengan kesadaran dan perilaku baik, kita dapat menciptakan lingkungan hidup berkelanjutan, meningkatkan efisiensi sumber daya dan mengurangi dampak negatif terhadap bumi kita. Tulisan ini akan mengeksplorasi berbagai teknologi & inovasi yang sedang berkembang serta dampaknya terhadap upaya perlindungan lingkungan, sekaligus menawarkan upaya menanamkan kesadaran dan kecintaan kepada lingkungan, dengan harapan dapat memberikan wawasan tentang potensi besar teknologi & dalam menciptakan masa depan bumi yang lebih hijau, sekaligus kecintaan kepada lingkungan hidup.

Teknologi & Inovasi Perlindungan Lingkungan

Teknologi modern dapat membantu perlindungan lingkungan dan kehidupan berkelanjutan, walaupun sebagian besar berbenturan dengan upaya perlindungan

lingkungan. Mengutip Charlie Fletcher (<https://earth.org/green-technological-innovations/>), ada beberapa teknologi yang dapat membantu bersinergi dengan lingkungan, antara lain:

Teknologi 5G

Teknologi 5G adalah singkatan dari fifth generation atau generasi kelima dari jaringan seluler, sebagai pengembangan dari 4G yang sudah ada sebelumnya, dengan kecepatan unduh dan unggah yang sangat cepat, mendukung berbagai aplikasi dan layanan dengan koneksi internet yang stabil dan responsif. Teknologi ini dapat mendukung kinerja jarak jauh dan mengurangi jumlah mobil di jalan. Akses ke web melalui 5G, menciptakan pekerjaan dari mana saja dan tidak perlu melakukan perjalanan dengan antrian kendaraan yang menghasilkan emisi karbon. Teknologi 5G dapat diterapkan diberbagai sektor (Mustakim, 2019, p. 26-36; Sadri, 2024) seperti:

1. Sektor pertanian, seperti penggunaan sensor dan aktuator untuk mengukur kondisi tanah, cuaca, dan pertumbuhan tanaman.
2. Automotif, mendukung sistem transportasi cerdas yang memungkinkan terjadinya komunikasi antar kendaraan dan infrastruktur yang ada di sekitarnya.
3. Konstruksi dan bangunan, seperti penggunaan sensor dan aktuator yang terintegrasi dengan antena untuk monitoring perangkat dan menghemat energi.
4. Energi, untuk monitoring , kontrol beban daya dan konsumsi energi yang efisien.
5. Keuangan, pemanfaatan untuk sistem perbankan, transaksi keuangan dan transaksi belanja online.

6. Kesehatan, pemanfaatan komunikasi nirkabel untuk monitoring kesehatan pasien yang terhubung dengan rumah sakit.
7. Manufaktur, pemanfaatan untuk tugas teknis dan proses kontrol pabrik dapat dilakukan lebih efisien dan akurat.
8. Media, penggunaan video pemberitaan dengan resolusi tinggi akan memberikan pengalaman yang bagus.
9. Keamanan publik, beberapa instansi seperti kepolisian, pemadam kebakaran, petugas penanggulangan bencana membutuhkan kehandalan jaringan untuk menangani berbagai permasalahan dan ancaman.
10. Retail, pemanfaatan untuk mendukung layanan toko online, jasa transportasi, pemesanan penginapan, dan transaksi lain.
11. Transportasi dan logistik, pemanfaatan untuk membantu fungsi infrastruktur dan komunikasi pada jaringan kereta api, jalan raya, dan proses pengiriman logistik.
12. Industri lain, pemanfaatan jaringan 5G pada pesawat terbang, pertahanan, pertambangan, dll. akan sangat mendukung efektivitas, efisiensi, dan produktivitas.

Selain bidang yang telah disebutkan di atas, pemanfaatan teknologi 5G dalam bidang pendidikan menghadirkan potensi besar untuk merevolusi pembelajaran dan metode pengajaran. Akses lebih cepat ke konten pembelajaran, mendukung pembelajaran jarak jauh dan meningkatkan pengalaman belajar secara keseluruhan. Penggunaan teknologi *virtual reality* dan *augmented reality* memungkinkan pengalaman belajar imersif dan praktik interaktif yang tidak bisa dilakukan di ruang kelas

tradisional. Pengajaran berbasis IoT dapat menciptakan ruang kelas pintar, seperti papan tulis interaktif, sistem penilaian otomatis, dan pemantauan kehadiran siswa secara real-time, mengoptimalkan manajemen fasilitas, keamanan dan energi di lingkungan sekolah. Pembelajaran berbasis *Cloud* dan AI menjadi lebih efisien dan memungkinkan integrasi teknologi AI untuk analisa data siswa dan personalisasi pembelajaran.

Dengan kapasitas besar dan koneksi yang lebih baik, cepat, efisien dan handal, teknologi 5G mendukung solusi digital yang berkontribusi terhadap pengelolaan sumber daya dan keberlanjutan lingkungan. 5G dirancang untuk lebih hemat energi; pemantauan lingkungan real-time dengan keakuratan data; pengelolaan *smart city* (transportasi, penerangan jalan, pengelolaan limbah, mengurangi konsumsi energi dan emisi karbon); optimalisasi logistik dan transportasi; pengaturan suhu otomatis pada ruangan.

Kendaraan listrik (*Electric Vehicles*)

Kendaraan listrik merupakan kendaraan yang digerakkan dengan motor listrik. Energi listrik disimpan dalam baterai atau tempat penyimpanan energi lainnya. Kendaraan listrik tidak menghasilkan emisi kendaraan bermotor, tidak membutuhkan bahan bakar fosil sebagai penggerak utama. Walaupun memiliki beberapa keuntungan seperti disebutkan sebelumnya, penggunaan kendaraan listrik secara meluas memiliki banyak hambatan dan kekurangan, seperti keterbatasan stasiun pengisian untuk mobil listrik. Kendaraan listrik mendukung sebagai teknologi yang mendukung perlindungan lingkungan, termasuk salah satu solusi dari keberlanjutan lingkungan. Dengan pengurangan emisi gas rumah kaca, polusi udara dan konsumsi bahan bakar, kendaraan listrik berkontribusi pada perlindungan lingkungan.

