

Buku Ajar
**BIOLOGI
KONSERVASI**



Lalu Amrullah, Marsahip

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga buku berjudul “*Buku Ajar: Biologi Konservasi*” ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik. Buku ajar ini hadir sebagai upaya untuk menyediakan sumber belajar yang komprehensif, sistematis, dan mudah dipahami bagi mahasiswa, dosen, peneliti, serta praktisi yang bergerak dalam bidang konservasi dan pengelolaan sumber daya alam hayati.

Isi buku ini disusun secara terstruktur mulai dari konsep dasar hingga aplikasi praktis biologi konservasi di lapangan. Penulis menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, kritik dan saran sangat diharapkan demi perbaikan pada edisi berikutnya. Harapannya, buku ajar ini dapat menjadi referensi penting bagi siapapun yang ingin memahami, mengembangkan, dan menerapkan prinsip-prinsip konservasi sebagai langkah nyata untuk menjaga kelestarian alam Indonesia dan dunia.

Akhir kata, semoga buku ini bermanfaat dan dapat memberikan kontribusi positif bagi pendidikan, penelitian, dan praktik konservasi lingkungan.

Lalu Amrullah

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
BAB 1. BIOLOGI KONSERVASI	1
1.1 Pengertian dan Ruang Lingkup Biologi Konservasi	1
1.2 Sejarah dan Perkembangan Ilmu Konservasi.....	3
1.3 Prinsip-Prinsip Dasar Konservasi.....	5
1.4 Tujuan dan Pentingnya Konservasi bagi Keberlanjutan Hayati ...	7
1.5 Hubungan Biologi Konservasi dengan Disiplin Ilmu Lain	9
BAB 2. KEANEKARAGAMAN HAYATI (BIODIVERSITAS).....	11
2.1 Konsep dan Tingkatan Keanekaragaman Hayati	12
2.2 Nilai Ekologi, Ekonomi, Sosial, dan Budaya Biodiversitas.....	12
2.3 Persebaran Keanekaragaman Hayati di Indonesia	23
2.4 Ancaman terhadap Keanekaragaman Hayati	15
2.5 Indeks dan Pengukuran Keanekaragaman.....	17
BAB 3. PRINSIP DASAR EKOLOGI DAN EVOLUSI UNTUK KONSERVASI.....	21
3.1 Ekosistem dan Komponen-Komponennya.....	22
3.2 Ekologi Lanskap dan Fragmentasi Habitat	27
3.3 Adaptasi dan Evolusi dalam Konservasi.....	28
3.4 Ekologi Restorasi	30
BAB 4. KERUSAKAN LINGKUNGAN DAN HILANGNYA KEANEKARAGAMAN HAYATI ..	33
4.1 Faktor Penyebab Kerusakan Lingkungan	33
4.2 Degradasi Habitat dan Fragmentasi	36
4.3 Spesies Invasif dan Dampaknya	39
4.4 Perubahan Iklim dan Dampaknya terhadap Ekosistem	42
4.5 Kasus-Kasus Kehilangan Spesies di Indones	45
BAB 5. STRATEGI DAN PENDEKATAN KONSERVASI	49
5.1 Konservasi <i>In-situ</i> dan <i>Ex-situ</i>	49
5.2 Pengelolaan Kawasan Lindung.....	52
5.3 Reintroduksi dan Pemulihan Spesies	54
5.4 Konservasi Genetik dan Plasma Nutfah	56
5.5 Konservasi Berbasis Komunitas	58
BAB 6. KONSERVASI SUMBER DAYA ALAM HAYATI DI INDONESIA.....	61
6.1 Kebijakan dan Undang-Undang Konservasi	61
6.2 Lembaga dan Instansi Terkait Konservasi	63
6.3 Pengelolaan Konservasi	66
6.4 Kearifan Lokal dalam Konservasi Alam	68
6.5 Studi Kasus: Program Konservasi di Indonesia	70

BAB 7. BIOTEKNOLOGI DAN INOVASI DALAM KONSERVASI	73
7.1 Aplikasi Bioteknologi dalam Pelestarian Spesies	71
7.2 Teknik Kultur Jaringan dan Bank Gen	75
7.3 Pemanfaatan DNA Barcoding dan Genomik Konservasi	77
7.4 Pemantauan Ekosistem dengan Teknologi (GIS, Drone, eDNA) ..	80
7.5 Etika dan Risiko Penggunaan Bioteknologi dalam Konservasi.....	82
DAFTAR PUSTAKA	86

BAB 1

BIOLOGI KONSERVASI

1.1. Pengertian Biologi Konservasi

Biologi konservasi merupakan cabang ilmu biologi yang berfokus pada upaya pelestarian keanekaragaman hayati yang mencakup tiga tingkatan utama, yaitu keanekaragaman genetik, keanekaragaman spesies, dan keanekaragaman ekosistem. Tujuan utama dari biologi konservasi adalah menjaga agar seluruh komponen kehidupan tersebut tetap bertahan, berkembang, dan berfungsi secara berkelanjutan di alam. Ilmu ini lahir sebagai respons terhadap meningkatnya ancaman terhadap kehidupan di bumi, seperti kepunahan spesies, degradasi habitat, fragmentasi ekosistem, serta pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh aktivitas manusia seperti deforestasi, eksploitasi sumber daya alam secara berlebihan, dan perubahan iklim global.

Secara sederhana, biologi konservasi dapat dipahami sebagai disiplin ilmu yang menggabungkan berbagai cabang ilmu seperti biologi, ekologi, genetika, geografi, ekonomi, serta ilmu sosial dan kebijakan lingkungan. Pendekatan interdisipliner ini diperlukan karena pelestarian keanekaragaman hayati tidak hanya menyangkut aspek biologis, tetapi juga berhubungan erat dengan perilaku manusia, budaya lokal, dan kebijakan pemerintah. Dengan demikian, biologi konservasi tidak hanya bertujuan untuk memahami dan melindungi kehidupan, tetapi juga mengelola sumber daya hayati agar dapat dimanfaatkan secara bijaksana untuk mendukung keseimbangan ekosistem sekaligus kesejahteraan manusia.

Michael E. Soulé (1985), salah satu tokoh pelopor dalam bidang ini, mendefinisikan biologi konservasi sebagai “*a crisis discipline*” atau “ilmu krisis”. Istilah ini digunakan karena biologi konservasi berkembang di tengah situasi darurat ekologis, di mana keputusan dan tindakan ilmiah harus segera diambil untuk mencegah hilangnya keanekaragaman hayati secara cepat dan permanen. Soulé menekankan bahwa biologi konservasi tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga aplikatif -menggabungkan pengetahuan ilmiah dengan nilai-nilai etika dan moral terhadap alam. Oleh karena itu, biologi konservasi tidak sekadar mempelajari kehidupan, tetapi juga berupaya mempertahankan kehidupan itu sendiri agar keberlanjutannya tetap terjaga untuk generasi mendatang.

Istilah konservasi memiliki akar kata dari bahasa Latin *conservare* yang berarti “memelihara” atau “menjaga bersama-sama”. Dalam konteks lingkungan, konservasi merujuk pada upaya pelestarian sumber daya alam agar dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan tanpa merusak fungsi ekologisnya. Seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan kesadaran akan krisis ekologi global, berbagai ahli mengemukakan definisi konservasi dengan penekanan yang berbeda sesuai dengan zamannya.

Menurut Aldo Leopold (1949), seorang ahli ekologi dan pelopor etika lingkungan, konservasi adalah “suatu keadaan keseimbangan antara manusia dan tanah (*land ethic*)”.

Ia menegaskan bahwa manusia merupakan bagian dari komunitas ekologis yang lebih luas, sehingga memiliki tanggung jawab moral untuk menjaga integritas, stabilitas, dan keindahan komunitas biotik. Pandangan Leopold menjadi dasar munculnya konsep etika lingkungan dan biologi konservasi modern.

Selanjutnya, Michael Allaby (1986) mendefinisikan konservasi sebagai upaya pengelolaan biosfer secara bijaksana untuk memastikan keberlanjutan spesies, gen, dan ekosistem di masa depan. Ia menyoroti pentingnya kebijakan dan perencanaan dalam konservasi, bukan sekadar pelestarian spesies secara terpisah. Definisi ini menandai pergeseran dari konservasi berbasis perlindungan pasif menuju konservasi yang aktif dan terintegrasi dalam pembangunan.

Menurut Richard B. Primack (1993) dalam bukunya *A Primer of Conservation Biology*, konservasi diartikan sebagai “ilmu yang mempelajari upaya pelestarian keanekaragaman hayati pada semua tingkat organisasi-gen, spesies, dan ekosistem -serta pemanfaatannya secara berkelanjutan.” Primack menekankan bahwa konservasi bukan hanya tindakan moral, tetapi juga bidang ilmiah yang memadukan ekologi, genetika, ekonomi, dan kebijakan publik untuk menjaga keseimbangan alam.

IUCN (International Union for Conservation of Nature, 1994) memberikan definisi konservasi sebagai “pengelolaan penggunaan biosfer oleh manusia sedemikian rupa sehingga dapat memberikan manfaat terbesar bagi generasi sekarang sambil mempertahankan potensinya untuk memenuhi kebutuhan generasi mendatang.” Definisi ini menegaskan aspek sustainability (keberlanjutan) dan tanggung jawab lintas generasi dalam pengelolaan sumber daya alam.

Menurut World Commission on Environment and Development (WCED, 1987) dalam laporan *Our Common Future*, konservasi adalah bagian integral dari pembangunan berkelanjutan yang mengupayakan keseimbangan antara kebutuhan ekonomi, sosial, dan ekologis. Laporan ini memperkenalkan istilah *sustainable development*, yang kemudian menjadi landasan global dalam kebijakan lingkungan dan konservasi hingga kini.

Sementara itu, Odum (1996), seorang ahli ekologi sistem, menyatakan bahwa konservasi adalah penerapan prinsip-prinsip ekologi untuk menjaga keseimbangan sistem alam agar tetap stabil dan produktif. Menurutnya, konservasi mencakup upaya menjaga daur energi, materi, dan informasi dalam ekosistem agar tidak terganggu oleh aktivitas manusia. Dengan demikian, konservasi bukan hanya pelestarian spesies, tetapi juga pemeliharaan fungsi ekologis yang menopang kehidupan manusia.

Menurut Supriatna (2008), konservasi merupakan upaya sadar untuk melindungi, melestarikan, dan memanfaatkan keanekaragaman hayati serta ekosistemnya agar tetap lestari dan memberikan manfaat bagi kesejahteraan manusia. Dalam konteks Indonesia, konservasi menjadi bagian penting dari strategi nasional untuk menjaga kekayaan hayati tropis yang tinggi, sekaligus sebagai tanggapan terhadap ancaman deforestasi, eksploitasi berlebihan, dan perubahan iklim.

Selanjutnya, Alikodra (2010) mendefinisikan konservasi sebagai proses pengelolaan sumber daya alam secara terpadu untuk menjamin kelestarian fungsi ekologisnya,

keberlanjutan manfaat ekonomi, dan kesejahteraan sosial masyarakat. Ia menekankan pentingnya peran masyarakat lokal dan kearifan tradisional dalam upaya konservasi, karena keberhasilan pelestarian alam bergantung pada keterlibatan manusia di dalamnya.

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2017), konservasi sumber daya alam hayati dan ekosistemnya adalah upaya pengelolaan yang meliputi perlindungan sistem penyangga kehidupan, pengawetan keanekaragaman jenis tumbuhan dan satwa beserta ekosistemnya, serta pemanfaatan secara lestari sumber daya alam hayati dan ekosistemnya. Definisi ini tertuang dalam Undang-Undang No. 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya, yang menjadi dasar hukum pelaksanaan konservasi di Indonesia.

Dari berbagai pendapat tersebut dapat disimpulkan bahwa konservasi bukan sekadar kegiatan melindungi flora dan fauna dari kepunahan, tetapi merupakan upaya ilmiah, sosial, dan moral untuk menjaga keseimbangan antara kebutuhan manusia dan kelestarian alam. Konservasi harus dilihat sebagai investasi jangka panjang yang menjamin keberlanjutan kehidupan di bumi. Dengan demikian, konservasi berfungsi sebagai jembatan antara manusia dan alam -bukan untuk menguasai, melainkan untuk hidup berdampingan secara harmonis.

1.2. Sejarah dan Perkembangan Ilmu Konservasi

Ilmu konservasi merupakan bidang multidisipliner yang berkembang dari perpaduan antara ekologi, biologi, dan etika lingkungan, serta dipengaruhi oleh perubahan sosial, ekonomi, dan politik manusia terhadap alam. Perjalanan panjang perkembangan ilmu ini tidak terlepas dari kesadaran manusia terhadap dampak eksploitasi sumber daya alam secara berlebihan yang mengancam keberlanjutan kehidupan di bumi.

1. Periode Awal: Konservasi Sebagai Etika dan Praktik Tradisional

Sejak zaman kuno, berbagai peradaban telah menerapkan prinsip konservasi secara tradisional, meskipun belum dikenal secara ilmiah. Masyarakat pada masa itu sudah memahami pentingnya menjaga keseimbangan alam demi kelangsungan hidup. Misalnya, dalam peradaban Mesir kuno dan Mesopotamia, terdapat aturan yang mengatur penebangan pohon dan penggunaan air irigasi secara bijaksana. Demikian pula, masyarakat Asia Timur seperti Cina dan Jepang telah mengenal sistem pertanian berkelanjutan yang menjaga kesuburan tanah melalui rotasi tanaman dan penggunaan pupuk organik.

Di Nusantara, nilai-nilai konservasi juga telah lama hidup dalam kearifan lokal. Masyarakat adat di berbagai daerah menerapkan prinsip "*leuweung hejo rakyat ngejo*" (hutan lestari rakyat sejahtera) di Sunda, atau sistem *awig-awig* di Bali yang mengatur pemanfaatan sumber daya alam secara seimbang. Kearifan seperti *sasi* di Maluku, *panglima laot* di Aceh, dan *repong damar* di Lampung adalah contoh praktik konservasi berbasis masyarakat yang telah berlangsung berabad-abad sebelum munculnya konsep konservasi modern.

2. Era Revolusi Industri dan Lahirnya Kesadaran Ekologis (Abad ke-18–19)

Perkembangan ilmu konservasi mulai mendapat perhatian serius pada masa Revolusi Industri (sekitar abad ke-18 hingga ke-19). Pada masa ini, kemajuan teknologi dan eksploitasi besar-besaran terhadap sumber daya alam menyebabkan kerusakan lingkungan yang signifikan, seperti deforestasi, pencemaran, dan kepunahan spesies. Kondisi tersebut menimbulkan keprihatinan di kalangan ilmuwan dan pemikir lingkungan.

Salah satu tokoh penting pada masa ini adalah George Perkins Marsh, yang melalui bukunya *Man and Nature* (1864) mengingatkan bahwa manusia memiliki kekuatan besar untuk merusak bumi. Ia menekankan bahwa tindakan manusia terhadap alam dapat menghancurkan fondasi peradaban itu sendiri. Gagasan Marsh kemudian menjadi cikal bakal gerakan konservasi di Amerika Serikat dan Eropa.

Pada akhir abad ke-19, muncul tokoh John Muir yang dikenal sebagai “Bapak Konservasi Alam”. Ia mendirikan organisasi *Sierra Club* dan memperjuangkan pendirian taman nasional pertama di dunia, yaitu Yellowstone National Park (1872). Muir menekankan pentingnya melindungi alam liar (wilderness) demi nilai spiritual dan estetika, bukan sekadar ekonomi. Sementara itu, Gifford Pinchot, kepala pertama Dinas Kehutanan AS, mengembangkan konsep *wise use* atau pemanfaatan bijaksana sumber daya alam untuk kepentingan manusia dan generasi mendatang. Perdebatan antara pandangan Muir (preservasi) dan Pinchot (konservasi) menjadi titik awal munculnya dua paradigma utama dalam konservasi modern.

3. Lahirnya Konservasi Modern (Abad ke-20)

Memasuki abad ke-20, konsep konservasi mulai dikembangkan secara ilmiah dengan dukungan disiplin ekologi dan biologi populasi. Pandangan bahwa spesies memiliki peran penting dalam keseimbangan ekosistem mendorong munculnya pendekatan berbasis penelitian. Pada periode ini, banyak taman nasional dan cagar alam dibentuk di berbagai negara sebagai langkah perlindungan terhadap flora dan fauna yang terancam punah.