Konstruksi Hijau (*Green Construction*)

Pada abad ke 21, bangunan hijau menjadi komponen penting pembangunan berkelanjutan. Beberapa kajian terkait terhadap konsep bangunan hijau menghasilkan banyak definisi. Ada yang mendefinisikan sebagai fasilitas sehat yang dirancang dan dibangun dengan hemat sumber daya menggunakan prinsip-prinsip yang berlandaskan ekologi; bangunan yang mengurangi dampak pembangunan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Menurut L. Chen dkk. (Chen et al., 2023), konstruksi hijau mengacu pada aktivitas rekayasa konstruksi untuk memaksimalkan konservasi sumber daya dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan melalui manajemen ilmiah dan kemajuan teknologi sekaligus memastikan terpenuhi persyaratan dasar kualitas dan keselamatan untuk tujuan keberlanjutan. Menurut Glavinich (Glavinich, 2008), *green construction* adalah perencanaan dan pengelolaan proses konstruksi yang didasarkan pada dokumen kontrak untuk meminimalkan dampak negatif proses konstruksi terhadap lingkungan agar terjadi keseimbangan antara kemampuan lingkungan dan kebutuhan hidup manusia untuk mendukung keberlanjutan. Konsep *green construction* mencakup perencanaan, konservasi material, tepat guna lahan, manajemen limbah, penyimpanan dan perlindungan material, kesehatan lingkungan kerja, menciptakan lingkungan kerja yang ramah lingkungan, pemilihan dan operasional peralatan konstruksi dan dokumentasi. Bangunan hijau diharapkan dapat mengurangi penggunaan CO₂ hingga 34% dan dapat menghemat 40% dari seluruh penggunaan air. Bangunan hijau dapat menciptakan ruang hijau mini.

Green Construction tidak hanya melibatkan prinsip pembangunan berkelanjutan tetapi juga sangat tergantung pada teknologi perlindungan lingkungan

untuk mengimplementasikan ide-ide tersebut secara praktis. Konsep dan ide-ide praktis dalam *green construction* berfokus pada meminimalkan dampak negatif pembangunan terhadap ekosistem, antara lain:

1. Efisiensi sumber daya, memanfaatkan teknologi untuk menghemat sumber daya air, energi, dan material konstruksi.
2. Pengurangan emisi dan limbah, menggunakan perangkat monitoring emisi dan pengolahan limbah untuk mengurangi polusi udara, tanah, dan air.
3. Pengelolaan energi menggunakan teknologi hemat energi yang efisien, pencahayaan, serta sistem otomatisasi bangunan.
4. Keseimbangan ekosistem melalui pelestarian ekosistem yang mendukung keanekaragaman hayati dengan atap hijau atau taman, dan sistem mitigasi erosi untuk melindungi area sekitar proyek konstruksi.
5. Adanya monitoring dan evaluasi terhadap kualitas udara, suhu, dan tingkat kebisingan untuk memastikan keberlanjutan dan keseimbangan lingkungan selama dan setelah pembangunan.

Green construction mendukung pelestarian lingkungan dengan mengurangi dampak negatif pembangunan, melestarikan ekosistem, dan memanfaatkan teknologi serta desain yang berkelanjutan, serta merupakan salah satu strategi untuk mencapai pembangunan dengan memperhitungkan keharmonisan antara manusia dan alam.

Digitalisasi

Digitalisasi adalah proses mengkonversi informasi dari format fisik atau analog menjadi format digital sehingga dapat diolah, disimpan, dan diakses melalui perangkat

digital. Digitalisasi melibatkan perubahan data atau dokumen-dokumen cetak menjadi dokumen digital. Lebih luas dari itu, dikenal istilah transformasi digital. Transformasi digital digambarkan sebagai kekuatan teknologi digital yang diterapkan pada setiap aspek kehidupan, penggunaan teknologi digital dan analitik canggih untuk nilai ekonomi, kelincahan, dan kecepatan. Cakupan teknologi digital dan dampaknya masih terus berkembang, dan dampaknya dialami dan dirasakan oleh berbagai lembaga. Lebih dalam, Thomas M. Siebel (Siebel, 2019) mengatakan bahwa transformasi digital bukanlah serangkaian perubahan generasi dalam teknologi informasi atau sekedar migrasi proses, data, dan informasi perusahaan ke platform digital. Gelombang pertama transformasi digital dimulai dengan digitalisasi. Digitalisasi telah meningkatkan efisiensi operasional bisnis di seluruh dunia. Penggunaan teknologi digital dalam berbagai aspek kehidupan dan industri telah meningkatkan efisiensi, akurasi, dan kecepatan proses. Tidak lagi menggunakan kertas dapat meningkatkan perlindungan lingkungan, menyebabkan penurunan produksi kertas, mengurangi penebangan pohon untuk memproduksi kertas. Gelombang kedua, *internet*, yang bagi perusahaan-perusahaan inovatif telah menyederhanakan proses, membuatnya lebih cepat, meningkatkan produktivitas yang sangat besar, tangguh dan akurat dengan sedikit kesalahan. Kedua hal ini membawa dampak perubahan bagi perusahaan, organisasi atau lembaga, dan perilaku individu.

Transformasi digital mendukung perlindungan lingkungan, mulai dari efisiensi energi dan pengurangan emisi hingga pemantauan lingkungan. Sensor pintar dan perangkat IoT membantu pemantauan dan pengendalian otomatis terhadap konsumsi energi dan air, sistem energi cerdas memanfaatkan data real-time untuk menyeimbangkan beban listrik dan mengurangi

ketergantungan pada energi fosil, jaringan listrik pintar diterapkan untuk meningkatkan efisiensi distribusi energi terbarukan, cloud computasi mengoptimalkan penggunaan server dan mengurangi jejak karbon secara signifikan, virtualisasi memungkinkan organisasi menjalankan beberapa aplikasi dalam satu server dan mengurangi kebutuhan perjalanan bisnis untuk menurunkan emisi karbondioksida dari transportasi, big data dapat memprediksi polusi dan perubahan iklim, kendaraan listrik dan IoT dalam sistem transportasi membantu mengurangi emisi karbon, smart city yang menggunakan teknologi IoT dapat mengurangi kemacetan dan meningkatkan efisiensi energi dengan merancang rute transportasi yang lebih baik.

Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) dan Artificial Intelligence (AI) telah menciptakan telah menciptakan salah satu gelombang paling disruptif dalam teknologi informasi dan bisnis (Siebel, 2019). IoT dan AI memiliki potensi signifikan untuk mengatasi tantangan lingkungan yang kompleks, untuk meningkatkan praktik pembangunan perkotaan yang berkelanjutan (Bibri et al., 2024). IoT adalah konsep teknologi yang menghubungkan perangkat-perangkat fisik ke internet, memungkinkan untuk saling berkomunikasi dan bertukar data tanpa interkasi manusia secara langsung. Inti dari IoT adalah pengenalan produk cerdas dan terhubung serta pertumbuhan internet yang pesat. IoT telah merevolusi banyak hal diberbagai bidang kehidupan, seperti pendidikan, kesehatan, industri, pertanian, transportasi, perumahan, perkotaan, dan energi.

IoT memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan secara terus menerus dengan menggunakan sensor yang terhubung ke jaringan, seperti pemantauan kualitas udara, AI menganalisis data yang dikumpulkan oleh

perangkat IoT untuk mendeteksi pola, memprediksi potensi bahaya, dan memberikan rekomendasi tindakan tepat. Sistem berbasis IoT dengan berbagai perangkat pintarnya dan manajemen energi pintar membantu mengurangi konsumsi energi dengan mengoptimalkan distribusi energi sesuai kebutuhan, AI mendukung efisiensi sumber daya dengan menganalisis pola konsumsi energi dan merancang mekanisme untuk meminimalkan limbah. IoT digunakan untuk memantau dan mengelola sumber daya air, di bidang pertanian IoT dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air, pupuk dan pestisida dalam pertanian cerdas, dan di bidang perhutanan, sensor IoT yang ditempatkan di hutan dapat memantau suhu dan potensi bahaya seperti kebakaran hutan.

Rainwater Harvesting

Rainwater harvesting systems (RWHS) atau sistem pemanenan air hujan, merupakan praktik tertua yang digunakan di dunia untuk mengatasi kebutuhan pasokan air, terdiri dari penangkapan dan penyimpanan air hujan dan pencegahan limpasan seperti mengumpulkan, penyaringan, penyimpanan, pengolahan dan pendistribusian air hujan dari atap, teras atap, dan permukaan kedap air untuk dapat digunakan (Campisano et al., 2017). Pengumpulan air hujan dapat dilakukan melalui talang atau pipa penyaluran dengan terlebih dahulu memastikan kebersihan permukaan atap untuk mendapatkan air yang berkualitas lebih baik. Penyaringan awal dilakukan sebelum air hujan disimpan, sistem penyaringan awal dapat dipasang untuk menghilangkan partikel besar yang bisa mencemari air untuk memastikan air yang masuk ke tangki lebih bersih. Penyimpanan air, merupakan proses menyalurkan air hujan ke dalam tangki penyimpanan yang berada di atas atau di bawah tanah. Penyaringan tambahan dilakukan sebelum air

digunakan, biasanya dilakukan penyaringan melalui sistem penyaringan untuk memastikan kebersihan sebelum dikonsumsi. Pendistribusian air, dilakukan untuk berbagai keperluan melalui jaringan pipa yang terhubung dengan tangki penyimpanan.

RWHS dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap keberlanjutan kota dan daerah pedesaan (de Sá Silva et al., 2022). Beberapa manfaat seperti: memasok air secara desentralisasi, meningkatkan keamanan air setempat, juga memiliki manfaat lain yaitu pengelolaan air hujan.

Remote Sensing

Remote sensing adalah praktik memperoleh informasi tentang permukaan daratan dan perairan bumi menggunakan citra yang diperoleh dari perspektif udara, dengan menggunakan radiasi elektromagnetik dalam satu atau lebih wilayah spektrum elektromagnetik, yang dipantulkan atau dipancarkan dari permukaan bumi (Campbell and Wynne, 2011, p. 6). Teknologi ini berperan penting dalam pemantauan lingkungan, manajemen sumber daya, penelitian ilmiah dan berbagai bidang yang memerlukan data wilayah yang luas atau sulit dijangkau, dan perencanaan yang lebih efisien di berbagai sektor. Beberapa implementasi remote sensing di berbagai bidang, misalnya:

1. Pemantauan perubahan iklim. Untuk memantau perubahan suhu dan iklim global yang berdampak pada lingkungan.
2. Pemantauan kesehatan tanaman, kelembaban tanah dan tingkat kesuburan sehingga membantu keputusan yang tepat tentang irigasi, pemupukan, pengendalian hama, peningkatan hasil dalam bidang pertanian.

3. Membantu pemerintah dan organisasi lingkungan untuk pemetaan wilayah konservasi, perlindungan hutan.
4. Penginderaan bahaya alam, seperti pemantauan gunung berapi, gempa bumi, banjir, dan tanah longsor dalam mitigasi risiko bencana alam. Teknologi ini menyediakan data real-time yang dapat digunakan untuk memberikan peringatan dini dan tanggap darurat.
5. Perencanaan tata ruang, teknologi ini akan membantu dalam perencanaan tata ruang, tata kota, pembangunan jalan, dan berbagai kebutuhan infrastruktur.

Model dan metode penginderaan jarak jauh untuk berbagai jenis pemantauau lingkungan sangat penting bagi kelangsung hidup dan pembangunan manusia, karena lingkungan alam sangat penting bagi setiap makhluk hidup dan menyediakan berbagai kebutuhan sumber daya lahan, sumber daya air, sumber daya hayati dan sumber daya iklim (Li et al., 2020).

Solar Panels

Solar panels atau panel surya adalah perangkat yang mengubah sinar matahari menjadi listrik dengan menggunakan sel fotovoltaik (PV) yang terbuat dari bahan yang menghasilkan elektron tereksitasi saat terkena cahaya (https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_panel). Beberapa kelebihan panel surya adalah menggunakan sumber energi terbarukan dan bersih, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan menurunkan tagihan listrik, namun memiliki keterbatasan ketergantungan pada ketersediaan dan intensitas sinar matahari, memerlukan pembersihan, dan berdampak pada biaya awal yang mahal.

Solar panels memiliki peran dalam perlindungan lingkungan. Pengurangan emisi gas rumah kaca, matahari sebagai sumber energi yang tidak terbatas dan dapat diperbarui, tidak menghasilkan polutan udara seperti sulfur dioksida dan nitrogen oksida yang dihasilkan pembangkit listrik berbahan bakar fosil, pengurangan penggunaan air akan membantu konservasi sumber daya air, peningkatan kesadaran masyarakat mengenai pentingnya energi terbarukan dan praktik ramah lingkungan. Secara umum, solar panels merupakan energi ramah lingkungan dan dapat menciptakan masa depan berkelanjutan.