Tokoh penting pada masa ini adalah Aldo Leopold, yang melalui karyanya *A Sand County Almanac* (1949) memperkenalkan konsep “land ethic”, yaitu etika tanah yang menekankan bahwa manusia merupakan bagian dari komunitas ekologis. Menurut Leopold, konservasi bukan hanya persoalan teknis pengelolaan sumber daya, tetapi juga persoalan moral dan tanggung jawab manusia terhadap alam.

Pada tahun 1948, terbentuk IUCN (International Union for Conservation of Nature) yang menjadi lembaga internasional pertama yang fokus pada upaya konservasi global. Lembaga ini berperan penting dalam merumuskan kebijakan, kategori kawasan lindung, dan daftar merah spesies terancam punah (*IUCN Red List*). Sejak saat itu, istilah “konservasi” tidak lagi hanya berarti perlindungan, tetapi juga pengelolaan berkelanjutan.

4. Era Ekologi Global dan Integrasi Pembangunan Berkelanjutan (1970–2000-an)

Pada tahun 1970-an, meningkatnya kesadaran global terhadap krisis lingkungan melahirkan gerakan konservasi yang lebih sistematis dan terukur. Konferensi PBB tentang Lingkungan Hidup di Stockholm tahun 1972 menjadi tonggak penting bagi lahirnya

kebijakan lingkungan internasional. Selanjutnya, laporan World Conservation Strategy (1980) oleh IUCN, UNEP, dan WWF menegaskan pentingnya konservasi sebagai bagian dari pembangunan berkelanjutan.

Pada tahun 1987, World Commission on Environment and Development (WCED) melalui laporan *Our Common Future* memperkenalkan konsep pembangunan berkelanjutan (sustainable development) yang menjadi dasar pemikiran konservasi modern: “memenuhi kebutuhan generasi sekarang tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang.” Sejak saat itu, konservasi dipahami sebagai bagian integral dari pembangunan ekonomi, sosial, dan lingkungan.

5. Era Biologi Konservasi Modern (2000–sekarang)

Memasuki abad ke-21, ilmu konservasi berkembang pesat dengan dukungan teknologi dan pendekatan ilmiah yang lebih maju. Disiplin baru bernama biologi konservasi muncul sebagai cabang ilmu biologi yang fokus pada pelestarian keanekaragaman hayati. Tokoh seperti Richard B. Primack, Michael Soulé, dan Edward O. Wilson menjadi pelopor dalam pengembangan teori dan metode biologi konservasi.

Biologi konservasi tidak hanya mempelajari spesies yang terancam punah, tetapi juga memanfaatkan genetika, biostatistika, dan teknologi informasi (seperti sistem informasi geografis/GIS, pemodelan habitat, dan DNA barcoding) untuk merancang strategi pelestarian yang efektif. Pendekatan ekosistem dan partisipasi masyarakat menjadi pilar penting dalam praktik konservasi modern.

Dalam konteks Indonesia, perkembangan ilmu konservasi dimulai sejak masa kolonial dengan pembentukan cagar alam seperti Cibodas (1889) dan Ujung Kulon (1921). Setelah kemerdekaan, pemerintah mengesahkan Undang-Undang No. 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya, yang menjadi dasar kebijakan konservasi nasional. Saat ini, konservasi di Indonesia tidak hanya berfokus pada pelestarian kawasan lindung, tetapi juga melibatkan masyarakat lokal, lembaga swadaya masyarakat, dan dunia akademik dalam upaya restorasi ekosistem dan pelestarian keanekaragaman hayati.

1.3. Prinsip-Prinsip Dasar Konservasi

Prinsip-prinsip dasar konservasi berfungsi sebagai landasan dalam pengelolaan dan pelestarian sumber daya alam agar keberadaannya tetap lestari serta dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan untuk kesejahteraan manusia. Konservasi tidak hanya menekankan pada perlindungan spesies langka, tetapi juga mencakup upaya menjaga keseimbangan ekosistem, keanekaragaman genetik, dan fungsi ekologis yang menopang kehidupan di bumi. Prinsip ini muncul dari kesadaran bahwa seluruh makhluk hidup saling bergantung satu sama lain dalam sistem alam yang kompleks dan dinamis. Oleh karena itu, kegiatan konservasi harus dilakukan dengan memperhatikan keterkaitan antara manusia dan lingkungannya secara menyeluruh.

Salah satu prinsip utama dalam konservasi adalah pelestarian keanekaragaman hayati. Setiap spesies memiliki peran ekologis tertentu dalam menjaga kestabilan ekosistem, baik sebagai produsen, konsumen, maupun pengurai. Kehilangan satu spesies

dapat memicu gangguan terhadap rantai makanan dan fungsi ekologis lainnya. Prinsip ini sejalan dengan pandangan Richard B. Primack (1993) yang menyatakan bahwa konservasi bertujuan melindungi keanekaragaman gen, spesies, dan ekosistem agar tetap berfungsi secara alami. Oleh karena itu, pelestarian tidak hanya dilakukan terhadap individu atau spesies tertentu, tetapi juga terhadap habitat dan lingkungan tempat mereka hidup.

Prinsip kedua adalah pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan (sustainable use). Prinsip ini menekankan bahwa alam dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan manusia selama dilakukan dengan bijaksana dan tidak melebihi daya dukungnya. Menurut IUCN (1994), konservasi bukan berarti melarang pemanfaatan sumber daya, melainkan mengatur penggunaannya agar manfaatnya dapat dirasakan oleh generasi sekarang tanpa mengorbankan kebutuhan generasi mendatang. Dengan demikian, pemanfaatan hasil hutan, perikanan, atau keanekaragaman hayati lainnya harus mempertimbangkan keseimbangan ekologis serta kelestarian jangka panjang.

Prinsip ketiga adalah perlindungan dan pemulihan ekosistem alami. Ekosistem yang rusak akibat aktivitas manusia perlu direstorasi agar dapat kembali menjalankan fungsi ekologisnya. Restorasi ekosistem mencakup rehabilitasi hutan, konservasi tanah dan air, serta pengendalian spesies invasif. Prinsip ini menekankan bahwa konservasi tidak hanya bersifat defensif, tetapi juga proaktif - berupaya memperbaiki sistem alam yang telah terganggu. Dalam konteks modern, kegiatan seperti reboisasi, restorasi mangrove, dan konservasi terumbu karang merupakan penerapan nyata dari prinsip ini.

Selanjutnya, prinsip penting lainnya adalah keterpaduan antara ilmu pengetahuan dan partisipasi masyarakat. Upaya konservasi tidak akan berhasil tanpa dukungan masyarakat lokal yang hidup di sekitar kawasan konservasi. Oleh karena itu, pendekatan yang bersifat partisipatif menjadi kunci keberhasilan pelestarian alam. Masyarakat perlu dilibatkan dalam perencanaan, pelaksanaan, dan pengawasan kegiatan konservasi. Selain itu, penerapan ilmu pengetahuan seperti ekologi, genetika, dan teknologi informasi (misalnya GIS, pemantauan satelit, atau bioindikator) membantu meningkatkan efektivitas pengelolaan kawasan konservasi.

Prinsip berikutnya adalah tanggung jawab lintas generasi (intergenerational responsibility). Alam bukan hanya warisan dari generasi sebelumnya, tetapi juga titipan untuk generasi mendatang. Oleh karena itu, manusia memiliki tanggung jawab moral dan etis untuk menjaga agar sumber daya alam tidak habis atau rusak. Prinsip ini sejalan dengan konsep pembangunan berkelanjutan yang dicanangkan oleh WCED (1987) dalam laporan *Our Common Future*. Konservasi harus menjadi bagian integral dari pembangunan nasional agar pertumbuhan ekonomi tidak menimbulkan kerusakan lingkungan yang mengancam masa depan.

Selain itu, terdapat prinsip pengelolaan adaptif (adaptive management) yang menekankan bahwa kebijakan konservasi harus bersifat fleksibel dan dapat disesuaikan dengan perubahan kondisi alam maupun sosial. Alam adalah sistem dinamis, sehingga strategi konservasi harus terus dievaluasi dan diperbaiki berdasarkan hasil pemantauan serta temuan ilmiah terbaru. Pendekatan ini membantu pengelola kawasan konservasi

untuk merespons perubahan lingkungan seperti perubahan iklim, bencana alam, atau tekanan populasi manusia.

Dengan demikian, prinsip-prinsip dasar konservasi mencakup pelestarian keanekaragaman hayati, pemanfaatan berkelanjutan, perlindungan ekosistem, partisipasi masyarakat, tanggung jawab lintas generasi, dan pengelolaan adaptif berbasis ilmu pengetahuan. Semua prinsip ini saling melengkapi dan menjadi dasar bagi kebijakan serta praktik konservasi di tingkat lokal, nasional, maupun global. Penerapan prinsip-prinsip tersebut secara konsisten diharapkan mampu menjaga keseimbangan antara kebutuhan manusia dan kelestarian alam, sehingga keberlanjutan kehidupan di bumi dapat terjamin untuk generasi sekarang dan mendatang

1.4. Tujuan dan Pentingnya Konservasi bagi Keberlanjutan Hayati

Konservasi memiliki tujuan utama untuk menjaga kelestarian keanekaragaman hayati -mencakup gen, spesies, dan ekosistem -agar tetap berfungsi secara alami dan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan untuk kesejahteraan manusia. Keanekaragaman hayati merupakan fondasi utama kehidupan di bumi karena menyediakan berbagai layanan ekosistem seperti penyediaan oksigen, penyimpanan karbon, penyerapan air, penyerbukan tanaman, serta sumber pangan dan obat-obatan. Oleh karena itu, upaya konservasi berperan penting dalam menjaga keberlanjutan hayati dan keseimbangan sistem kehidupan.

Secara umum, tujuan konservasi meliputi tiga aspek utama: perlindungan, pelestarian, dan pemanfaatan berkelanjutan. Pertama, konservasi bertujuan melindungi spesies dan habitat alami dari ancaman kepunahan akibat aktivitas manusia seperti deforestasi, polusi, perburuan, dan perubahan iklim. Perlindungan ini dilakukan melalui pembentukan kawasan konservasi seperti taman nasional, cagar alam, dan suaka margasatwa. Langkah ini tidak hanya menjaga populasi satwa dan tumbuhan langka, tetapi juga mempertahankan fungsi ekologis wilayah tersebut.

Kedua, konservasi bertujuan melestarikan keanekaragaman genetik dalam suatu populasi. Variasi genetik penting untuk menjamin kemampuan adaptasi spesies terhadap perubahan lingkungan, penyakit, dan tekanan seleksi alam. Hilangnya keragaman genetik dapat mengurangi ketahanan spesies, sehingga meningkatkan risiko kepunahan. Oleh karena itu, pelestarian plasma nutfah, bank gen, dan kebun botani menjadi bagian dari strategi konservasi modern untuk melindungi kekayaan genetik bumi.

Ketiga, konservasi bertujuan memanfaatkan sumber daya alam secara berkelanjutan (*sustainable use*). Manusia bergantung pada hasil alam untuk kebutuhan pangan, papan, obat-obatan, energi, dan kesejahteraan ekonomi. Namun, pemanfaatan tersebut harus dilakukan tanpa merusak ekosistem atau menguras sumber daya secara berlebihan. Prinsip ini sejalan dengan definisi konservasi dari IUCN (1994) yang menyebutkan bahwa konservasi merupakan pengelolaan penggunaan biosfer agar dapat memberikan manfaat terbesar bagi generasi sekarang sekaligus mempertahankan

potensinya bagi generasi mendatang. Dengan demikian, konservasi menjadi instrumen penting dalam mencapai keseimbangan antara pembangunan dan kelestarian lingkungan.

Selain memiliki tujuan ekologis, konservasi juga mempunyai nilai sosial dan ekonomi. Ekosistem yang terjaga menyediakan sumber daya untuk pertanian, perikanan, dan pariwisata alam. Keanekaragaman hayati yang lestari juga menjadi sumber pengetahuan ilmiah dan inovasi bioteknologi. Di sisi lain, konservasi memberikan manfaat sosial melalui peningkatan kesadaran lingkungan, pelibatan masyarakat dalam pengelolaan sumber daya alam, serta pemberdayaan ekonomi berbasis ekowisata dan hasil hutan non-kayu. Oleh karena itu, konservasi tidak hanya melindungi alam, tetapi juga meningkatkan kualitas hidup manusia secara berkelanjutan.

Dari segi lingkungan, konservasi penting untuk menjaga stabilitas dan daya dukung ekosistem. Hutan, misalnya, berperan dalam mengatur iklim, menyimpan karbon, dan mencegah erosi tanah. Terumbu karang menjaga keseimbangan ekosistem laut, sementara lahan basah berfungsi sebagai penyaring alami air dan habitat penting bagi berbagai spesies. Jika ekosistem ini rusak, maka fungsi ekologisnya akan terganggu, yang pada akhirnya berdampak langsung terhadap kehidupan manusia, seperti meningkatnya bencana alam, krisis air bersih, dan kehilangan sumber pangan.

Konservasi juga memiliki dimensi moral dan etika, sebagaimana dikemukakan oleh Aldo Leopold (1949) melalui konsep *land ethic*, yaitu bahwa manusia memiliki tanggung jawab moral untuk menjaga integritas, stabilitas, dan keindahan komunitas biotik. Alam bukan hanya sumber daya untuk dieksploitasi, tetapi juga memiliki nilai intrinsik yang harus dihormati. Dengan demikian, konservasi menjadi bentuk penghargaan manusia terhadap kehidupan itu sendiri.

Dalam konteks global, pentingnya konservasi semakin meningkat seiring dengan krisis keanekaragaman hayati dan perubahan iklim. Laporan *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES, 2019)* memperkirakan bahwa lebih dari satu juta spesies tumbuhan dan hewan terancam punah akibat aktivitas manusia. Kondisi ini menegaskan bahwa tanpa konservasi, sistem kehidupan di bumi akan mengalami keruntuhan ekologis yang dapat mengancam keberadaan manusia itu sendiri.

Di Indonesia, pentingnya konservasi bagi keberlanjutan hayati menjadi semakin nyata karena negara ini dikenal sebagai salah satu megabiodiversity country dengan kekayaan flora dan fauna yang luar biasa. Namun, ancaman deforestasi, alih fungsi lahan, dan perburuan satwa liar terus meningkat. Oleh karena itu, upaya konservasi di Indonesia diarahkan pada perlindungan ekosistem kunci seperti hutan hujan tropis, mangrove, dan terumbu karang, disertai dengan pelibatan masyarakat lokal dalam pengelolaan kawasan konservasi. Pendekatan berbasis ekosistem dan kearifan lokal menjadi strategi penting dalam memastikan keberhasilan konservasi di tingkat nasional.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa tujuan utama konservasi adalah menjaga keberlanjutan kehidupan di bumi melalui pelestarian keanekaragaman hayati dan keseimbangan ekosistem. Konservasi bukan hanya tanggung jawab ilmuwan atau pemerintah, tetapi juga kewajiban moral setiap individu. Melalui konservasi, manusia tidak

hanya melindungi alam untuk masa kini, tetapi juga mewariskan kehidupan yang lebih baik bagi generasi mendatang.

1.5. Hubungan Biologi Konservasi dengan Disiplin Ilmu Lain

Biologi konservasi merupakan bidang ilmu yang bersifat multidisipliner dan interdisipliner, karena berupaya memahami serta memecahkan masalah pelestarian keanekaragaman hayati dari berbagai sudut pandang ilmu pengetahuan. Tidak seperti cabang biologi tradisional yang cenderung fokus pada satu aspek kehidupan, biologi konservasi mengintegrasikan ilmu biologi, ekologi, genetika, geografi, ekonomi, sosial, hingga hukum dan politik lingkungan. Hal ini disebabkan oleh kenyataan bahwa permasalahan konservasi tidak hanya bersifat ekologis, tetapi juga melibatkan faktor manusia dan kebijakan yang kompleks.

1. Biologi dan Ekologi

Hubungan biologi konservasi dengan biologi umum dan ekologi merupakan fondasi utama dari disiplin ini. Biologi memberikan dasar pemahaman tentang struktur, fungsi, dan keanekaragaman makhluk hidup, sedangkan ekologi mempelajari interaksi antara organisme dengan lingkungannya. Melalui kajian ekologi populasi dan ekosistem, biologi konservasi dapat menentukan spesies mana yang terancam punah, bagaimana hubungan antarspesies dalam komunitas, serta bagaimana suatu ekosistem dapat dipertahankan keseimbangannya. Misalnya, konsep *carrying capacity*, *food web*, dan *succession* dalam ekologi menjadi alat penting untuk merancang strategi konservasi yang efektif.

2. Genetika dan Evolusi

Aspek genetika memiliki peran penting dalam konservasi karena keanekaragaman genetik menentukan kemampuan suatu spesies untuk beradaptasi terhadap perubahan lingkungan. Biologi konservasi menggunakan prinsip genetika populasi untuk mempelajari variasi genetik dalam populasi kecil, menghindari perkawinan sedarah (*inbreeding*), dan menjaga stabilitas populasi jangka panjang. Teknik modern seperti DNA barcoding, analisis genomik, dan molecular marker digunakan untuk mengidentifikasi spesies, melacak asal-usul populasi, serta merancang program pemuliaan atau reintroduksi satwa liar. Di sisi lain, ilmu evolusi membantu menjelaskan proses seleksi alam dan spesiasi yang membentuk keanekaragaman hayati, sehingga konservasi dapat mempertahankan potensi evolusioner suatu spesies.

3. Geografi dan Ilmu Lingkungan

Ilmu geografi dan lingkungan berperan dalam memahami distribusi spasial spesies dan habitat di permukaan bumi. Dengan bantuan teknologi seperti Sistem Informasi Geografis (SIG) dan remote sensing (penginderaan jauh), para ahli konservasi dapat memetakan sebaran spesies, memantau perubahan tutupan lahan, dan mengidentifikasi kawasan yang memiliki nilai konservasi tinggi. Informasi ini penting untuk menentukan lokasi prioritas konservasi, merancang koridor ekologis, dan mengevaluasi dampak pembangunan terhadap ekosistem. Selain itu, ilmu lingkungan membantu memahami hubungan antara aktivitas manusia -seperti urbanisasi, industri, dan pertanian -dengan degradasi ekosistem.

4. Ekonomi dan Pembangunan Berkelanjutan

Biologi konservasi juga memiliki keterkaitan erat dengan ilmu ekonomi, terutama dalam konteks ekonomi lingkungan dan ekonomi sumber daya alam. Aspek ekonomi penting untuk menilai nilai manfaat keanekaragaman hayati, baik secara langsung (seperti hasil hutan, perikanan, dan wisata alam) maupun tidak langsung (seperti jasa ekosistem, penyimpanan karbon, dan pengaturan iklim). Pendekatan ekonomi membantu menentukan nilai ekonomi ekosistem (total economic value) serta mendukung kebijakan konservasi melalui instrumen insentif, pajak lingkungan, dan pembayaran jasa ekosistem (*payment for ecosystem services*). Dengan demikian, konservasi menjadi bagian dari strategi pembangunan berkelanjutan yang menggabungkan kepentingan ekologi dan ekonomi secara seimbang.

5. Ilmu Sosial dan Antropologi

Konservasi tidak akan berhasil tanpa memahami dimensi sosial dan budaya masyarakat. Oleh karena itu, biologi konservasi juga berkaitan erat dengan ilmu sosial, antropologi, dan sosiologi lingkungan. Masyarakat yang hidup di sekitar kawasan konservasi sering kali memiliki sistem pengetahuan dan praktik tradisional yang berperan penting dalam menjaga kelestarian alam. Pendekatan sosial memungkinkan konservasi dilakukan secara partisipatif dengan melibatkan masyarakat lokal sebagai mitra, bukan objek kebijakan. Studi antropologi membantu memahami kearifan lokal seperti sistem *sasi* di Maluku, *awig-awig* di Bali, atau *panglima laot* di Aceh, yang terbukti efektif dalam pengelolaan sumber daya alam secara lestari.

6. Hukum dan Kebijakan Lingkungan

Aspek hukum menjadi pilar penting dalam penerapan prinsip konservasi. Biologi konservasi berkaitan erat dengan ilmu hukum lingkungan, yang menetapkan aturan perlindungan terhadap spesies dan kawasan lindung. Di Indonesia, kerangka hukum konservasi diatur dalam Undang-Undang No. 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya. Selain itu, kebijakan internasional seperti Convention on Biological Diversity (CBD, 1992) dan CITES (Convention on International Trade in Endangered Species) menjadi dasar hukum bagi pelestarian spesies dan pengendalian perdagangan satwa liar. Hubungan ini menunjukkan bahwa keberhasilan konservasi tidak hanya ditentukan oleh ilmu pengetahuan, tetapi juga oleh regulasi dan komitmen politik.

7. Pendidikan dan Komunikasi Lingkungan

Bidang pendidikan dan komunikasi lingkungan berperan dalam membangun kesadaran dan perubahan perilaku masyarakat terhadap pentingnya konservasi. Pendidikan konservasi, baik formal maupun nonformal, membantu menanamkan nilai-nilai etika lingkungan sejak dini. Melalui komunikasi publik, media massa, dan kampanye lingkungan, masyarakat dapat diajak untuk berpartisipasi aktif dalam upaya pelestarian keanekaragaman hayati. Oleh karena itu, pendidikan dan penyebaran informasi ilmiah menjadi aspek pendukung yang vital dalam keberhasilan implementasi konservasi.

BAB 2

KEANEKARAGAMAN HAYATI (*BIODIVERSITAS*)

2.1 Konsep dan Tingkatan Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati, atau biodiversitas, merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan seluruh variasi kehidupan di bumi, mulai dari tingkat genetik hingga ekosistem. Istilah ini mencakup seluruh bentuk kehidupan-tumbuhan, hewan, mikroorganisme, serta interaksi kompleks di antara mereka dengan lingkungannya. Keanekaragaman hayati menjadi dasar bagi stabilitas ekosistem dan keberlanjutan kehidupan manusia karena menyediakan sumber pangan, obat-obatan, bahan baku industri, serta jasa ekosistem seperti penyediaan oksigen, penyuburan tanah, dan pengaturan iklim. Oleh karena itu, memahami konsep dan tingkatan keanekaragaman hayati sangat penting dalam upaya pelestarian alam.

Secara umum, keanekaragaman hayati terbagi menjadi tiga tingkatan utama, yaitu keanekaragaman genetik, keanekaragaman spesies, dan keanekaragaman ekosistem. Keanekaragaman genetik mengacu pada variasi gen atau sifat yang terdapat di dalam suatu populasi atau antar populasi spesies. Variasi genetik ini memungkinkan organisme untuk beradaptasi terhadap perubahan lingkungan, seperti suhu, ketersediaan makanan, atau serangan penyakit. Sebagai contoh, padi memiliki banyak varietas dengan perbedaan genetik yang menentukan ketahanan terhadap hama atau kondisi tanah tertentu.

Tingkatan kedua adalah keanekaragaman spesies, yang mencakup jumlah dan variasi spesies yang hidup di suatu wilayah. Indonesia, misalnya, dikenal sebagai salah satu negara megabiodiversitas karena memiliki jumlah spesies yang sangat tinggi, baik tumbuhan maupun hewan. Keanekaragaman spesies sangat penting bagi keseimbangan ekosistem karena setiap spesies memiliki peran ekologis tertentu, seperti produsen, konsumen, atau dekomposer. Hilangnya satu spesies dapat menimbulkan dampak berantai terhadap organisme lain dan stabilitas ekosistem secara keseluruhan.

Tingkatan ketiga adalah keanekaragaman ekosistem, yang menggambarkan variasi habitat atau sistem ekologis di suatu wilayah, seperti hutan hujan tropis, padang rumput, terumbu karang, dan rawa. Setiap ekosistem memiliki karakteristik fisik, kimia, serta biotik yang berbeda dan mendukung kehidupan berbagai organisme dengan adaptasi khusus. Keanekaragaman ekosistem memungkinkan terbentuknya jaringan kehidupan yang luas dan saling terhubung, sehingga mendukung kestabilan biosfer secara global.

Ketiga tingkatan keanekaragaman hayati tersebut saling berhubungan dan tidak dapat dipisahkan. Keanekaragaman genetik mendukung variasi spesies, sementara keberagaman spesies membentuk kompleksitas ekosistem. Jika salah satu tingkatan mengalami penurunan, maka keseimbangan kehidupan di bumi dapat terganggu. Oleh karena itu, upaya pelestarian keanekaragaman hayati harus mencakup perlindungan pada semua tingkatan -dari gen, spesies, hingga ekosistem untuk menjamin keberlanjutan kehidupan dan kesejahteraan generasi mendatang.

2.2 Nilai Ekologi, Ekonomi, Sosial, dan Budaya Biodiversitas

Keanekaragaman hayati atau biodiversitas merupakan fondasi utama bagi keberlangsungan kehidupan di bumi. Biodiversitas mencakup seluruh bentuk kehidupan mulai dari mikroorganisme hingga makhluk hidup kompleks serta interaksi di antara mereka dengan lingkungan tempat hidupnya. Keanekaragaman ini tidak hanya memiliki nilai ilmiah, tetapi juga memberikan manfaat nyata dalam aspek ekologi, ekonomi, sosial, dan budaya. Dengan memahami nilai-nilai tersebut, manusia diharapkan dapat menumbuhkan kesadaran akan pentingnya melestarikan dan memanfaatkan sumber daya hayati secara berkelanjutan.

1. Nilai Ekologi Keanekaragaman Hayati

Dari sudut pandang ekologi, keanekaragaman hayati berperan penting dalam menjaga keseimbangan dan kestabilan ekosistem. Setiap spesies memiliki peran ekologis yang spesifik dalam rantai makanan dan siklus kehidupan, seperti produsen, konsumen, dan dekomposer. Kehadiran berbagai spesies tumbuhan memungkinkan berlangsungnya proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen dan bahan organik sebagai sumber energi bagi makhluk hidup lain. Selain itu, keanekaragaman fauna, terutama serangga, berperan penting dalam proses penyerbukan dan penyebaran biji, yang mendukung regenerasi tumbuhan di alam.

Hilangnya satu spesies dari suatu ekosistem dapat menyebabkan terganggunya rantai makanan dan menurunnya kemampuan ekosistem untuk pulih dari gangguan. Misalnya, penurunan populasi lebah penyerbuk dapat berdampak pada berkurangnya hasil panen berbagai tanaman pangan. Keanekaragaman hayati juga meningkatkan daya tahan ekosistem terhadap perubahan lingkungan, seperti perubahan iklim dan bencana alam. Ekosistem yang kaya spesies umumnya lebih stabil karena setiap organisme memiliki kemampuan adaptasi yang berbeda, sehingga ketika terjadi gangguan, masih ada spesies lain yang mampu mempertahankan fungsi ekologisnya.

Selain itu, ekosistem alami seperti hutan hujan tropis, mangrove, dan terumbu karang memiliki fungsi ekologis yang sangat penting. Hutan berperan sebagai penyerap karbon dioksida dan pengatur siklus air, mangrove melindungi pesisir dari abrasi dan tsunami, sedangkan terumbu karang menyediakan habitat bagi ribuan spesies laut. Semua fungsi ini hanya dapat berjalan optimal jika keanekaragaman hayatinya tetap terjaga.

2. Nilai Ekonomi Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati juga memiliki nilai ekonomi yang tinggi karena menjadi sumber berbagai kebutuhan manusia. Sumber daya hayati menyediakan bahan pangan, obat-obatan, bahan baku industri, dan energi terbarukan. Sektor pertanian dan perikanan, misalnya, sangat bergantung pada keanekaragaman genetik untuk menghasilkan varietas unggul yang tahan terhadap hama dan perubahan iklim. Tanaman seperti padi, jagung, dan kedelai memiliki banyak varietas lokal yang merupakan hasil adaptasi terhadap lingkungan tertentu dan menjadi aset genetik penting untuk ketahanan pangan nasional.

Dalam bidang farmasi, ribuan senyawa aktif yang berasal dari tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme telah dikembangkan menjadi obat-obatan modern. Contohnya, tanaman kina menghasilkan senyawa antimalaria, dan bakteri *Streptomyces* menjadi sumber antibiotik. Selain itu, sektor pariwisata berbasis alam seperti ekowisata juga memberikan kontribusi ekonomi yang besar. Keindahan alam Indonesia dari taman nasional, hutan tropis, hingga terumbu karang menarik wisatawan domestik maupun mancanegara. Aktivitas wisata ini menciptakan lapangan kerja dan mendorong pertumbuhan ekonomi lokal, asalkan dilakukan dengan prinsip konservasi yang berkelanjutan.

3. Nilai Sosial Keanekaragaman Hayati

Secara sosial, keanekaragaman hayati memiliki peran yang sangat erat dengan kehidupan masyarakat. Banyak komunitas lokal, terutama masyarakat adat dan pedesaan, bergantung langsung pada sumber daya alam untuk memenuhi kebutuhan hidup sehari-hari. Mereka memanfaatkan tumbuhan dan hewan sebagai sumber pangan, obat tradisional, bahan bangunan, dan energi. Hubungan manusia dengan lingkungan ini membentuk sistem sosial yang khas, di mana terdapat norma, aturan, dan kearifan lokal dalam mengelola alam secara berkelanjutan.

Sebagai contoh, masyarakat di pedesaan sering kali memiliki tradisi larangan menebang pohon di daerah tertentu yang dianggap “keramat”, yang pada dasarnya berfungsi sebagai kawasan konservasi alami. Sistem gotong royong dalam pengelolaan lahan dan sumber daya air juga menunjukkan bagaimana nilai sosial tumbuh dari hubungan harmonis antara manusia dan keanekaragaman hayati. Dengan demikian, pelestarian biodiversitas juga berarti menjaga keharmonisan sosial dan ketahanan komunitas terhadap perubahan lingkungan.

4. Nilai Budaya Keanekaragaman Hayati

Dari aspek budaya, keanekaragaman hayati memiliki makna simbolis, estetika, dan spiritual yang mendalam. Banyak spesies tumbuhan dan hewan dijadikan lambang dalam ritual adat, upacara keagamaan, dan mitologi tradisional. Misalnya, pohon beringin dianggap sebagai simbol kekuatan dan perlindungan dalam budaya Jawa, sementara burung cendrawasih menjadi lambang keindahan dan kemuliaan di Papua. Selain itu, kekayaan hayati juga melahirkan beragam tradisi kuliner, pengobatan herbal, dan kesenian yang menjadi bagian dari identitas budaya bangsa.

Pelestarian keanekaragaman hayati berarti juga menjaga warisan budaya yang berharga. Pengetahuan tradisional masyarakat tentang pengelolaan sumber daya alam - seperti teknik bercocok tanam, pengobatan alami, dan sistem rotasi lahan — merupakan bentuk kebijaksanaan ekologis yang telah teruji oleh waktu. Dalam konteks modern, pengetahuan lokal ini dapat dikombinasikan dengan sains dan teknologi untuk menciptakan sistem pengelolaan sumber daya yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

2.3 Persebaran Keanekaragaman Hayati di Indonesia

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara dengan tingkat keanekaragaman hayati tertinggi di dunia. Negara ini menempati peringkat kedua setelah Brasil dalam hal

kekayaan spesies, sehingga disebut sebagai megabiodiversity country. Kekayaan tersebut tidak lepas dari letak geografis Indonesia yang strategis, berada di antara dua benua (Asia dan Australia) serta dua samudra (Hindia dan Pasifik), yang menyebabkan wilayah ini memiliki variasi iklim, topografi, dan ekosistem yang sangat beragam. Kondisi tersebut menjadikan Indonesia rumah bagi ribuan jenis flora dan fauna yang tersebar di darat, perairan tawar, dan laut.

Secara geografis, keanekaragaman hayati di Indonesia tersebar tidak merata, melainkan mengikuti pola biogeografi yang khas. Wilayah Indonesia terbagi ke dalam tiga zona utama, yaitu Zona Asiatis, Zona Peralihan (Wallacea), dan Zona Australis. Pembagian ini pertama kali dijelaskan oleh Alfred Russel Wallace, seorang naturalis Inggris yang meneliti fauna Indonesia pada abad ke-19. Zona Asiatis meliputi wilayah Sumatra, Kalimantan, Jawa, dan Bali, yang memiliki kesamaan flora dan fauna dengan daratan Asia. Zona ini didominasi oleh mamalia besar seperti harimau, gajah, badak, serta berbagai jenis primata dan burung hutan tropis.

Sementara itu, Zona Australis mencakup wilayah Papua dan pulau-pulau sekitarnya yang memiliki kesamaan fauna dengan Australia. Fauna di wilayah ini didominasi oleh hewan berkantung seperti kanguru pohon (*Dendrolagus* sp.), kasuari, dan berbagai jenis burung eksotis seperti burung cendrawasih (*Paradisaea* sp.) yang menjadi ikon keindahan alam Indonesia bagian timur. Vegetasi di zona ini umumnya berupa hutan hujan tropis yang lebat, pegunungan tinggi, serta ekosistem rawa dan pesisir yang kaya akan endemisme.