Wind Farms

Wind farms adalah sekelompok turbin angin di lokasi yang sama yang digunakan untuk menghasilkan listrik (https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_farm). Wind farms tidak memerlukan bahan bakar, sehingga memiliki dampak lebih kecil terhadap lingkungan, dan masuk juga kategori sumber energi hijau yang baik. Tenaga angin tidak mengkonsumsi bahan bakar dan tidak mengeluarkan polusi udara. Namun ada beberapa dampak yang ditimbulkan, seperti memiliki dampak visual, hilangnya habitat satwa liar dan langka (Hosansky, 2011).

Wind farms memberikan contoh energi yang bersih, baru dan berkelanjutan yang menunjukkan kepedulian kita terhadap lingkungan dengan pengurangan emisi gas rumah kaca, menghasilkan listrik tanpa melepaskan karbon dioksida, dapat menjadi alat untuk melawan perubahan iklim.

Edukasi dan Kesadaran Kecintaan Pada Lingkungan

Edukasi lingkungan merupakan upaya membangun kesadaran lingkungan menggunakan prinsip-prinsip ekologi untuk mengajarkan masyarakat tentang ekosistem, keanekaragaman hayati, dan pentingnya

menjaga keseimbangan alam. Istilah ekologi pertama kali dikemukakan oleh Ernes Hackel, seorang ahli biologi asal Jerman pada tahun 1869. Istilah ekologi berasal dari kata Oikos yang berarti rumah atau tempat tinggal, dan kata logos yang berarti telaah atau ilmu atau studi. Menurut Muhammad Sood (Sood, 2021), ekologi adalah ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya; manusia dengan hewan, tumbuh-tumbuhan dan jasad renik; manusia dengan benda-benda lain, dan lingkungannya; hubungan antara hewan dan hewan, hewan dan tumbuh-tumbuhan serta jasad renik; hubungan tersebut terjadi karena masing-masing unsur saling memerlukan satu sama lain, yang disebut dengan ekosistem. Konsep ekosistem merupakan bagian penting dalam ekologi. Ekosistem adalah sistem ekologi yang terbentuk oleh hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya. Dalam sistem ini semua komponen bekerja sama secara teratur dalam kesatuan untuk menjada keharmonisan lingkungan. Keteraturan ekosistem menunjukkan adanya suatu keseimbangan. Keseimbangan ini bersifat dinamis, selalu berubah-ubah, baik secara alami maupun karena dilakukan oleh manusia.

Istilah lingkungan atau lingkungan hidup merupakan terjemahan dari kata *environment* dalam bahasa Inggris. Menurut Pasal 1 Undang-Undang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (UU PPLH) Nomor 32 tahun 2009, pasal 1 butir 1 dikatakan: "Lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya yang memengaruhi alam itu sendiri, kelangsungan perikehidupan, dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya". Perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup itu sendiri merupakan upaya sistematis dan terpadu yang dilakukan untuk melestarikan fungsi lingkungan hidup dan mencegah

terjadinya pencemaran dan kerusakan lingkungan. Upaya sistematis dan terpadu untuk memelihara fungsi lingkungan hidup dimulai dari perencanaan, pemanfaatan, pengendalian, pemeliharaan, pengawasan, dan penegakan hukum.

Dalam rangka mengupayakan pelestarian lingkungan, semua pihak harus terlibat dan mengambil peran penting demi terwujud kesadaran dan kecintaan kepada lingkungan untuk mencegah pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup sebagai rumah bersama semua makhluk. Paus Fransiskus dalam ensiklik *Laudato Si'* mengatakan: “yang dibutuhkan ialah kesadaran akan asal kita bersama, akan hal saling memiliki, dan akan suatu masa depan untuk dibagi dengan sesama”. Di sini perlu suatu kesadaran akan kegentingan krisis budaya dan ekologis yang perlu diterjemahkan ke dalam adat kebiasaan baru, kepekaan ekologis yakni melindungi lingkungan hidup.

Pendidikan lingkungan hidup harus bertujuan untuk menciptakan suatu “kewarganegaraan ekologis”, bukan sebatas memberikan informasi, namun terutama untuk menanamkan kebiasaan-kebiasaan baik. Pendidikan dalam tanggung jawab ekologis dapat mendorong berbagai perilaku yang memiliki dampak langsung dan signifikan untuk pelestarian lingkungan. Pendidikan dan kesadaran ekologis dapat dilakukan secara:

1. Pendidikan formal. Kegiatan pendidikan di bidang lingkungan hidup yang diselenggarakan secara formal melalui sekolah, mulai dari pendidikan dasar, menengah sampai dengan pendidikan tinggi dengan menggunakan metode kurikulum yang terintegrasi maupun kurikulum tersendiri; dapat juga dilakukan melalui kegiatan ekstrakurikuler yang melibatkan siswa dalam proyek-proyek perlindungan lingkungan.

2. Non-formal. Kegiatan pendidikan kesadaran perlindungan lingkungan yang dilakukan di luar sekolah, dapat dilaksanakan secara terstruktur dan berjenjang, dan dapat juga dilaksanakan melalui: dialog tentang lingkungan hidup, seminar, lokakarya, penyebaran informasi-informasi atau ajakan kesadaran cinta lingkungan di media komunikasi sosial, dan program-program perlindungan lingkungan lainnya.
3. Mengembangkan aplikasi teknologi sebagai inovasi perlindungan lingkungan, dengan kesadaran dan niat untuk keberlangsungan bumi sebagai rumah setiap makhluk. Upaya pengembangan teknologi dan inovasi dalam perlindungan lingkungan mencakup berbagai bidang dan teknologi yang bertujuan untuk mengurangi dampak perilaku negatif manusia terhadap lingkungan dan mendukung keberlanjutan.
4. Mendukung peran pemerintah dan lembaga-lembaga perlindungan lingkungan dalam menegakkan dan mengimplementasikan regulasi dan kebijakna perlindungan lingkungan.
5. Memulai pendidikan kesadaran dan kecintaan kepada lingkungan mulai dari pendidikan dalam keluarga, ditanam kebiasaan-kebiasaan awal untuk mencintai dan melestarikan hidup, seperti penggunaan barang secara tepat, ketertiban dan kebersihan, rasa hormat akan ekosistem lokal, dan kepedulian terhadap semua makhluk ciptaan.