Di antara kedua zona tersebut terdapat Zona Peralihan (Wallacea), yang mencakup Sulawesi, Kepulauan Nusa Tenggara, dan Maluku. Zona ini merupakan daerah campuran yang memiliki ciri khas tersendiri karena terdapat spesies campuran antara Asia dan Australia, namun juga memiliki banyak spesies endemik yang tidak ditemukan di wilayah lain. Contohnya, anoa, babirusa, tarsius, dan burung maleo adalah hewan khas Sulawesi yang menjadi bukti kuat adanya isolasi evolusioner di wilayah ini. Wilayah Wallacea menjadi laboratorium alami yang sangat penting bagi kajian biogeografi dan evolusi spesies.

Selain keanekaragaman fauna, Indonesia juga memiliki kekayaan flora yang luar biasa. Diperkirakan terdapat lebih dari 40.000 jenis tumbuhan, dengan sekitar 15.000 di antaranya merupakan spesies endemik. Pulau-pulau besar seperti Kalimantan, Sumatra, dan Papua menjadi pusat keanekaragaman tumbuhan tropis dunia. Kalimantan, misalnya, dikenal dengan hutan hujan tropisnya yang menjadi habitat pohon *Dipterocarpaceae* - kelompok pohon tinggi yang menjadi ciri khas hutan tropis Asia Tenggara. Sementara itu, Papua menjadi habitat berbagai jenis anggrek, palem, dan tanaman obat yang belum sepenuhnya diteliti secara ilmiah.

Keanekaragaman hayati laut Indonesia juga tidak kalah menakjubkan. Sebagai bagian dari Coral Triangle atau segitiga terumbu karang dunia, perairan Indonesia menyimpan lebih dari 500 jenis terumbu karang dan 2.000 lebih spesies ikan laut. Wilayah seperti Raja Ampat, Bunaken, dan Wakatobi dikenal sebagai pusat keanekaragaman laut

tertinggi di dunia. Ekosistem laut Indonesia tidak hanya penting bagi keseimbangan ekologi global, tetapi juga menjadi sumber penghidupan utama bagi jutaan masyarakat pesisir yang bergantung pada perikanan dan pariwisata bahari.

Faktor lain yang memengaruhi persebaran keanekaragaman hayati di Indonesia adalah perbedaan iklim dan topografi. Indonesia memiliki iklim tropis dengan curah hujan yang tinggi dan suhu yang relatif stabil sepanjang tahun. Namun, variasi curah hujan dan ketinggian menyebabkan terbentuknya berbagai tipe ekosistem, mulai dari hutan hujan dataran rendah, hutan pegunungan, hutan mangrove, padang rumput, hingga savana. Masing-masing ekosistem tersebut memiliki komposisi spesies yang berbeda dan sering kali mendukung kehidupan organisme endemik yang telah beradaptasi terhadap kondisi lokal.

Sayangnya, persebaran keanekaragaman hayati yang begitu kaya ini juga menghadapi ancaman serius akibat aktivitas manusia. Deforestasi, perburuan liar, alih fungsi lahan, dan pencemaran lingkungan menyebabkan menurunnya populasi berbagai spesies dan hilangnya habitat alami. Pulau-pulau dengan kepadatan penduduk tinggi seperti Jawa mengalami tekanan ekologis yang besar, sementara wilayah dengan keanekaragaman tinggi seperti Papua dan Kalimantan menghadapi ancaman eksploitasi sumber daya alam. Oleh karena itu, konservasi keanekaragaman hayati di Indonesia harus dilakukan berdasarkan pendekatan spasial dan ekologis yang memperhatikan karakteristik persebaran tiap wilayah.

Secara keseluruhan, persebaran keanekaragaman hayati di Indonesia mencerminkan kompleksitas biogeografis yang luar biasa dan menjadikan negeri ini sebagai salah satu pusat kehidupan terbesar di dunia. Kekayaan alam ini merupakan aset berharga bagi ilmu pengetahuan, ekonomi, dan kesejahteraan manusia, sekaligus tanggung jawab besar bagi bangsa Indonesia untuk menjaga dan melestarikannya demi keberlanjutan kehidupan generasi mendatang.

2.4 Ancaman terhadap Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati merupakan aset penting bagi keberlangsungan kehidupan di bumi. Namun, dalam beberapa dekade terakhir, biodiversitas mengalami penurunan yang sangat cepat akibat berbagai aktivitas manusia. Hilangnya habitat, eksploitasi berlebihan, pencemaran lingkungan, perubahan iklim, serta masuknya spesies invasif menjadi ancaman serius bagi kelestarian flora dan fauna di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Kondisi ini menyebabkan banyak spesies berada dalam status terancam punah, bahkan sebagian telah hilang sebelum sempat dikenali secara ilmiah.

1. Kehilangan Habitat (Deforestasi dan Fragmentasi Lahan)

Hilangnya habitat merupakan ancaman terbesar terhadap keanekaragaman hayati. Aktivitas manusia seperti pembukaan hutan untuk pertanian, perkebunan, pemukiman, dan industri menyebabkan kerusakan ekosistem alami. Di Indonesia, deforestasi terjadi dalam skala besar, terutama di Kalimantan, Sumatra, dan Papua. Hutan tropis yang semula menjadi rumah bagi ribuan spesies kini berkurang drastis setiap tahunnya. Fragmentasi

habitat juga menyebabkan populasi hewan terisolasi dalam area yang kecil, sehingga mengurangi kemampuan mereka untuk berkembang biak dan bertahan hidup. Misalnya, populasi orangutan Kalimantan (*Pongo pygmaeus*) semakin menurun akibat hilangnya hutan yang menjadi sumber makanan dan tempat berlindung.

2. Eksploitasi Berlebihan terhadap Sumber Daya Alam

Eksploitasi berlebihan, baik terhadap tumbuhan maupun hewan, turut mempercepat kepunahan spesies. Penebangan liar, perburuan satwa langka, dan penangkapan ikan dengan cara destruktif seperti penggunaan bom dan racun merupakan contoh nyata eksploitasi yang tidak berkelanjutan. Banyak jenis kayu bernilai tinggi, seperti merbau dan ulin, ditebang tanpa memperhatikan regenerasi alami. Sementara itu, satwa seperti harimau sumatra, badak jawa, dan penyu hijau terus diburu karena nilai ekonominya yang tinggi. Jika tidak dikendalikan, eksploitasi berlebihan ini akan menghilangkan sumber daya genetik yang sangat penting bagi masa depan.

3. Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan menjadi ancaman lain yang signifikan bagi keanekaragaman hayati. Limbah industri, pestisida pertanian, logam berat, dan plastik menyebabkan degradasi kualitas air, tanah, dan udara. Ekosistem perairan menjadi salah satu yang paling terdampak, terutama akibat pencemaran bahan kimia dan limbah plastik yang mengancam kehidupan biota laut. Penumpukan sampah plastik di laut dapat menyebabkan kematian pada hewan seperti penyu, burung laut, dan ikan karena tertelan atau terjat. Di sisi lain, penggunaan pestisida dan herbisida secara berlebihan juga membunuh organisme non-target seperti serangga penyerbuk dan mikroorganisme tanah yang berperan penting dalam kesuburan ekosistem.

4. Perubahan Iklim Global

Perubahan iklim global menjadi ancaman besar yang bersifat jangka panjang. Peningkatan suhu bumi, perubahan pola curah hujan, dan naiknya permukaan air laut berdampak langsung terhadap ekosistem darat maupun laut. Banyak spesies tidak mampu beradaptasi terhadap perubahan suhu dan kehilangan habitat yang sesuai. Di wilayah pegunungan, misalnya, spesies yang hidup di dataran tinggi seperti burung dan tumbuhan endemik menghadapi risiko kepunahan karena ruang hidup mereka semakin menyempit. Di lautan, kenaikan suhu air laut menyebabkan pemutihan terumbu karang (*coral bleaching*), yang berakibat pada hilangnya habitat bagi ribuan spesies ikan tropis. Dampak perubahan iklim ini juga memperparah bencana ekologis seperti kekeringan, kebakaran hutan, dan badai tropis.

5. Masuknya Spesies Invasif

Spesies invasif adalah organisme asing yang masuk ke suatu ekosistem dan menimbulkan gangguan terhadap spesies asli. Kehadiran spesies invasif dapat mengubah keseimbangan ekosistem dengan cara memangsa, bersaing, atau menyebarkan penyakit pada spesies lokal. Di Indonesia, beberapa contoh spesies invasif antara lain ikan nila (*Oreochromis niloticus*), eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), dan siput murbei (*Pomacea canaliculata*). Spesies ini berkembang biak dengan cepat dan mendominasi habitat perairan, sehingga menurunkan populasi spesies asli. Masuknya spesies invasif umumnya disebabkan oleh aktivitas perdagangan, budidaya, atau transportasi global yang tidak terkontrol.

6. Pertumbuhan Penduduk dan Urbanisasi

Pertumbuhan penduduk yang tinggi turut memperparah tekanan terhadap keanekaragaman hayati. Kebutuhan akan lahan pertanian, perumahan, dan infrastruktur menyebabkan konversi besar-besaran terhadap kawasan hutan, rawa, dan pesisir. Urbanisasi yang tidak terencana menimbulkan pencemaran, peningkatan volume limbah, serta penurunan kualitas lingkungan. Selain itu, meningkatnya konsumsi manusia terhadap produk berbahan dasar sumber daya alam mempercepat laju eksploitasi yang pada akhirnya berdampak pada penurunan biodiversitas.

7. Kurangnya Kesadaran dan Penegakan Hukum

Ancaman terhadap keanekaragaman hayati juga diperburuk oleh rendahnya kesadaran masyarakat dan lemahnya penegakan hukum lingkungan. Banyak kegiatan ilegal seperti perburuan, perdagangan satwa langka, dan penebangan liar masih sering terjadi karena minimnya pengawasan dan sanksi hukum yang tegas. Kurangnya edukasi tentang pentingnya pelestarian alam menyebabkan masyarakat belum memahami bahwa kerusakan ekosistem akan berdampak langsung pada kehidupan manusia sendiri. Oleh karena itu, peningkatan kesadaran dan pendidikan lingkungan menjadi kunci penting dalam upaya melindungi biodiversitas.

2.5 Indeks dan Pengukuran Keanekaragaman

Keanekaragaman hayati merupakan konsep yang mencerminkan tingkat variasi kehidupan dalam suatu ekosistem, baik pada tingkat gen, spesies, maupun ekosistem itu sendiri. Untuk memahami dan menilai kondisi keanekaragaman hayati di suatu wilayah, diperlukan alat ukur yang dapat menggambarkan tingkat keragaman tersebut secara kuantitatif. Oleh karena itu, ilmuwan ekologi mengembangkan berbagai indeks dan metode pengukuran keanekaragaman untuk mengidentifikasi tingkat kekayaan spesies,

keseimbangan populasi, serta kestabilan ekosistem. Pengukuran ini menjadi dasar penting dalam penelitian ekologi, konservasi, dan pengelolaan sumber daya alam.

Konsep Dasar Pengukuran Keanekaragaman Hayati

Secara umum, pengukuran keanekaragaman hayati dapat dilihat dari dua aspek utama, yaitu kekayaan spesies (species richness) dan pemerataan spesies (species evenness). Kekayaan spesies mengacu pada jumlah jenis organisme yang terdapat dalam suatu komunitas, tanpa memperhatikan kelimpahan relatifnya. Sementara itu, pemerataan menunjukkan seberapa merata jumlah individu di antara spesies-spesies tersebut. Sebuah ekosistem dikatakan memiliki keanekaragaman tinggi apabila memiliki banyak spesies dan setiap spesies memiliki jumlah individu yang relatif seimbang. Sebaliknya, jika satu atau beberapa spesies mendominasi, maka tingkat keanekaragaman dianggap rendah.

Selain itu, pengukuran keanekaragaman tidak hanya terbatas pada jumlah spesies, tetapi juga mencakup struktur komunitas dan fungsi ekosistem. Dalam konteks ini, para ahli ekologi menggunakan berbagai rumus matematis yang dikenal sebagai indeks keanekaragaman. Indeks ini membantu membandingkan keanekaragaman antar lokasi, waktu, atau kondisi lingkungan yang berbeda.

1. Indeks Keanekaragaman Spesies

Salah satu indeks yang paling sering digunakan adalah Indeks Shannon-Wiener (H'). Indeks ini dikembangkan oleh Claude Shannon dan Warren Weaver, dan digunakan untuk mengukur ketidakpastian dalam distribusi spesies di suatu komunitas. Nilai indeks Shannon akan meningkat apabila jumlah spesies bertambah dan distribusi individunya semakin merata. Rumusnya adalah:

$$H' = - \sum (p_i \ln p_i)$$

di mana p_i adalah proporsi individu dari spesies ke- i terhadap jumlah total individu. Nilai H' yang tinggi menunjukkan komunitas dengan keanekaragaman tinggi, sedangkan nilai rendah menunjukkan dominasi oleh satu atau beberapa spesies saja. Selain indeks Shannon, terdapat pula Indeks Simpson (D) yang menekankan pada dominasi spesies. Indeks ini mengukur probabilitas bahwa dua individu yang diambil secara acak dari komunitas merupakan spesies yang sama. Rumusnya adalah:

$$D = \sum p_i^2$$

Nilai D berkisar antara 0 dan 1, di mana nilai mendekati 0 menunjukkan keanekaragaman tinggi, dan nilai mendekati 1 menunjukkan dominasi spesies tertentu.

Untuk memudahkan interpretasi, kadang digunakan bentuk kebalikannya, yaitu $1 - D$ atau $1/D$, yang dikenal sebagai *Simpson's Diversity Index*. Selain kedua indeks tersebut, ada pula Indeks Margalef (R) dan Indeks Menhinick (D_{mn}) yang digunakan untuk menggambarkan kekayaan spesies (species richness) murni, tanpa mempertimbangkan kelimpahan relatif. Indeks Margalef dirumuskan sebagai:

$$R = \frac{S - 1}{\ln N}$$

di mana SSS adalah jumlah spesies dan NNN adalah jumlah total individu. Indeks ini sangat berguna untuk membandingkan kekayaan spesies antar ekosistem yang berbeda ukuran atau jumlah sampelnya.

2. Kemerataan dan Dominansi Spesies

Selain kekayaan spesies, kemerataan spesies (evenness) juga menjadi indikator penting dalam menilai keanekaragaman hayati. Kemerataan menggambarkan distribusi individu di antara spesies. Nilai kemerataan yang tinggi menunjukkan bahwa setiap spesies memiliki jumlah individu yang relatif sama, sedangkan nilai rendah menandakan adanya spesies dominan. Salah satu rumus yang sering digunakan adalah Indeks Evenness Pielou (E), yaitu:

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

Nilai E berkisar antara 0 hingga 1. Jika E mendekati 1, berarti distribusi individu di antara spesies sangat merata. Dalam ekosistem alami yang stabil, nilai kemerataan biasanya lebih tinggi dibandingkan dengan ekosistem yang terdegradasi. Dominansi spesies, di sisi lain, mencerminkan sejauh mana satu atau beberapa spesies mendominasi komunitas. Ekosistem dengan dominansi tinggi biasanya menunjukkan kondisi stres atau gangguan ekologis, misalnya akibat pencemaran, penebangan, atau invasi spesies asing. Oleh karena itu, hubungan antara kemerataan dan dominansi sering digunakan untuk menilai tingkat kesehatan suatu ekosistem.

3. Indeks Keanekaragaman Genetik dan Ekosistem

Selain keanekaragaman spesies, pengukuran biodiversitas juga mencakup keanekaragaman genetik dan keanekaragaman ekosistem. Keanekaragaman genetik dapat diukur menggunakan teknik molekuler seperti *DNA sequencing*, *microsatellite analysis*, atau *SNP (Single Nucleotide Polymorphism)*. Pengukuran ini penting untuk mengetahui variasi genetik dalam populasi, yang menjadi dasar kemampuan adaptasi

terhadap perubahan lingkungan. Populasi dengan variasi genetik tinggi memiliki peluang lebih besar untuk bertahan hidup ketika terjadi tekanan lingkungan atau penyakit.

Sementara itu, keanekaragaman ekosistem diukur berdasarkan variasi tipe habitat dan komunitas biotik dalam suatu wilayah. Pengukuran ini sering melibatkan analisis spasial menggunakan teknologi seperti SIG (Sistem Informasi Geografis) dan penginderaan jauh (remote sensing). Melalui metode ini, peneliti dapat memetakan jenis vegetasi, tingkat tutupan lahan, serta konektivitas antar habitat yang penting untuk kelestarian spesies.