Penutup

Dalam menghadapi tantangan lingkungan yang semakin kompleks, teknologi dan inovasi menawarkan harapan dan solusi yang konkret. Dari energi terbarukan hingga sistem pemantauan lingkungan yang canggih menjadi solusi yang ditawarkan untuk mengatasi tantangan pencemaran dan kerusakan lingkungan. Memanfaatkan kemajuan teknologi secara tepat dan menciptakan inovasi untuk perlindungan lingkungan membutuhkan dukungan pendidikan dan kesadaran ekologis yang tinggi. Untuk itu diperlukan pendidikan kesadaran dan kecintaan kepada lingkungan melalui berbagai upaya yang bertujuan pada keberlangsungan lingkungan hidup sebagai rumah bersama setiap makhluk. Keberhasilan penerapan teknologi dan inovasi dalam perlindungan lingkungan memerlukan kolaborasi yang erat antar berbagai pihak, pemerintah, sektor swasta, para pemimpin agama, dan masyarakat. Dengan komitmen yang kuat dan kolaborasi yang erat, kita dapat memanfaatkan potensi teknologi untuk berinovasi dalam membangun masa depan yang lebih berkelanjutan dan memastikan bahwa generasi yang akan datang dapat mewarisi lingkungan yang sehat dan aman. Mari kita berinovasi dan berupaya bersama untuk menjaga bumi ibu pertiwi ini demi kebaikan bersama.

Daftar Pustaka

- Bibri, S. E., Krogstie, J., Kaboli, A., & Alahi, A. (2024). Smarter eco-cities and their leading-edge artificial intelligence of things solutions for environmental sustainability: A comprehensive systematic review. *Environmental Science and Ecotechnology*, 19, 100330. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.es.2023.100330>
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to remote sensing*. Guilford press.
- Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M. J., Friedler, E., DeBusk, K., Fisher-Jeffes, L. N., Ghisi, E., Rahman, A., Furumai, H., & Han, M. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water Research*, 115, 195–209. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>
- Chen, L., Huang, L., Hua, J., Chen, Z., Wei, L., Osman, A. I., Fawzy, S., Rooney, D. W., Dong, L., & Yap, P.-S. (2023). Green construction for low-carbon cities: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(3), 1627–1657. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01544-4>
- de Sá Silva, A. C. R., Bimbato, A. M., Balestieri, J. A. P., & Vilanova, M. R. N. (2022). Exploring environmental, economic and social aspects of rainwater harvesting systems: A review. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103475. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103475>
- Fransiskus, P. (2015). Laudato Si': Terpujilah Engkau. *Ensiklik Paus Fransiskus (Seri Dokumen Gereja)*. Departemen Dokumentasi Dan Penerangan Konferensi Waligereja Indonesia.
- Glavinich, T. E. (2008). Contractor's guide to green building construction. *Jhon Wiley &*

- Hosansky, D. (2011). *Wind Power: Is wind energy good for the environment?* CQ Press.
- Li, J., Pei, Y., Zhao, S., Xiao, R., Sang, X., & Zhang, C. (2020). A review of remote sensing for environmental monitoring in China. *Remote Sensing*, 12(7), 1130.
- Mustakim, H. U. (2019). Tantangan Implementasi 5G di Indonesia. *INTEGER: Journal of Information Technology*, 4(2).
- Sadri, M. (2024). PELUANG DAN TANTANGAN INDONESIA DALAM PEMANFAATAN TEKNOLOGI TELEKOMUNIKASI NIRKABEL 5G. *Media Bina Ilmiah*, 18(8), 2163–2176.
- Siebel, T. M. (2019). *Digital transformation: survive and thrive in an era of mass extinction*. RosettaBooks.
- Sood, M. (2021). *Hukum Lingkungan Indonesia*. Sinar Grafika.

Profil Penulis



Goretta, S.Pd., M.Pd.

Penulis memiliki ketertarikan terhadap bidang pendidikan dan pembelajaran. Penulis adalah seorang biarawati, dan sekaligus menekuni profesi sebagai pendidik sejak menyelesaikan pendidikan pada jenjang sarjana strata satu (S1) pada Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan di Universitas Atma Jaya, Jakarta, tahun 2003. Pada tahun 2016, penulis menyelesaikan pendidikan pada Fakultas Ilmu Pendidikan, Program Studi Magister Teknologi Pendidikan di Universitas Pelita Harapan (UPH), Jakarta.

Sekarang, penulis menekuni profesi sebagai pendidik dan mengampu beberapa mata kuliah kependidikan pada Program Studi Pendidikan Keagamaan Katolik di Sekolah Tinggi Kateketik dan Pastoral Rantepao (STIKPAR) Toraja, di Kota Rantepao, Kabupaten Toraja Utara, Provinsi Sulawesi Selatan.

“Ter Liefde God, For the Love of God, Demi Cinta Allah”, adalah moto sekaligus semboyan yang memotivasi dan menginspirasi penulis dalam berkarya. Moto ini penulis bawa dalam aktivitas dan tanggung jawab sebagai pendidik. Bagi penulis, mendidik adalah melayani Tuhan dalam sesama. Semua penulis lakukan, *demi cinta kepada Allah*, karena kebaikan_Nya selalu ada dan nyata.

Penulis memiliki keterbukaan terhadap ilmu dan pengetahuan yang senantiasa berkembang. Oleh sebab itu, pada saat ini penulis sedang melanjutkan pendidikan ke jenjang doktoral pada Program Studi Teknologi Pendidikan di Universitas Negeri Jakarta (UNJ). Berkarya, belajar, menambah pengetahuan, meningkatkan keterampilan, dan memiliki sikap baik, merupakan upaya melayani Tuhan lewat sesama.

Email Penulis: goretta.sfic@gmail.com

MENGELOLA LIMBAH, MENJAGA BUMI: SOLUSI NYATA UNTUK HIDUP LEBIH BERARTI

Moh. Anwar, S.E., M.M.
CV. Karya Pinasthika

Pendahuluan

Lingkungan yang sehat adalah hak dan tanggung jawab semua orang. Namun, perubahan iklim, pencemaran, dan pengelolaan limbah yang tidak baik kini menjadi masalah besar yang kita hadapi bersama. Menjaga lingkungan bukan hanya tugas pemerintah atau organisasi besar; setiap individu memiliki peran penting dalam menjaga dan melestarikan alam. Dengan langkah-langkah kecil sehari-hari, kita semua dapat memberikan dampak positif pada lingkungan.

Selain itu, kesadaran kolektif dan tindakan nyata dari masyarakat sangat diperlukan untuk menciptakan perubahan yang berkelanjutan. Setiap keputusan yang kita ambil, mulai dari cara kita mengonsumsi, mengelola sampah, hingga menggunakan energi, dapat mempengaruhi kualitas lingkungan yang akan diwariskan kepada generasi mendatang. Oleh karena itu, penting bagi kita semua untuk terus mendidik dan menginspirasi orang lain agar lebih peduli terhadap kondisi alam dan turut serta dalam upaya pelestarian lingkungan. Berikut adalah aksi nyata yang dapat dilakukan oleh setiap kita untuk menjaga lingkungan di wilayahnya masing masing.

Langkah-Langkah Nyata Individu dalam Menjaga Lingkungan

1. Pemilahan dan Daur Ulang Sampah Rumah Tangga

Salah satu cara paling sederhana yang bisa dilakukan adalah memisahkan sampah organik dan anorganik. Sampah organik seperti sisa makanan dapat diolah menjadi kompos, yang bermanfaat sebagai pupuk alami untuk tanaman. Sedangkan sampah anorganik, seperti plastik dan kertas, bisa didaur ulang atau dimanfaatkan kembali untuk mengurangi jumlah sampah yang berakhir di tempat pembuangan akhir (TPA) (Chazanah dan Nandiyanto, 2022).

Pemilahan sampah organik dan anorganik ini tidak hanya membantu mengurangi beban TPA, tetapi juga mendukung ekonomi sirkular dengan memberikan peluang bagi industri daur ulang. Dengan mengelola sampah secara bijak, setiap individu jadi turut serta berkontribusi dalam mengurangi pencemaran lingkungan dan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses pembakaran sampah. Selain itu, langkah ini juga dapat menjadi sarana edukasi bagi anggota keluarga, khususnya anak-anak, untuk lebih peduli terhadap pentingnya pengelolaan limbah sejak dini (Kirchmann et al., 2005; Perez et al., 2019).

2. Mengurangi Penggunaan Plastik Sekali Pakai

Plastik sekali pakai menjadi salah satu penyumbang utama limbah anorganik (Tan et al., 2021; Idris et al., 2023). Dengan mengganti kantong plastik dengan tas kain saat berbelanja, membawa botol minum sendiri, serta menggunakan sedotan dan alat makan yang dapat digunakan kembali, kita dapat mengurangi produksi sampah plastik. Aksi ini mungkin tampak sederhana tetapi sesungguhnya memiliki dampak besar bagi lingkungan dalam jangka panjang.

Selain itu, mengurangi penggunaan plastik sekali pakai dapat menekan jumlah mikroplastik yang berakhir di laut dan tanah, yang dapat merusak ekosistem dan rantai makanan (Chen et al., 2021; Dey et al., 2021). Mikroplastik ini sering tertelan oleh makhluk hidup di laut, seperti ikan, yang pada akhirnya bisa masuk ke tubuh manusia melalui konsumsi makanan laut. Oleh karena itu, komitmen untuk mengurangi plastik sekali pakai tidak hanya menjaga lingkungan tetapi juga melindungi kesehatan manusia secara keseluruhan.

3. Pengelolaan Limbah Pembalut di Lingkungan Pesantren

Di tempat yang banyak penghuninya, misalnya seperti di pondok pesantren, pengelolaan limbah spesifik seperti pembalut perlu mendapat perhatian (Kaur et al., 2018; Bharadwaj dan Patkar, 2004). Sebagai contoh, sebuah pondok pesantren di Kota Malang, diketahui memiliki lebih dari 1.000 santri putri, bisa menghasilkan limbah berupa ribuan pembalut bekas dalam seminggu. Jika setiap santri menggunakan 3 pembalut per hari, dalam seminggu akan ada sekitar 21.000 pembalut yang dibuang. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah menampung sisa air wudhu untuk membersihkan pembalut, sebelum dibuang secara aman. Selain menghemat air, cara ini juga mendukung sanitasi dan kesehatan lingkungan pesantren.

Selain itu, pengelolaan limbah pembalut bisa lebih ramah lingkungan jika pesantren mulai memperkenalkan alternatif seperti pembalut kain yang dapat dicuci dan digunakan kembali. Solusi ini tidak hanya mengurangi limbah, tetapi juga mengurangi biaya pengeluaran santri dalam jangka panjang. Edukasi mengenai pengelolaan limbah yang

baik juga bisa melibatkan santri, agar mereka lebih sadar akan dampak lingkungan dari limbah pembalut dan mendukung perubahan perilaku yang lebih berkelanjutan.

4. Pemanfaatan Air Secara Efisien

Penggunaan air yang berlebihan dapat mengurangi sumber daya air bersih, terutama di daerah yang mengalami kekurangan air (Jury dan Vaux, 2007). Di pondok pesantren, misalnya, air yang digunakan untuk berwudhu biasanya terbuang begitu saja. Jika setiap orang menghabiskan sekitar 2 liter air setiap kali berwudhu, maka betapa banyak air wudhu yang dapat digunakan ulang. Dengan menampung air sisa wudhu dari 1.000 santri, maka setidaknya akan ada sekitar 2.000 liter air yang dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan lain, seperti menyiram tanaman, mencuci kendaraan atau membersihkan lingkungan sekitar pondok.

Selain mengurangi pemborosan, pemanfaatan kembali air sisa wudhu dapat menjadi contoh nyata dari prinsip hidup hemat dan ramah lingkungan yang diajarkan dalam Islam. Implementasi teknologi sederhana, seperti sistem filtrasi air, juga dapat membantu meningkatkan kualitas air yang ditampung, sehingga air ini dapat digunakan kembali untuk kebutuhan yang lebih luas, seperti mencuci atau membersihkan kamar mandi (Vigneswaran dan Visvanathan, 1995; Johnston et al., 2001). Aksi ini tidak hanya menghemat air tetapi juga memperkuat kesadaran santri akan pentingnya menjaga sumber daya alam.