4. Aplikasi dan Interpretasi Indeks Keanekaragaman

Indeks keanekaragaman tidak hanya berguna untuk penelitian ekologi, tetapi juga sangat penting dalam bidang konservasi, perencanaan tata ruang, dan pengelolaan sumber daya alam. Dengan menghitung indeks, peneliti dapat mengidentifikasi wilayah dengan keanekaragaman tinggi yang perlu dilindungi atau wilayah yang telah mengalami degradasi. Misalnya, dalam pengelolaan kawasan konservasi, nilai indeks Shannon yang tinggi dapat menunjukkan bahwa suatu hutan memiliki komunitas tumbuhan yang stabil dan beragam, sehingga layak dipertahankan sebagai kawasan lindung.

Selain itu, indeks juga digunakan untuk menilai dampak kegiatan manusia terhadap lingkungan. Penurunan nilai indeks dari waktu ke waktu dapat menjadi indikator adanya gangguan, seperti pencemaran, penebangan liar, atau perubahan penggunaan lahan. Dengan demikian, pengukuran keanekaragaman hayati dapat menjadi alat pemantauan ekologis yang efektif.

BAB 3

EKOLOGI DAN EVOLUSI KONSERVASI

Prinsip dasar ekologi dan evolusi merupakan landasan ilmiah yang sangat penting dalam upaya konservasi keanekaragaman hayati. Ekologi, sebagai ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya, memberikan pemahaman tentang bagaimana spesies berinteraksi dalam suatu ekosistem, bagaimana energi dan materi mengalir di dalamnya, serta bagaimana keseimbangan ekologis dapat dipertahankan. Sementara itu, evolusi menjelaskan proses perubahan genetik dalam populasi makhluk hidup dari waktu ke waktu yang memungkinkan spesies beradaptasi terhadap perubahan lingkungan. Kombinasi kedua bidang ilmu ini menjadi kunci untuk memahami dinamika kehidupan dan merancang strategi konservasi yang efektif dan berkelanjutan.

Dalam konteks ekologi, konservasi menuntut pemahaman mendalam terhadap struktur dan fungsi ekosistem, termasuk interaksi antarspesies seperti kompetisi, predasi, simbiosis, dan mutualisme. Proses-proses ekologis ini menentukan kestabilan komunitas dan kemampuan ekosistem dalam menghadapi gangguan alami maupun antropogenik. Konsep suksesi ekologi dan keseimbangan dinamis menunjukkan bahwa ekosistem selalu berubah menuju kondisi baru yang seimbang, sehingga tindakan konservasi harus memperhatikan kemampuan alami sistem tersebut untuk pulih dan menyesuaikan diri. Selain itu, prinsip jaring-jaring makanan dan piramida energi memberikan wawasan tentang peran setiap organisme dalam mempertahankan produktivitas dan keberlanjutan kehidupan di suatu habitat.

Dari sisi evolusi, konservasi tidak hanya berfokus pada menjaga jumlah individu, tetapi juga pada pelestarian keragaman genetik yang menjadi dasar kemampuan spesies untuk berevolusi. Mekanisme seperti seleksi alam, mutasi, migrasi, dan rekombinasi genetik berperan penting dalam menjaga variasi gen dalam populasi. Populasi yang kehilangan variasi genetik akan lebih rentan terhadap penyakit, perubahan iklim, dan tekanan lingkungan lainnya. Oleh karena itu, upaya konservasi modern tidak cukup hanya melindungi spesies langka, tetapi juga harus memastikan keberlanjutan proses evolusi yang memungkinkan spesies tersebut beradaptasi di masa depan. Inilah yang disebut dengan konservasi evolusioner, yakni pendekatan yang menggabungkan prinsip-prinsip genetika populasi dan ekologi untuk mempertahankan dinamika adaptif suatu spesies.

Selain itu, pemahaman tentang biogeografi evolusioner juga menjadi aspek penting dalam konservasi. Setiap wilayah memiliki sejarah evolusi yang unik yang membentuk pola penyebaran spesies di bumi. Indonesia, misalnya, yang terletak di antara Paparan Sunda dan Paparan Sahul, merupakan kawasan peralihan dengan tingkat endemisme yang sangat tinggi akibat proses evolusi yang panjang dan isolasi geografis. Prinsip ini menjelaskan mengapa strategi konservasi harus disesuaikan dengan konteks geografis dan sejarah evolusi lokal. Pelestarian ekosistem di wilayah seperti Wallacea, Kalimantan, dan Papua tidak hanya penting untuk menjaga spesies endemik, tetapi juga untuk melindungi proses evolusi yang masih berlangsung hingga kini.

Dalam penerapannya, prinsip dasar ekologi dan evolusi juga menjadi dasar dalam pengelolaan kawasan konservasi. Misalnya, konsep metapopulasi digunakan untuk memahami dinamika populasi yang tersebar dalam habitat-habitat terfragmentasi, sehingga perencanaan koridor ekologis menjadi penting untuk menjaga aliran gen antar populasi. Demikian pula, teori pulau biogeografi memberikan dasar ilmiah dalam

menentukan ukuran dan jarak antar kawasan lindung agar dapat menampung jumlah spesies optimal. Prinsip-prinsip ini membantu ahli konservasi dalam merancang sistem kawasan lindung yang tidak hanya melindungi spesies, tetapi juga menjaga proses ekologis dan evolusi yang menopang keberlangsungan hidup mereka.

Secara keseluruhan, prinsip dasar ekologi dan evolusi memberikan kerangka ilmiah bagi konservasi keanekaragaman hayati. Ekologi menjelaskan hubungan kompleks antar komponen kehidupan dan lingkungan, sementara evolusi menjelaskan bagaimana spesies dapat bertahan melalui perubahan adaptif. Dengan menggabungkan kedua prinsip ini, konservasi tidak lagi sekadar melindungi individu atau spesies tertentu, melainkan menjaga keutuhan sistem kehidupan secara menyeluruh, termasuk proses ekologis dan evolusioner yang mendasarinya. Pendekatan ini memastikan bahwa upaya konservasi tidak hanya melindungi alam untuk masa kini, tetapi juga menjamin keberlanjutan kehidupan bagi generasi yang akan datang

3.1 Ekosistem dan Komponennya

Ekosistem merupakan satuan fungsional dari kehidupan di bumi yang terdiri atas makhluk hidup dan lingkungan fisiknya yang saling berinteraksi membentuk suatu sistem yang seimbang. Secara etimologis, istilah ekosistem berasal dari kata “oikos” yang berarti rumah atau tempat tinggal dan “systema” yang berarti kesatuan, sehingga ekosistem dapat diartikan sebagai kesatuan antara organisme dan lingkungan tempatnya hidup. Dalam ekosistem, setiap komponen memiliki peran dan fungsi tertentu yang saling terkait untuk menjaga keberlangsungan kehidupan. Ekosistem dapat ditemukan di berbagai skala, mulai dari yang sangat kecil seperti setetes air kolam yang mengandung mikroorganisme, hingga yang sangat luas seperti hutan hujan tropis, padang rumput, laut, dan bahkan seluruh biosfer bumi.

Secara umum, ekosistem terdiri atas dua komponen utama, yaitu komponen biotik (makhluk hidup) dan komponen abiotik (faktor tak hidup). Komponen biotik mencakup semua organisme yang hidup dalam suatu ekosistem, seperti tumbuhan, hewan, mikroorganisme, serta manusia. Berdasarkan perannya, komponen biotik dapat dibedakan menjadi tiga kelompok, yaitu produsen, konsumen, dan pengurai. Produsen, seperti tumbuhan hijau dan fitoplankton, berperan sebagai penghasil bahan organik melalui proses fotosintesis. Konsumen adalah organisme yang memperoleh energi dengan memakan organisme lain, yang terbagi menjadi konsumen primer (herbivora), sekunder (karnivora), dan tersier (omnivora). Sementara itu, pengurai seperti bakteri dan jamur berperan penting dalam menguraikan sisa-sisa organisme mati menjadi zat anorganik yang dapat digunakan kembali oleh produsen, sehingga menjaga siklus materi dalam ekosistem tetap berlangsung.

Komponen abiotik dalam ekosistem mencakup semua unsur fisik dan kimia yang tidak hidup tetapi sangat memengaruhi kehidupan organisme. Faktor-faktor ini meliputi cahaya matahari, suhu, air, udara, tanah, kelembapan, pH, serta unsur hara. Cahaya matahari merupakan sumber energi utama bagi hampir semua kehidupan, karena menjadi dasar bagi proses fotosintesis yang mendukung rantai makanan. Suhu memengaruhi laju metabolisme organisme dan menentukan distribusi spesies di berbagai wilayah. Air berperan vital dalam proses fisiologis seperti transpirasi, fotosintesis, dan pelarutan zat gizi. Sementara itu, tanah menyediakan tempat tumbuh

bagi tumbuhan serta sumber mineral yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan organisme.

Interaksi antara komponen biotik dan abiotik membentuk suatu sistem yang dinamis, di mana terjadi aliran energi dan siklus materi. Energi mengalir secara satu arah dari matahari ke produsen, kemudian ke konsumen, dan akhirnya ke pengurai. Sebaliknya, unsur hara seperti karbon, nitrogen, fosfor, dan oksigen mengalami siklus yang terus berulang dalam ekosistem melalui proses biologis, kimiawi, dan fisik. Keseimbangan antara aliran energi dan siklus materi inilah yang menjaga stabilitas ekosistem. Ketika salah satu komponen terganggu misalnya akibat pencemaran, deforestasi, atau perubahan iklim maka seluruh sistem dapat terpengaruh, mengakibatkan penurunan keanekaragaman hayati dan gangguan terhadap fungsi ekosistem.

Setiap jenis ekosistem memiliki karakteristik tersendiri yang dipengaruhi oleh kondisi geografis dan iklimnya. Ekosistem darat seperti hutan tropis, savana, dan gurun memiliki pola vegetasi dan keanekaragaman spesies yang berbeda sesuai dengan ketersediaan air dan cahaya. Sementara ekosistem perairan, baik tawar maupun laut, memiliki struktur komunitas yang ditentukan oleh kedalaman, salinitas, dan kadar oksigen terlarut. Dalam konteks global, semua ekosistem di bumi saling berhubungan membentuk biosfer, yaitu ekosistem terbesar yang mencakup seluruh kehidupan di planet ini. Biosfer berfungsi sebagai sistem kehidupan terpadu yang menjaga keseimbangan antara atmosfer, hidrosfer, dan litosfer.

Dengan demikian, ekosistem dan komponen-komponennya merupakan dasar dari seluruh kehidupan di bumi. Pemahaman yang mendalam tentang hubungan timbal balik antara makhluk hidup dan lingkungannya sangat penting untuk menjaga keberlanjutan alam. Prinsip keseimbangan ekosistem mengajarkan bahwa manusia sebagai bagian dari sistem kehidupan memiliki tanggung jawab untuk memelihara dan mengelola sumber daya alam secara bijak, agar fungsi ekologis bumi tetap terjaga bagi generasi kini dan mendatang.

1 Jenis-Jenis Ekosistem di Indonesia

Indonesia merupakan salah satu negara dengan keanekaragaman ekosistem yang sangat tinggi di dunia. Hal ini disebabkan oleh letak geografisnya yang strategis di kawasan tropis, kondisi iklim yang lembap, serta variasi topografi yang mencakup pegunungan, dataran rendah, dan wilayah pesisir. Secara umum, ekosistem di Indonesia dapat dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu ekosistem alami dan ekosistem buatan.

Ekosistem alami adalah ekosistem yang terbentuk secara alami tanpa campur tangan manusia. Contohnya meliputi hutan hujan tropis, padang savana, ekosistem mangrove, ekosistem terumbu karang, dan ekosistem danau serta sungai. Hutan hujan tropis seperti yang terdapat di Kalimantan, Sumatra, dan Papua merupakan ekosistem dengan keanekaragaman hayati tertinggi, berfungsi sebagai paru-paru dunia dan penyimpan karbon alami. Ekosistem mangrove yang tersebar di pesisir Kalimantan, Sulawesi, dan Nusa Tenggara berperan penting dalam melindungi pantai dari abrasi serta menjadi tempat asuhan bagi berbagai jenis ikan dan udang. Sementara itu, ekosistem terumbu karang di Raja Ampat, Wakatobi, dan Karimunjawa menjadi habitat bagi ribuan spesies laut dan memiliki nilai ekologis serta ekonomi yang tinggi.

Sedangkan ekosistem buatan merupakan ekosistem yang terbentuk akibat aktivitas manusia yang sengaja dirancang untuk tujuan tertentu. Contohnya adalah sawah, perkebunan, taman kota, waduk, tambak, dan agroforestri. Meskipun bersifat buatan, ekosistem jenis ini tetap memiliki hubungan ekologis yang kompleks antara komponen biotik dan abiotiknya. Contohnya pada ekosistem sawah, terdapat interaksi antara tumbuhan padi, serangga, mikroorganisme tanah, serta faktor lingkungan seperti air dan cahaya. Pemahaman terhadap ekosistem buatan penting untuk mendukung pertanian berkelanjutan, menjaga kesuburan tanah, dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Keragaman ekosistem di Indonesia mencerminkan kekayaan alam yang luar biasa sekaligus menuntut tanggung jawab besar dalam pengelolaannya. Setiap ekosistem memiliki fungsi ekologis dan peran penting dalam menjaga keseimbangan alam. Oleh karena itu, upaya konservasi di Indonesia harus mempertimbangkan karakteristik setiap ekosistem, baik di darat maupun di laut, agar manfaat ekologis, sosial, dan ekonominya dapat terjaga secara berkelanjutan.

2 Hubungan Antar Komponen dalam Ekosistem

Dalam suatu ekosistem, hubungan antara komponen biotik dan abiotik bersifat saling bergantung dan membentuk sistem kehidupan yang dinamis. Komponen biotik seperti tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme berinteraksi satu sama lain melalui berbagai hubungan ekologis, seperti rantai makanan, jaring-jaring makanan, kompetisi, predasi, mutualisme, komensalisme, dan parasitisme. Hubungan-hubungan ini berperan penting dalam menjaga keseimbangan populasi dan aliran energi di dalam ekosistem.

Rantai makanan merupakan urutan perpindahan energi dari satu organisme ke organisme lain melalui proses makan dan dimakan. Misalnya, dalam ekosistem hutan, daun dimakan oleh belalang (konsumen primer), belalang dimakan oleh burung (konsumen sekunder), dan burung dimakan oleh ular (konsumen tersier). Beberapa rantai makanan saling berhubungan membentuk jaring-jaring makanan, yang menunjukkan kompleksitas interaksi antarspesies di alam. Hubungan yang saling terkait ini menciptakan keseimbangan ekologis; apabila satu komponen terganggu, maka seluruh jaringan kehidupan dapat terpengaruh.

Selain hubungan makan dan dimakan, dalam ekosistem juga terdapat interaksi antarorganisme yang bersifat non-trofik. Kompetisi terjadi ketika dua atau lebih organisme memperebutkan sumber daya yang sama seperti makanan, cahaya, atau ruang hidup. Predasi merupakan interaksi di mana satu organisme (predator) memangsa organisme lain (prey) untuk bertahan hidup. Sebaliknya, mutualisme adalah hubungan yang saling menguntungkan, misalnya antara bunga dan lebah penyerbuk. Ada pula komensalisme, di mana satu pihak memperoleh manfaat tanpa merugikan pihak lain, serta parasitisme, di mana satu organisme hidup pada tubuh organisme lain dan merugikannya.

Komponen abiotik seperti cahaya matahari, suhu, air, dan tanah juga memainkan peran vital dalam hubungan ekosistem. Tumbuhan sebagai produsen sangat bergantung pada cahaya matahari dan unsur hara tanah untuk melakukan fotosintesis, yang kemudian menjadi sumber energi bagi seluruh organisme lain. Perubahan pada faktor abiotik, misalnya kenaikan suhu atau penurunan kualitas air akibat pencemaran, dapat

mengubah keseimbangan populasi dalam suatu komunitas. Oleh karena itu, kestabilan ekosistem sangat bergantung pada keteraturan interaksi antara faktor biotik dan abiotik.