5. Pengelolaan Limbah Oli Bekas

Bagi setiap orang atau kantor yang memiliki kendaraan, limbah oli bekas juga perlu dikelola

dengan bijak. Oli bekas sebetulnya bisa didaur ulang menjadi oli baru (Reindl, 1977; Speight and Exall, 2014), namun saat ini karena keterbatasan regulasi dan infrastruktur yang ada, membuat pemanfaatannya menjadi kurang optimal. Oleh karena itu, kebanyakan oli bekas hanya berpindah tangan antar bengkel tradisional, tanpa pengolahan lanjut. Dengan adanya fasilitas daur ulang dan kesadaran yang lebih tinggi, oli bekas ini bisa dimanfaatkan lebih baik dan tidak mencemari lingkungan. Contoh penggunaan oli bekas adalah 1). untuk diubah menjadi oli baru lagi setelah dilakukan penyaringan dan pemurnian, 2). Oli bekas dapat digunakan untuk menjadi bahan bakar industri pada proses pemanasan, 3). Oli bekas masih dapat digunakan untuk pelumas mesin alat berat industri, 4). Oli bekas dapat digunakan sebagai pengencer cat atau bahan kimia lainnya, dan pada penggunaan non industri oli bekas dapat digunakan untuk 5). Pelapis kayu dan besi agar besi tidak mudah berkarat.

Selain itu, edukasi dan sosialisasi mengenai bahaya oli bekas terhadap lingkungan perlu ditingkatkan. Limbah oli yang dibuang sembarangan dapat mencemari tanah dan air tanah, sehingga mengancam ekosistem di sekitarnya (Egboka et al., 1989). Pemerintah dan sektor swasta bisa bekerja sama untuk menyediakan tempat khusus pengumpulan oli bekas yang aman, serta mendorong pengembangan teknologi pengolahan limbah oli agar dapat dimanfaatkan kembali secara lebih efektif. Upaya ini bisa mengurangi dampak negatif limbah oli terhadap lingkungan sekaligus meningkatkan efisiensi sumber daya.

6. Daur Ulang Limbah Ban Bekas

Ban bekas yang sudah tidak terpakai juga dapat dijadikan produk daur ulang, seperti sandal, pot tanaman, dan bahkan sandal untuk hewan ternak seperti sapi (Cockayne, 2020; Adetuyi et al., 2024). Daur ulang ban bekas ini tidak hanya mengurangi limbah yang sulit terurai, tetapi juga memberikan nilai ekonomi. Dengan kreativitas, barang-barang seperti ban bekas ini dapat menjadi produk yang bermanfaat bagi masyarakat.

Selain itu, proses daur ulang ban bekas bisa menjadi peluang bisnis ramah lingkungan bagi komunitas lokal. Dengan pelatihan yang tepat, masyarakat dapat menghasilkan produk bernilai jual tinggi seperti furnitur, ayunan, atau *paving block* berbahan dasar ban bekas. Langkah ini tidak hanya mengurangi limbah tetapi juga menciptakan lapangan pekerjaan, mendukung ekonomi lokal, dan memperkuat kesadaran masyarakat akan pentingnya pengelolaan limbah secara tepat dan berkelanjutan.

7. Mengurangi Emisi Karbon dengan Transportasi Berkelanjutan

Polusi udara menjadi salah satu dampak dari penggunaan kendaraan pribadi yang tinggi (Huboyo et al., 2017). Semua orang bisa ikut serta dan berkontribusi dalam mengurangi emisi karbon dengan menggunakan transportasi umum, bersepeda, atau berjalan kaki bila memungkinkan. Selain mengurangi polusi, cara ini juga mendukung kesehatan fisik. Di lingkungan pesantren atau sekolah, misalnya, berjalan kaki menjadi kebiasaan baik yang bisa mengurangi ketergantungan pada kendaraan bermotor.

Di tingkat komunitas, inisiatif seperti *car free day*, kebijakan *three in one*, dan ganjil genap seperti yang dilakukan di kota Jakarta dapat diterapkan di kota lain juga untuk mengurangi jumlah kendaraan yang beroperasi di jalan. Selain itu, penggunaan teknologi ramah lingkungan seperti kendaraan listrik juga dapat didorong sebagai alternatif untuk mengurangi emisi karbon (Xin et al., 2023). Dalam skala lebih besar, pengembangan infrastruktur seperti jalur sepeda dan trotoar yang nyaman dapat memotivasi lebih banyak orang untuk memilih cara bepergian yang lebih berkelanjutan, sekaligus menciptakan lingkungan yang lebih sehat dan ramah bagi pejalan kaki serta pesepeda.

Penutup

Melalui aksi nyata dan langkah sederhana, setiap orang dapat memberikan kontribusi dalam menjaga dan melestarikan lingkungan. Dari pemilahan sampah, pemanfaatan air yang efisien, hingga pengelolaan limbah spesifik seperti oli dan ban bekas, semua tindakan ini berperan penting dalam mengurangi beban pencemaran dan mendukung keberlanjutan lingkungan. Jika setiap orang melakukan hal-hal kecil untuk menjaga lingkungan, maka secara kolektif kita dapat menciptakan dampak yang besar dan positif bagi bumi ini.

Daftar Pustaka

- Adetuyi, B. O., Mathew, J. T., Inobeme, A., Falana, Y. O., Adetunji, C. O., Shahnawaz, M., Oyewole, O. A., Eniola, K.I.T., Yerima, M.B. & Popoola, O. A. (2024). Tyres, Bitumen Wear and Plastic Bottles, Other Single Used Plastic as Major Sources of Microplastic. In *Microplastic Pollution* (pp. 141-160). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Bharadwaj, S., & Patkar, A. (2004). Menstrual hygiene and management in developing countries: Taking stock. *Junction Social*, 3(6), 1-20.
- Chazanah, I. N., & Nandiyanto, A. B. D. (2022). Literature of Waste Management (Sorting Of Organic And Inorganic Waste) Through Digital Media In Community. *International Journal of Research and Applied Technology (INJURATECH)*, 2(1), 114-123.
- Chen, Y., Awasthi, A. K., Wei, F., Tan, Q., & Li, J. (2021). Single-use plastics: Production, usage, disposal, and adverse impacts. *Science of the total environment*, 752, 141772.
- Cockayne, E. (2020). *Rummage: A History of the Things We Have Reused, Recycled and Refused to Let Go*. Profile Books.
- Dey, A., Dhumal, C. V., Sengupta, P., Kumar, A., Pramanik, N. K., & Alam, T. (2021). Challenges and possible solutions to mitigate the problems of single-use plastics used for packaging food items: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 58(9), 3251-3269.
- Egboka, B. C., Nwankwor, G. I., Orajaka, I. P., & Ejiofor, A. O. (1989). Principles and problems of environmental pollution of groundwater resources with case examples from developing countries. *Environmental health perspectives*, 83, 39-68.

- Huboyo, H. S., Handayani, W., & Samadikun, B. P. (2017, June). Potential air pollutant emission from private vehicles based on vehicle route. In *IOP conference series: Earth and Environmental Science* (Vol. 70, No. 1, p. 012013). IOP Publishing.
- Idris, S. N., Amelia, T. S. M., Bhubalan, K., Lazim, A. M. M., Zakwan, N. A. M. A., Jamaluddin, M. I., Santhanam, R., Amirul, A.A., Vigneswari, S., & Ramakrishna, S. (2023). The degradation of single-use plastics and commercially viable bioplastics in the environment: A review. *Environmental Research*, 231, 115988.
- Johnston, R., Heijnen, H., & Wurzel, P. (2001). Safe water technology. *United Nations Synthesis Report on Arsenic in Drinking Water*, 1-98.
- Jury, W. A., & Vaux Jr, H. J. (2007). The emerging global water crisis: managing scarcity and conflict between water users. *Advances in agronomy*, 95, 1-76.
- Kaur, R., Kaur, K., & Kaur, R. (2018). Menstrual hygiene, management, and waste disposal: practices and challenges faced by girls/women of developing countries. *Journal of environmental and public health*, 2018(1), 1730964.
- Kirchmann, H., Nyamangara, J., & Cohen, Y. (2005). Recycling municipal wastes in the future: from organic to inorganic forms?. *Soil use and management*, 21(1), 152-159.
- Pérez-Gimeno, A., Navarro-Pedreño, J., Almendro-Candel, M. B., Gómez, I., & Zorpas, A. A. (2019). The use of wastes (organic and inorganic) in land restoration in relation to their characteristics and cost. *Waste Management & Research*, 37(5), 502-507.
- Reindl, J. (1977). Waste Oil Recycling. *Journal of Environmental Health*, 40(1), 52-55.
- Speight, J. G., & Exall, D. I. (2014). *Refining used lubricating oils* (Vol. 99). Boca Raton: CRC Press.

- Tan, J., Tiwari, S. K., & Ramakrishna, S. (2021). Single-use plastics in the food services industry: can it be sustainable?. *Materials Circular Economy*, 3(1), 7.
- Vigneswaran, S., & Visvanathan, C. (1995). *Water treatment processes: simple options* (Vol. 8). CRC Press.
- Xin, L., Ahmad, M., & Khattak, S. I. (2023). Impact of innovation in hybrid electric vehicles-related technologies on carbon dioxide emissions in the 15 most innovative countries. *Technological Forecasting and Social Change*, 196, 122859.

Profil Penulis



Mohammad Anwar, S.E., M.M.

Penulis adalah seorang profesional berpengalaman dalam manajemen dan pengembangan sosial-ekonomi masyarakat. Lahir di Kediri pada 9 Mei 1972, penulis memiliki latar belakang pendidikan formal di bidang Manajemen dari Universitas Jember (S1) dan STIE Mahardika Surabaya (S2). Penulis telah terlibat dalam berbagai proyek strategis, termasuk sebagai Team Leader dalam program pengembangan ekonomi kawasan, pendidikan lingkungan hidup, konservasi mangrove serta pengelolaan program konsultasi dan pelatihan pengembangan sumber daya manusia.

Pengalaman yang dimiliki mencakup proyek pengembangan usaha mikro, studi sosial-ekonomi dan penyusunan roadmap industri hijau di Jawa Timur. Selain itu, penulis juga aktif sebagai narasumber pelatihan di bidang kewirausahaan, pemberdayaan masyarakat dan manajemen organisasi.

Dalam ranah sosial, penulis pernah menjabat sebagai Ketua Asosiasi Pedagang Antar Daerah, Pengurus Karang Taruna Provinsi Kalimantan Timur, pendiri dan penggerak dari Komunitas Pecinta Lingkungan serta menjadi asesor kompetensi di LSP Kelautan dan Perikanan. Kepemimpinan penulis tercermin dari keterlibatannya dalam memfasilitasi kegiatan strategis bersama berbagai lembaga pemerintah dan swasta di tingkat lokal maupun nasional. Pengalaman panjang yang telah dilalui mencerminkan dedikasi penulis terhadap pemberdayaan masyarakat dan pembangunan ekonomi berbasis komunitas.

Email Penulis: cak.anwar72@gmail.com

- 1 PENDAHULUAN: PENTINGNYA PENDIDIKAN LINGKUNGAN HIDUP
Nur Rezky Ramadhan
- 2 KONSEP DASAR EKOLOGI DAN EKOSISTEM
Lastiar Roselyna Sitompul
- 3 PERUBAHAN IKLIM: PENYEBAB, DAMPAK DAN MITIGASI
I Gede Herry Purnama
- 4 POLUSI UDARA, AIR DAN TANAH : SUMBER DAN PENANGANANNYA
Rachman Irwanto
- 5 KONSERVASI KEANEKARAGAMAN HAYATI
Rusmadi Rukmana
- 6 PENGELOLAAN SUMBER DAYA ALAM YANG BERKELANJUTAN
Gizela Aulia Agustin
- 7 ENERGI TERBARUKAN DAN EFISIENSI ENERGI
Kurniati Abidin
- 8 PENGELOLAAN SAMPAH DAN DAUR ULANG
Rizky Arief Shobirin
- 9 PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN DAN EKONOMI HIJAU
Sang Gede Purnama
- 10 ETIKA LINGKUNGAN DAN TANGGUNG JAWAB SOSIAL
Tito Nurseha
- 11 PENDIDIKAN LINGKUNGAN HIDUP DI SEKOLAH: KURIKULUM DAN
METODE PEMBELAJARAN
Nanang Purwanto
- 12 PENDIDIKAN LINGKUNGAN HIDUP DI MASYARAKAT: PROGRAM DAN
INISIATIF
Anita Restu Puji Raharjeng
- 13 TEKNOLOGI DAN INOVASI DALAM PERLINDUNGAN LINGKUNGAN
Goreta
- 14 MENGELOLA LIMBAH, MENJAGA BUMI: SOLUSI NYATA UNTUK HIDUP LEBIH
BERARTI
Moh. Anwar

Editor:

Suci Haryanti

Untuk akses Buku Digital,
Scan QR CODE



Media Sains Indonesia
Melong Asih Regency B.40, Cijerah
Kota Bandung - Jawa Barat
Email : penerbit@medsan.co.id
Website : www.medsan.co.id