Secara keseluruhan, hubungan antar komponen dalam ekosistem bersifat saling melengkapi dan saling mengontrol. Tidak ada organisme yang dapat hidup secara terisolasi tanpa berhubungan dengan lingkungannya. Prinsip keseimbangan ini menjadi dasar dalam menjaga keberlanjutan ekosistem, di mana setiap komponen memiliki peran esensial untuk mendukung kehidupan secara keseluruhan. Pemahaman terhadap hubungan ini menjadi kunci dalam pengelolaan sumber daya alam, konservasi lingkungan, serta mitigasi terhadap dampak perubahan iklim global.

3 Dinamika Populasi dan Komunitas

Dalam ekologi, dinamika populasi dan komunitas merupakan kajian penting untuk memahami bagaimana makhluk hidup berkembang, berinteraksi, serta beradaptasi terhadap perubahan lingkungan. Populasi didefinisikan sebagai sekelompok individu dari spesies yang sama yang hidup di suatu wilayah tertentu pada waktu yang sama dan mampu melakukan reproduksi antarindividu. Sementara itu, komunitas mencakup berbagai populasi dari spesies yang berbeda yang hidup bersama dan saling berinteraksi dalam satu ekosistem. Dinamika populasi dan komunitas mencerminkan perubahan jumlah individu, struktur, serta komposisi spesies dalam ruang dan waktu, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor biotik dan abiotik.

1. Dinamika Populasi

Dinamika populasi menggambarkan perubahan ukuran dan struktur populasi dari waktu ke waktu. Perubahan ini dipengaruhi oleh empat komponen utama, yaitu natalitas (kelahiran), mortalitas (kematian), imigrasi (masuknya individu), dan emigrasi (keluarnya individu). Ketika angka kelahiran dan imigrasi lebih tinggi daripada angka kematian dan emigrasi, maka populasi akan meningkat; sebaliknya, jika kematian dan emigrasi lebih tinggi, populasi akan menurun.

Perubahan populasi juga sering digambarkan melalui kurva pertumbuhan populasi, yang terdiri atas dua tipe utama: pertumbuhan eksponensial dan pertumbuhan logistik. Pertumbuhan eksponensial terjadi ketika sumber daya masih melimpah, di mana populasi meningkat sangat cepat mengikuti model “J-curve”. Namun, dalam kenyataan alam, pertumbuhan populasi biasanya mengikuti pola logistik atau “S-curve”, karena adanya daya dukung lingkungan (carrying capacity, K) yang membatasi pertumbuhan akibat keterbatasan sumber daya seperti makanan, ruang, dan air. Ketika populasi mendekati daya dukung, laju pertumbuhan menurun dan akhirnya mencapai keseimbangan.

Selain faktor lingkungan, dinamika populasi juga dipengaruhi oleh interaksi antarindividu dalam populasi, seperti kompetisi intra-spesifik, pola penyebaran (dispersi), dan struktur umur. Kompetisi terjadi ketika individu memperebutkan sumber daya yang terbatas, yang dapat menurunkan tingkat kelangsungan hidup atau laju reproduksi. Sementara itu, struktur umur menentukan potensi pertumbuhan populasi; populasi dengan proporsi individu muda yang tinggi cenderung tumbuh lebih cepat dibandingkan populasi dengan dominasi individu tua. Faktor-faktor ini menjadikan populasi sebagai sistem yang dinamis dan selalu berubah mengikuti kondisi lingkungan.

2. Dinamika Komunitas

Jika populasi menggambarkan perubahan dalam satu spesies, maka dinamika komunitas menjelaskan perubahan komposisi dan struktur berbagai spesies yang hidup bersama dalam suatu ekosistem. Dinamika komunitas sangat erat kaitannya dengan interaksi antarspesies seperti kompetisi, predasi, parasitisme, komensalisme, dan mutualisme. Interaksi ini menentukan siapa yang mendominasi dalam komunitas, serta bagaimana kestabilan ekosistem terjaga. Misalnya, predator berperan penting dalam mengendalikan populasi mangsanya agar tidak berlebihan, sementara spesies mutualistik seperti penyerbuk membantu menjaga keseimbangan produktivitas ekosistem.

Dinamika komunitas juga berkaitan dengan suksesi ekologi, yaitu proses perubahan komunitas biotik dalam jangka waktu tertentu menuju kondisi yang stabil atau klimaks. Suksesi dapat dibedakan menjadi suksesi primer dan suksesi sekunder. Suksesi primer terjadi pada daerah yang sebelumnya tidak memiliki kehidupan, seperti permukaan lava baru atau pasir pantai muda, sedangkan suksesi sekunder terjadi pada daerah yang telah mengalami gangguan seperti kebakaran atau penebangan hutan, tetapi masih memiliki sisa kehidupan sebelumnya. Melalui suksesi, ekosistem menunjukkan kemampuan alami untuk memulihkan diri dan mencapai keseimbangan baru yang sesuai dengan kondisi lingkungannya.

Selain itu, struktur komunitas juga dipengaruhi oleh keanekaragaman spesies (*species diversity*) dan dominansi, yang dapat diukur menggunakan berbagai indeks seperti Shannon-Wiener dan Simpson. Komunitas dengan keanekaragaman tinggi umumnya lebih stabil dan tahan terhadap gangguan, karena energi dan fungsi ekosistem tersebar di antara banyak spesies. Sebaliknya, komunitas yang didominasi oleh sedikit spesies lebih rentan terhadap perubahan lingkungan, karena hilangnya satu spesies dapat memengaruhi seluruh sistem ekologis.

4 Hubungan Dinamika Populasi dan Komunitas dalam Konservasi

Pemahaman tentang dinamika populasi dan komunitas sangat penting dalam upaya konservasi keanekaragaman hayati. Dengan mengetahui pola pertumbuhan dan interaksi antarspesies, para ahli konservasi dapat memprediksi potensi kepunahan, menentukan ukuran populasi minimum yang layak (*minimum viable population*), serta merancang strategi pengelolaan habitat yang efektif. Misalnya, konservasi satwa langka seperti orangutan, harimau Sumatra, dan jalak Bali membutuhkan analisis dinamika populasi untuk mengetahui laju reproduksi, tingkat kematian, dan kebutuhan habitatnya. Sementara itu, pemulihan ekosistem rusak juga harus mempertimbangkan dinamika komunitas agar spesies yang diperkenalkan mampu beradaptasi dan membentuk struktur ekosistem yang stabil.

Dalam konteks perubahan iklim global dan degradasi lingkungan, dinamika populasi dan komunitas menjadi indikator penting bagi kesehatan ekosistem. Penurunan populasi penyerbuk, misalnya, dapat mengganggu rantai reproduksi tumbuhan berbunga dan menurunkan produktivitas ekosistem. Oleh karena itu, studi tentang dinamika ini tidak hanya memiliki nilai akademik, tetapi juga berperan langsung dalam menjaga keseimbangan ekologis dan keberlanjutan kehidupan di bumi.

3.2 Ekologi Lanskap dan Fragmentasi Habitat

Ekologi lanskap (landscape ecology) merupakan cabang ilmu ekologi yang mempelajari pola spasial dan proses ekologis pada skala yang luas, meliputi hubungan antara struktur lanskap, fungsi ekologis, serta perubahan yang terjadi akibat faktor alam maupun aktivitas manusia. Berbeda dengan ekologi populasi atau komunitas yang fokus pada skala lokal, ekologi lanskap menekankan pentingnya pola ruang (spatial pattern) dalam memengaruhi dinamika ekosistem secara keseluruhan. Dalam pandangan ini, lanskap terdiri atas berbagai patch (petak habitat), koridor (jalur penghubung), dan matriks (wilayah di sekitarnya) yang saling berinteraksi dan membentuk mosaik ekologi.

Konsep dasar ekologi lanskap menyoroti bahwa distribusi dan konektivitas antarhabitat sangat memengaruhi keberlangsungan spesies serta aliran energi dan materi. Misalnya, hewan yang bergantung pada habitat tertentu akan mengalami kesulitan berpindah apabila petak habitatnya terpisah jauh satu sama lain. Oleh karena itu, pemahaman terhadap struktur lanskap sangat penting untuk perencanaan konservasi, pengelolaan kawasan lindung, serta pembangunan berkelanjutan. Dalam konteks ini, ekologi lanskap juga berperan dalam menilai fungsi ekologis wilayah penyangga (buffer zones), koridor satwa liar, dan konektivitas antara kawasan konservasi.

1. Fragmentasi Habitat

Salah satu isu utama dalam ekologi lanskap adalah fragmentasi habitat, yaitu proses pemecahan suatu habitat besar dan utuh menjadi petak-petak kecil yang terisolasi akibat aktivitas manusia seperti deforestasi, pertanian intensif, pembangunan infrastruktur, dan urbanisasi. Fragmentasi habitat menyebabkan penurunan luas habitat, peningkatan tepi habitat (*edge effect*), serta berkurangnya konektivitas antararea. Akibatnya, banyak spesies kehilangan tempat hidup, sumber makanan, dan akses untuk bereproduksi, sehingga populasi mereka menurun bahkan menuju kepunahan lokal.

Dampak fragmentasi habitat dapat dilihat pada berbagai ekosistem di Indonesia. Misalnya, hutan hujan tropis di Sumatra dan Kalimantan mengalami fragmentasi akibat pembukaan lahan untuk perkebunan kelapa sawit dan pertambangan, yang menyebabkan populasi orangutan, harimau Sumatra, dan gajah semakin terisolasi. Petak-petak hutan yang tersisa menjadi terlalu kecil untuk menopang populasi yang sehat secara genetik. Selain itu, efek tepi (*edge effect*) membuat kondisi iklim mikro di sekitar batas habitat menjadi lebih panas dan kering, yang tidak sesuai bagi spesies-spesies hutan dalam (*forest interior species*). Fragmentasi juga mempercepat masuknya spesies invasif dan meningkatkan risiko konflik antara manusia dan satwa liar.

2. Implikasi Ekologis dan Konservasi

Secara ekologis, fragmentasi habitat tidak hanya menurunkan keanekaragaman spesies, tetapi juga mengganggu fungsi ekologis seperti penyerbukan, penyebaran benih, dan siklus nutrisi. Populasi kecil yang terisolasi rentan terhadap inbreeding (perkawinan sekerabat) yang mengurangi variasi genetik dan menurunkan kemampuan adaptasi terhadap perubahan lingkungan. Dalam jangka panjang, kondisi ini dapat mempercepat risiko kepunahan spesies endemik yang hanya terdapat di habitat tertentu.

Untuk mengatasi dampak fragmentasi, konsep ekologi lanskap konservatif menekankan pentingnya restorasi konektivitas ekosistem, seperti melalui pembangunan koridor ekologis (ecological corridors) yang menghubungkan petak-petak habitat terpisah. Contohnya, koridor satwa liar di Taman Nasional Bukit Barisan Selatan dan Way Kambas bertujuan untuk menghubungkan populasi harimau dan gajah agar dapat berpindah dan berkembang biak dengan aman. Strategi lain mencakup pembentukan mosaik lanskap berkelanjutan, di mana area alami dan area penggunaan manusia dikelola secara terpadu agar tetap mendukung fungsi ekologis utama.

Selain itu, penggunaan pendekatan spasial berbasis teknologi, seperti Sistem Informasi Geografis (SIG) dan penginderaan jauh (remote sensing), sangat membantu dalam menganalisis pola lanskap, tingkat fragmentasi, serta perubahan tutupan lahan. Data spasial ini memungkinkan perencanaan konservasi yang lebih efektif dan adaptif terhadap perubahan lingkungan. Dengan demikian, pengelolaan ekologi lanskap harus dilakukan secara integratif dan lintas disiplin, melibatkan aspek ekologi, sosial, ekonomi, dan kebijakan publik.

3.3 Adaptasi dan Evolusi dalam Konservasi

Adaptasi dan evolusi merupakan dua konsep fundamental dalam biologi yang memiliki peranan penting dalam memahami keberlangsungan kehidupan dan penerapannya dalam upaya konservasi keanekaragaman hayati. Adaptasi adalah proses perubahan sifat atau karakteristik organisme yang memungkinkan mereka bertahan hidup dan bereproduksi di lingkungan tertentu. Sementara evolusi adalah perubahan frekuensi genetik suatu populasi dari waktu ke waktu, yang terjadi melalui mekanisme seleksi alam, mutasi, migrasi, dan rekombinasi genetik. Dalam konteks konservasi, pemahaman terhadap kedua konsep ini menjadi dasar untuk menjaga kemampuan spesies beradaptasi terhadap perubahan lingkungan yang semakin cepat akibat aktivitas manusia dan perubahan iklim global.

1. Adaptasi dalam Perspektif Ekologi dan Konservasi

Adaptasi dapat dibedakan menjadi tiga jenis utama, yaitu adaptasi morfologis, fisiologis, dan perilaku. Adaptasi morfologis melibatkan perubahan bentuk fisik, seperti paruh burung yang berbeda sesuai jenis makanannya atau bentuk daun tumbuhan di daerah kering yang tebal untuk mengurangi penguapan. Adaptasi fisiologis berkaitan dengan mekanisme tubuh, misalnya kemampuan ikan untuk mengatur tekanan osmotik saat berpindah dari air tawar ke air laut. Sementara adaptasi perilaku mencakup perubahan cara hidup atau kebiasaan organisme, seperti migrasi burung untuk mencari sumber makanan atau tempat berkembang biak yang lebih baik.

Dalam konservasi, adaptasi menjadi kunci utama dalam menghadapi tekanan lingkungan yang disebabkan oleh degradasi habitat, polusi, serta perubahan iklim. Spesies yang memiliki kemampuan adaptasi tinggi lebih mungkin bertahan dalam kondisi lingkungan yang berubah, sementara spesies dengan kemampuan adaptasi rendah cenderung berisiko tinggi punah. Contohnya, beberapa jenis burung endemik di Indonesia seperti cendrawasih dan jalak Bali menghadapi ancaman besar karena perubahan habitat yang cepat melebihi kemampuan mereka beradaptasi. Oleh sebab itu,

strategi konservasi harus memperhatikan kebutuhan ekologis spesifik dan kemampuan adaptif masing-masing spesies.

2. Evolusi dan Konservasi Genetik

Evolusi terjadi melalui proses seleksi alam yang menyeleksi individu dengan sifat-sifat yang paling sesuai untuk bertahan hidup di lingkungan tertentu. Dalam jangka panjang, proses ini menghasilkan spesies baru atau memodifikasi spesies yang ada agar lebih cocok dengan habitatnya. Dalam konteks konservasi, evolusi memiliki peran penting karena menjaga keragaman genetik yang menjadi dasar bagi kemampuan adaptasi spesies terhadap perubahan lingkungan.

Populasi yang kecil dan terisolasi akibat fragmentasi habitat cenderung mengalami penurunan keanekaragaman genetik karena terbatasnya aliran gen (gene flow) dan meningkatnya perkawinan sekerabat (inbreeding). Kondisi ini dapat menurunkan vitalitas, daya tahan terhadap penyakit, dan kemampuan beradaptasi terhadap perubahan lingkungan. Oleh karena itu, konservasi modern menekankan pentingnya konservasi genetik, yaitu upaya menjaga keragaman gen dalam populasi agar proses evolusi alami dapat terus berlangsung. Pendekatan ini dapat dilakukan melalui pengelolaan populasi liar (in situ) maupun konservasi genetik di luar habitat aslinya (ex situ), seperti di kebun botani, bank gen, dan penangkaran satwa.

3. Adaptasi terhadap Perubahan Iklim

Perubahan iklim global telah menjadi faktor baru yang mempercepat tekanan evolusioner terhadap berbagai spesies. Perubahan suhu, pola curah hujan, serta meningkatnya frekuensi bencana alam mengubah distribusi dan ketersediaan sumber daya di alam. Spesies yang tidak mampu beradaptasi dengan cepat terhadap perubahan tersebut berpotensi mengalami penurunan populasi drastis atau kepunahan lokal.

Misalnya, di kawasan pegunungan tropis Indonesia, beberapa jenis amfibi dan serangga menunjukkan pergeseran habitat ke ketinggian yang lebih tinggi untuk menghindari peningkatan suhu. Fenomena ini dikenal sebagai migrasi vertikal adaptif, yang merupakan bentuk respons evolusioner terhadap tekanan iklim. Namun, ketika ruang untuk berpindah terbatas, seperti di puncak gunung atau pulau kecil, spesies tersebut dapat kehilangan habitat yang sesuai dan berisiko punah. Oleh karena itu, strategi konservasi berbasis adaptasi terhadap iklim (*climate-adaptive conservation strategies*) kini menjadi pendekatan penting dalam pengelolaan keanekaragaman hayati.

4. Integrasi Adaptasi dan Evolusi dalam Strategi Konservasi

Pemahaman terhadap adaptasi dan evolusi tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga memiliki aplikasi praktis dalam perencanaan konservasi. Misalnya, dalam restorasi ekosistem, pemilihan spesies tumbuhan untuk rehabilitasi hutan harus mempertimbangkan kemampuan adaptasinya terhadap kondisi tanah dan iklim setempat agar keberhasilan jangka panjang dapat tercapai. Dalam konservasi satwa liar, mempertahankan konektivitas genetik antarpopulasi melalui koridor ekologis membantu menjaga aliran gen yang diperlukan bagi evolusi dan adaptasi alami.

Selain itu, konsep evolusi berkelanjutan (evolutionary conservation) kini semakin banyak diterapkan. Pendekatan ini mengakui bahwa spesies dan ekosistem bukan entitas statis, melainkan sistem yang terus berkembang. Dengan demikian, konservasi tidak hanya bertujuan mempertahankan spesies dalam kondisi saat ini, tetapi juga memastikan bahwa mereka dapat terus beradaptasi dan berevolusi menghadapi perubahan masa depan

3.4 Ekologi Restorasi

Ekologi restorasi merupakan cabang ilmu ekologi terapan yang berfokus pada upaya mengembalikan ekosistem yang telah rusak, terdegradasi, atau hancur agar dapat berfungsi kembali secara ekologis, sosial, dan ekonomis. Tujuan utama dari ekologi restorasi adalah memulihkan struktur, komposisi, dan fungsi ekosistem sehingga mampu mendukung keanekaragaman hayati serta menyediakan jasa lingkungan yang berkelanjutan bagi manusia. Bidang ini berkembang pesat seiring meningkatnya kesadaran global terhadap kerusakan lingkungan akibat deforestasi, pertambangan, pertanian intensif, polusi, dan perubahan iklim.

1. Konsep Dasar Ekologi Restorasi

Secara konseptual, ekologi restorasi berakar pada pemahaman ekologi sistem dan dinamika suksesi alami. Restorasi tidak sekadar menanam kembali vegetasi, tetapi juga mencakup pemulihan interaksi ekologis antara komponen biotik dan abiotik agar ekosistem dapat kembali menjalankan fungsinya secara mandiri. Proses ini melibatkan berbagai aspek, termasuk regenerasi vegetasi, perbaikan kualitas tanah dan air, peningkatan keanekaragaman spesies, serta pemulihan hubungan ekologis seperti penyerbukan dan rantai makanan.

Menurut *Society for Ecological Restoration (SER, 2019)*, ekologi restorasi adalah "proses membantu pemulihan suatu ekosistem yang telah terdegradasi, rusak, atau hancur menuju kondisi yang sehat, berkelanjutan, dan berintegritas ekologis." Artinya, keberhasilan restorasi tidak hanya diukur dari penampilan fisik lanskap, tetapi juga dari kembalinya fungsi ekologis seperti siklus nutrisi, produktivitas primer, dan kestabilan komunitas.

2. Tahapan dalam Ekologi Restorasi

Proses restorasi ekosistem biasanya dilakukan melalui beberapa tahapan ilmiah yang sistematis:

- 1) Identifikasi dan Penilaian Kerusakan Ekosistem: Tahap awal adalah menganalisis penyebab dan tingkat kerusakan, baik dari faktor alami (misalnya kebakaran hutan, letusan gunung berapi) maupun faktor antropogenik (deforestasi, pencemaran, atau konversi lahan). Analisis ini membantu menentukan jenis intervensi yang diperlukan serta prioritas area yang akan direstorasi.
- 2) Penetapan Tujuan Restorasi: Tujuan restorasi dapat bervariasi tergantung pada kondisi dan kebutuhan ekosistem. Beberapa restorasi bertujuan memulihkan kondisi alami (ekosistem klimaks), sementara yang lain lebih bersifat rehabilitasi, yaitu

memperbaiki fungsi ekologis tertentu agar tetap produktif secara berkelanjutan, misalnya pada lahan pascatambang atau kawasan pertanian.

- 3) Perencanaan dan Pelaksanaan Restorasi: Tahap ini mencakup perancangan tindakan restorasi seperti penanaman spesies asli, pengendalian spesies invasif, penataan kembali hidrologi, dan perbaikan kualitas tanah. Pemilihan spesies tanaman lokal menjadi kunci penting karena spesies tersebut telah beradaptasi dengan kondisi lingkungan setempat dan mendukung keanekaragaman hayati asli.
- 4) Pemantauan dan Evaluasi (Monitoring) : Setelah restorasi dilakukan, diperlukan pemantauan jangka panjang untuk menilai efektivitasnya. Parameter yang diamati meliputi pertumbuhan vegetasi, jumlah spesies yang kembali, kestabilan tanah, dan indikator fungsi ekosistem lainnya. Monitoring berkelanjutan memungkinkan penyesuaian strategi agar hasil restorasi semakin optimal.

3. Ekologi Restorasi di Indonesia

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tantangan besar dalam restorasi ekosistem karena tingginya tingkat deforestasi, kebakaran hutan, dan degradasi lahan akibat aktivitas manusia. Berbagai inisiatif restorasi telah dilakukan, seperti Restorasi Ekosistem di Hutan Produksi (REHP) yang diterapkan di beberapa wilayah Sumatra dan Kalimantan. Program ini bertujuan memulihkan fungsi ekologis hutan produksi dengan menanam kembali spesies pohon asli dan mengembalikan habitat satwa liar seperti orangutan, harimau Sumatra, dan gajah Kalimantan.

Contoh lain adalah restorasi ekosistem mangrove di pesisir utara Jawa dan Kalimantan Timur, yang dilakukan untuk mengurangi abrasi pantai, menahan intrusi air laut, serta meningkatkan habitat bagi ikan dan udang. Selain itu, program rehabilitasi lahan gambut menjadi prioritas nasional karena ekosistem gambut memiliki peran penting dalam penyimpanan karbon dan pengendalian iklim. Upaya-upaya ini menunjukkan bahwa ekologi restorasi bukan hanya masalah lingkungan, tetapi juga berhubungan erat dengan keberlanjutan sosial dan ekonomi masyarakat.

4. Pendekatan Ilmiah dalam Restorasi Ekosistem

Ekologi restorasi menggabungkan berbagai pendekatan ilmiah, antara lain:

Pendekatan ekologis, yang berfokus pada pemulihan proses-proses alami seperti suksesi, siklus nutrisi, dan interaksi spesies.

Pendekatan genetika konservasi, untuk memastikan populasi yang direstorasi memiliki keragaman genetik yang cukup agar mampu beradaptasi terhadap perubahan lingkungan.

- 1) Pendekatan sosial-ekologis, yang melibatkan partisipasi masyarakat lokal dalam perencanaan dan pengelolaan restorasi, karena keberhasilan jangka panjang bergantung pada dukungan sosial dan ekonomi.
- 2) Pendekatan teknologi, seperti penggunaan citra satelit, drone, dan sistem informasi geografis (SIG) untuk memantau perubahan tutupan lahan dan efektivitas kegiatan restorasi.

5. Indikator Keberhasilan Restorasi

Keberhasilan restorasi ekosistem tidak hanya dilihat dari keberhasilan vegetasi tumbuh kembali, tetapi juga dari kembalinya fungsi ekologis dan stabilitas sistem. Indikator keberhasilan mencakup:

1. Peningkatan keanekaragaman spesies asli.
2. Pemulihan fungsi ekosistem (misalnya penyerapan karbon, daur air, dan kesuburan tanah).
3. Keseimbangan interaksi ekologis seperti penyerbukan dan rantai makanan.
4. Keterlibatan aktif masyarakat lokal dalam pengelolaan kawasan.
5. Kemampuan sistem yang direstorasi untuk mempertahankan diri tanpa intervensi manusia yang berlebihan.

6. Tantangan dan Prospek Ekologi Restorasi

Meskipun telah banyak dilakukan, restorasi ekosistem menghadapi sejumlah tantangan. Kendala utama mencakup kurangnya sumber daya finansial, minimnya koordinasi antarinstansi, serta konflik kepentingan antara konservasi dan pembangunan ekonomi. Selain itu, perubahan iklim global menambah kompleksitas karena dapat mengubah kondisi lingkungan yang menjadi target restorasi.

Namun, prospek ekologi restorasi sangat menjanjikan. Dengan meningkatnya perhatian terhadap keberlanjutan lingkungan, restorasi kini dipandang sebagai investasi jangka panjang untuk menjaga keseimbangan alam dan kesejahteraan manusia. Melalui kolaborasi antara ilmuwan, pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta, restorasi dapat menjadi solusi nyata dalam menghadapi krisis ekologi global.

BAB 4

KERUSAKAN LINGKUNGAN DAN HILANGNYA KEANEKARAGAMAN HAYATI

4.1 Faktor Penyebab Kerusakan Lingkungan

Kerusakan lingkungan merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi manusia pada abad modern. Istilah ini merujuk pada kondisi ketika fungsi dan keseimbangan alam terganggu sehingga tidak lagi mampu menjalankan perannya secara optimal dalam mendukung kehidupan makhluk hidup. Lingkungan yang rusak ditandai oleh penurunan kualitas air, tanah, dan udara; hilangnya keanekaragaman hayati; serta terganggunya sistem ekologi yang menopang kehidupan. Fenomena ini muncul akibat kombinasi antara faktor alami dan faktor antropogenik, namun dalam beberapa dekade terakhir, faktor yang disebabkan oleh aktivitas manusia menjadi penyebab dominan yang mempercepat degradasi lingkungan di berbagai belahan dunia, termasuk Indonesia.

1. Faktor Alami (*Natural Causes*)

Faktor alami merupakan penyebab kerusakan lingkungan yang berasal dari proses geologis, klimatologis, dan biologis yang terjadi tanpa intervensi manusia. Meskipun bersifat alami, dampaknya dapat berskala besar dan memengaruhi keseimbangan ekosistem. Salah satu contoh utama adalah bencana alam, seperti gempa bumi, letusan gunung berapi, tsunami, banjir, dan tanah longsor. Bencana-bencana ini mampu mengubah struktur ekosistem secara drastis, menghancurkan habitat, serta menyebabkan migrasi atau bahkan kepunahan lokal pada spesies tertentu. Misalnya, letusan Gunung Tambora pada tahun 1815 tidak hanya menyebabkan kehancuran lokal di Pulau Sumbawa, tetapi juga menimbulkan perubahan iklim global yang mempengaruhi pola cuaca dunia selama beberapa tahun.

Selain itu, kebakaran hutan alami juga termasuk dalam kategori faktor alam. Di beberapa wilayah tropis dan savana, kebakaran hutan merupakan bagian dari siklus ekologi yang alami, membantu regenerasi tumbuhan dan menjaga keseimbangan ekosistem. Namun, ketika intensitas dan frekuensinya meningkat di luar batas normal akibat kombinasi antara musim kering ekstrem dan perubahan iklim, kebakaran tersebut dapat berubah menjadi bencana ekologis yang menghancurkan. Akibatnya, terjadi penurunan kualitas tanah, hilangnya lapisan humus, serta peningkatan kadar karbon dioksida di atmosfer. Proses-proses alami lainnya seperti abrasi pantai, erosi oleh angin dan air, serta perubahan iklim alami yang disebabkan oleh variasi orbit bumi juga turut memberikan kontribusi terhadap dinamika lingkungan yang kadang berujung pada degradasi ekosistem.

Meskipun faktor-faktor alami sulit dikendalikan, kemampuan suatu lingkungan untuk pulih dari dampak tersebut sangat bergantung pada kondisi ekosistemnya. Jika ekosistem telah terganggu akibat aktivitas manusia, maka daya pulih alami lingkungan menjadi semakin rendah. Oleh karena itu, faktor alami dan antropogenik sering kali saling berinteraksi dan memperparah kondisi lingkungan yang rusak.

2. Faktor Antropogenik (*Human-Induced Causes*)

Faktor antropogenik merupakan penyebab utama kerusakan lingkungan yang bersumber dari aktivitas manusia dalam mengeksploitasi sumber daya alam secara berlebihan. Seiring dengan meningkatnya populasi manusia dan kebutuhan ekonomi, tekanan terhadap alam semakin besar. Banyak kegiatan pembangunan yang dilakukan tanpa mempertimbangkan daya dukung dan daya lenting lingkungan, sehingga menimbulkan kerusakan jangka panjang.

1) Deforestasi dan Degradasi Lahan

Salah satu penyebab utama kerusakan lingkungan adalah deforestasi, yaitu penggundulan hutan yang dilakukan untuk membuka lahan pertanian, perkebunan, permukiman, atau pertambangan. Deforestasi mengakibatkan hilangnya tutupan vegetasi yang berfungsi penting dalam menjaga kestabilan iklim lokal, mencegah erosi, dan melindungi sumber air. Di Indonesia, pembukaan hutan untuk perkebunan kelapa sawit dan penebangan liar menjadi faktor terbesar penyusutan kawasan hutan tropis. Dampak langsung dari deforestasi adalah berkurangnya keanekaragaman hayati karena banyak spesies kehilangan habitat alamnya. Selain itu, tanah menjadi mudah tererosi dan kesuburannya menurun akibat hilangnya lapisan organik yang menjaga keseimbangan nutrisi tanah.

2) Polusi dan Pencemaran Lingkungan

Polusi atau pencemaran merupakan bentuk degradasi lingkungan yang paling nyata dan langsung dirasakan manusia. Pencemaran udara, air, dan tanah yang berasal dari kegiatan industri, transportasi, serta limbah rumah tangga mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan secara signifikan. Pencemaran udara di kota-kota besar seperti Jakarta atau Surabaya disebabkan oleh emisi kendaraan bermotor dan pembakaran bahan bakar fosil yang melepaskan gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), dan nitrogen oksida (NO_x). Sementara itu, pencemaran air berasal dari pembuangan limbah industri tanpa pengolahan ke sungai dan laut, yang menyebabkan eutrofikasi dan menurunnya kadar oksigen terlarut sehingga mengancam kehidupan biota akuatik. Pencemaran tanah juga terjadi akibat penggunaan pestisida dan pupuk kimia secara berlebihan, yang tidak hanya merusak mikroorganisme tanah, tetapi juga mencemari air tanah yang digunakan masyarakat.

3. Eksploitasi Sumber Daya Alam Berlebihan

Kegiatan pertambangan dan eksploitasi sumber daya alam tanpa perencanaan jangka panjang turut mempercepat degradasi lingkungan. Aktivitas pertambangan terbuka, misalnya, meninggalkan lahan gersang dan beracun akibat sisa bahan kimia. Eksploitasi sumber daya laut seperti penangkapan ikan berlebih (*overfishing*) juga menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem laut dan rusaknya terumbu karang. Akibatnya, keberlanjutan sumber daya alam yang menjadi tumpuan ekonomi masyarakat pesisir terancam.

4. Urbanisasi dan Industrialisasi yang Tidak Terkontrol

Pertumbuhan penduduk dan pembangunan kota yang pesat membawa dampak serius terhadap lingkungan. Urbanisasi menyebabkan meningkatnya permintaan lahan, air, energi, dan bahan pangan. Akibatnya, terjadi konversi lahan pertanian dan hutan menjadi kawasan pemukiman dan industri. Industrialisasi tanpa pengelolaan limbah yang memadai menghasilkan polusi besar-besaran yang mencemari udara, air, dan tanah. Selain itu, kota-kota besar mengalami fenomena pulau panas perkotaan (urban heat island) karena berkurangnya vegetasi dan meningkatnya permukaan keras seperti aspal dan beton yang menyerap panas.

5. Pertanian Intensif dan Penggunaan Bahan Kimia

Sistem pertanian modern sering kali mengandalkan pupuk dan pestisida sintetis dalam jumlah besar untuk meningkatkan produksi. Namun, penggunaan bahan kimia secara berlebihan menyebabkan degradasi tanah, menurunkan kesuburan, dan membunuh organisme penting seperti cacing tanah dan mikroba dekomposer. Sistem monokultur juga menurunkan keanekaragaman hayati pertanian dan meningkatkan risiko serangan hama karena tidak adanya variasi tanaman yang dapat menekan populasi organisme pengganggu.

6. Perubahan Iklim Akibat Aktivitas Manusia

Pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan aktivitas industri menyebabkan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan dinitrogen oksida (N_2O). Akumulasi gas-gas ini menyebabkan pemanasan global yang berdampak pada perubahan iklim ekstrem, mencairnya es di kutub, naiknya permukaan air laut, serta terganggunya pola curah hujan. Akibatnya, banyak ekosistem menjadi tidak stabil, dan spesies yang tidak mampu beradaptasi menghadapi risiko kepunahan.

7. Sampah dan Limbah Plastik

Masalah limbah padat, khususnya sampah plastik, telah menjadi krisis lingkungan global. Plastik bersifat tidak terurai secara alami dan dapat bertahan ratusan tahun di lingkungan. Di lautan, plastik sering tertelan oleh biota laut seperti ikan, penyu, dan burung laut. Mikroplastik yang berasal dari degradasi partikel plastik berukuran kecil bahkan telah ditemukan dalam rantai makanan manusia. Indonesia, sebagai negara kepulauan, termasuk salah satu penyumbang terbesar sampah plastik laut di dunia, yang sebagian besar berasal dari aktivitas rumah tangga, industri, dan wisata.

8. Dampak dan Konsekuensi Kerusakan Lingkungan

Kerusakan lingkungan menimbulkan konsekuensi yang luas bagi seluruh aspek kehidupan. Dari sisi ekologi, degradasi habitat menyebabkan penurunan

keanekaragaman hayati, hilangnya spesies endemik, dan terganggunya rantai makanan. Dari sisi ekonomi, kerusakan lingkungan menurunkan produktivitas pertanian, perikanan, dan kehutanan yang menjadi sumber penghidupan masyarakat. Sementara dari sisi sosial, degradasi lingkungan dapat memicu konflik sumber daya, migrasi ekologis, serta masalah kesehatan masyarakat akibat polusi dan bencana.

Kerusakan lingkungan juga berpengaruh terhadap stabilitas iklim global dan ketahanan pangan. Tanah yang terdegradasi tidak lagi mampu menyerap air dengan baik, sehingga meningkatkan risiko banjir dan kekeringan. Polusi udara mengancam kesehatan pernapasan jutaan orang setiap tahun, sementara pencemaran air menyebabkan penyakit menular seperti diare dan kolera. Dalam konteks jangka panjang, krisis lingkungan dapat mengganggu keseimbangan ekosistem planet ini dan mengancam keberlanjutan kehidupan manusia itu sendiri.

9. Upaya Pengendalian dan Pencegahan

Upaya mencegah dan mengatasi kerusakan lingkungan harus dilakukan melalui pendekatan ekologis, sosial, ekonomi, dan kebijakan yang terpadu. Rehabilitasi ekosistem yang rusak, seperti reboisasi, restorasi lahan gambut, dan konservasi sumber daya air, perlu dijadikan prioritas nasional. Pengembangan energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, dan biomassa juga penting untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Selain itu, peningkatan kesadaran lingkungan masyarakat menjadi kunci keberhasilan konservasi. Pendidikan lingkungan sejak dini dapat menumbuhkan rasa tanggung jawab terhadap alam. Di sisi lain, pemerintah perlu memperkuat penegakan hukum lingkungan agar pelaku pencemaran dan perusakan alam mendapatkan sanksi tegas. Konsep pembangunan berkelanjutan (sustainable development) harus diterapkan dalam seluruh sektor agar pertumbuhan ekonomi berjalan seiring dengan pelestarian lingkungan.

4.2 Degradasi Habitat dan Fragmentasi

Degradasi habitat dan fragmentasi merupakan dua penyebab utama hilangnya keanekaragaman hayati di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Keduanya saling berkaitan erat dan sering kali terjadi bersamaan sebagai akibat dari aktivitas manusia yang mengubah lanskap alami menjadi lahan pertanian, permukiman, atau kawasan industri. Proses ini mengakibatkan hilangnya kualitas lingkungan tempat hidup organisme, sehingga kemampuan suatu ekosistem untuk menopang kehidupan makhluk hidup menurun drastis. Dalam konteks biologi konservasi, degradasi habitat dan fragmentasi dianggap sebagai ancaman serius terhadap keberlangsungan spesies, terutama yang memiliki daerah sebaran sempit, mobilitas rendah, dan kebutuhan habitat spesifik.

1. Pengertian Degradasi Habitat

Degradasi habitat adalah proses penurunan kualitas lingkungan yang menyebabkan suatu habitat tidak lagi mampu mendukung kehidupan organisme yang sebelumnya dapat bertahan di dalamnya. Habitat yang terdegradasi mungkin masih ada secara fisik, tetapi telah kehilangan fungsi ekologis penting seperti ketersediaan makanan, tempat berlindung, serta kondisi iklim mikro yang sesuai bagi kehidupan spesies tertentu.

Degradasi dapat terjadi karena berbagai faktor, baik alami maupun akibat aktivitas manusia. Faktor alami mencakup bencana alam seperti letusan gunung berapi, kekeringan berkepanjangan, atau badai besar yang dapat mengubah struktur habitat. Namun, degradasi habitat yang paling serius saat ini berasal dari aktivitas antropogenik, seperti deforestasi, polusi, alih fungsi lahan, pembalakan liar, pertambangan terbuka, serta praktik pertanian intensif yang tidak ramah lingkungan.

Contohnya, di hutan tropis Indonesia, penebangan pohon besar untuk industri kayu menyebabkan terbukanya kanopi hutan yang selama ini menjaga kelembapan dan suhu stabil. Akibatnya, spesies yang membutuhkan kondisi lembap seperti anggrek epifit, lumut, dan berbagai jenis amfibi kehilangan habitat idealnya. Dalam jangka panjang, hal ini menyebabkan penurunan populasi spesies-spesies sensitif dan mengubah komposisi ekosistem secara keseluruhan.

Selain itu, pencemaran juga merupakan bentuk degradasi habitat yang tidak kalah serius. Limbah industri yang mencemari sungai mengubah keseimbangan kimia air, sehingga banyak organisme air seperti ikan, plankton, dan serangga akuatik tidak dapat bertahan hidup. Demikian pula, polusi udara dan tanah dapat menurunkan kualitas lingkungan daratan, mempengaruhi produktivitas tanaman, serta menimbulkan gangguan kesehatan bagi fauna dan manusia yang bergantung padanya.

2. Pengertian Fragmentasi Habitat

Fragmentasi habitat adalah proses terpecahnya suatu habitat yang luas dan utuh menjadi potongan-potongan kecil yang terisolasi akibat aktivitas manusia atau gangguan alami. Meskipun sebagian habitat masih tersisa, pemisahan tersebut mengganggu konektivitas ekologis antar wilayah, menghambat pergerakan organisme, dan mengurangi peluang interaksi antar populasi. Akibatnya, populasi yang terisolasi menjadi lebih rentan terhadap kepunahan karena kehilangan variasi genetik dan berkurangnya kemampuan untuk beradaptasi terhadap perubahan lingkungan.

Fragmentasi sering terjadi akibat pembangunan infrastruktur seperti jalan raya, waduk, kawasan industri, dan permukiman. Misalnya, ketika hutan alam dibuka untuk jalan atau kebun monokultur, wilayah hutan yang sebelumnya saling terhubung menjadi terpisah oleh area terbuka. Spesies dengan daya jelajah rendah, seperti katak, reptil kecil, atau mamalia kecil, tidak mampu berpindah dari satu fragmen habitat ke fragmen lain, sehingga populasi mereka menjadi terisolasi.

Dalam jangka panjang, kondisi ini dapat menyebabkan penurunan ukuran populasi efektif (effective population size), meningkatnya risiko perkawinan sekerabat (inbreeding), dan berkurangnya keanekaragaman genetik. Semua faktor tersebut mempercepat risiko extinction vortex yaitu kondisi spiral menuju kepunahan akibat kombinasi faktor genetik, demografis, dan lingkungan.

3. Dampak Degradasi dan Fragmentasi Habitat

Kerusakan dan pemecahan habitat memiliki dampak ekologis yang sangat luas. Salah satu dampak utamanya adalah penurunan keanekaragaman hayati. Banyak spesies kehilangan tempat hidup yang sesuai, baik karena kondisi habitat tidak lagi mendukung maupun karena area yang tersedia terlalu sempit untuk menopang populasi yang sehat. Spesies yang memiliki spesialisasi habitat tinggi (*specialist species*) seperti orangutan, harimau, dan burung rangkong sangat sensitif terhadap perubahan tersebut.

Selain itu, fragmentasi habitat juga menyebabkan munculnya efek tepi (*edge effects*), yaitu perubahan kondisi lingkungan di perbatasan antara dua tipe habitat. Di tepi hutan, misalnya, suhu lebih tinggi, kelembapan lebih rendah, dan intensitas cahaya lebih besar dibanding bagian dalam hutan. Kondisi ini menyebabkan spesies hutan dalam (*interior species*) kesulitan bertahan, sementara spesies umum (*generalist species*) atau invasif justru berkembang pesat. Akibatnya, struktur komunitas ekologi menjadi tidak seimbang, dan fungsi ekosistem seperti penyerbukan, siklus nutrisi, serta regulasi iklim mikro ikut terganggu.

Fragmentasi juga berdampak pada perilaku dan dinamika populasi hewan. Spesies yang membutuhkan wilayah jelajah luas seperti gajah dan harimau menjadi lebih sering berkonflik dengan manusia karena habitatnya terpotong oleh lahan pertanian atau permukiman. Hal ini dikenal sebagai *human-wildlife conflict*, yang menjadi salah satu tantangan besar dalam konservasi satwa liar di Indonesia.

4. Hubungan Antara Degradasi dan Fragmentasi Habitat

Degradasi dan fragmentasi habitat saling berkaitan dan sering kali terjadi secara bersamaan. Fragmentasi dapat mempercepat degradasi, karena fragmen yang kecil dan terisolasi lebih mudah mengalami penurunan kualitas akibat tekanan lingkungan. Sebaliknya, degradasi dapat memperparah fragmentasi dengan mengubah area yang sebelumnya masih layak menjadi tidak produktif. Dalam konteks ekologi lanskap, kombinasi kedua proses ini mengubah pola spasial habitat alami secara drastis dan mengurangi kapasitas ekologis suatu wilayah.

Sebagai contoh, ketika hutan tropis dibuka untuk perkebunan kelapa sawit, habitat alami tidak hanya berkurang secara kuantitatif, tetapi juga terpecah menjadi fragmen-fragmen kecil yang dikelilingi oleh area pertanian homogen. Sisa fragmen ini mungkin tidak lagi mampu menopang populasi satwa besar karena kekurangan makanan dan ruang jelajah. Proses semacam ini telah diamati di Kalimantan dan Sumatra, di mana populasi orangutan dan harimau Sumatra terus menurun akibat hilangnya konektivitas habitat.

5. Upaya Mitigasi dan Konservasi Habitat

Menghadapi ancaman degradasi dan fragmentasi habitat, berbagai pendekatan ilmiah dan kebijakan konservasi telah dikembangkan. Salah satunya adalah konservasi in

situ, yaitu melindungi spesies di habitat aslinya dengan menjaga keutuhan ekosistem. Pendirian taman nasional, cagar alam, dan suaka margasatwa menjadi langkah penting untuk mempertahankan kawasan yang masih alami.

Selain itu, konsep konektivitas ekologi (*ecological connectivity*) menjadi kunci dalam mitigasi fragmentasi. Melalui pembangunan koridor satwa liar (*wildlife corridors*) atau jembatan ekologis (*ecobridge*), fragmen-fragmen habitat yang terpisah dapat dihubungkan kembali untuk memungkinkan pergerakan genetik dan migrasi alami antar populasi. Di Indonesia, misalnya, koridor gajah di Taman Nasional Way Kambas dan koridor orangutan di Kalimantan Tengah dikembangkan untuk menjaga kesinambungan populasi satwa besar.

Upaya lainnya meliputi restorasi ekosistem, yaitu memulihkan lahan yang rusak agar dapat kembali menjalankan fungsi ekologisnya. Restorasi dilakukan melalui reboisasi, pengendalian spesies invasif, dan rehabilitasi lahan kritis. Prinsip dasar dari pendekatan ini adalah mengembalikan keanekaragaman struktur dan fungsi ekosistem yang mendukung kehidupan spesies asli.

4.3 Spesies Invasif dan Dampaknya

Spesies invasif (*invasive species*) adalah organisme baik tumbuhan, hewan, maupun mikroorganisme -yang diperkenalkan ke suatu ekosistem di luar habitat aslinya dan kemudian mampu berkembang biak secara cepat serta menimbulkan gangguan terhadap ekosistem, ekonomi, dan kesehatan manusia. Spesies invasif sering disebut juga spesies asing invasif (*invasive alien species*), karena keberadaannya berasal dari luar wilayah ekosistem tempat ia ditemukan sekarang.

Dalam konteks ekologi, tidak semua spesies yang masuk ke lingkungan baru bersifat invasif. Banyak di antaranya yang tidak mampu bertahan hidup karena tidak cocok dengan kondisi lingkungan setempat. Namun, sebagian kecil spesies berhasil beradaptasi dengan sangat baik, bahkan menguasai ekosistem baru tersebut, menggeser spesies lokal, dan menyebabkan perubahan struktural serta fungsional dalam komunitas ekologi. Spesies jenis ini yang disebut sebagai spesies invasif sejati.

Masuknya spesies invasif dapat terjadi secara alami (misalnya melalui arus laut atau hembusan angin), tetapi pada zaman modern sebagian besar penyebarannya bersifat antropogenik yaitu akibat aktivitas manusia, seperti perdagangan global, transportasi laut dan udara, pertanian, serta introduksi spesies secara sengaja untuk tujuan ekonomi atau estetika.

1. Proses Terjadinya Invasi Biologis

Proses masuk dan berkembangnya spesies invasif dalam suatu ekosistem biasanya terjadi melalui beberapa tahap. Pertama adalah tahap introduksi, yaitu ketika spesies asing masuk ke lingkungan baru melalui media tertentu seperti kapal, kontainer, atau bahan tanaman. Selanjutnya, pada tahap kolonisasi, spesies tersebut mampu bertahan hidup dan mulai berkembang biak. Tahap berikutnya adalah tahap naturalisasi, di mana spesies asing mulai beradaptasi dengan kondisi lingkungan lokal dan berinteraksi dengan spesies asli. Akhirnya, pada tahap invasi, spesies tersebut berkembang sangat cepat, menyebar luas, dan mengubah struktur ekosistem alami.

Keberhasilan spesies invasif dalam menguasai habitat baru biasanya disebabkan oleh beberapa faktor: kemampuan reproduksi tinggi, tidak adanya predator alami, toleransi ekologis yang luas, serta kemampuan bersaing dalam memperoleh sumber daya. Kombinasi faktor-faktor ini membuat spesies invasif mampu mendominasi habitat dan menggantikan peran spesies lokal.

2. Contoh Spesies Invasif di Indonesia

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan keanekaragaman hayati tinggi juga menghadapi ancaman serius dari spesies invasif. Beberapa contohnya antara lain:

- 1) *Eichhornia crassipes* (eceng gondok), tumbuhan air asal Amerika Selatan yang kini menyebar luas di perairan Indonesia. Tanaman ini tumbuh sangat cepat dan menutupi permukaan air, menghalangi sinar matahari masuk ke dalam air, mengurangi kadar oksigen, serta mengganggu kehidupan ikan dan organisme akuatik lainnya.
- 2) *Achatina fulica* (siput raksasa Afrika), hewan moluska yang diperkenalkan untuk konsumsi, namun menjadi hama serius pada tanaman pertanian karena kemampuannya memakan berbagai jenis daun dan berbiak cepat.
- 3) *Chromolaena odorata* (kirinyuh atau siam weed), tumbuhan semak asal Amerika Tengah yang menyebar di lahan terbuka dan menggantikan vegetasi lokal, terutama di lahan bekas tebangan atau padang rumput.
- 4) *Pomacea canaliculata* (keong mas), spesies asal Amerika Selatan yang semula diperkenalkan sebagai bahan pangan, namun menjadi hama padi yang merusak tanaman muda di sawah.
- 5) *Oreochromis niloticus* (ikan nila), meskipun bernilai ekonomi tinggi, keberadaannya di beberapa perairan alami mengancam ikan-ikan endemik seperti *Oryzias celebensis* dan *Rasbora tawarensis* karena persaingan makanan dan ruang hidup.

Contoh-contoh tersebut menunjukkan bahwa introduksi spesies tanpa kontrol ekologis dapat menimbulkan konsekuensi serius terhadap keseimbangan alam.

3. Dampak Ekologis

Spesies invasif memberikan dampak besar terhadap ekosistem, terutama melalui kompetisi, predasi, penyebaran penyakit, dan perubahan struktur habitat.

Kompetisi: Spesies invasif sering kali bersaing dengan spesies asli dalam hal makanan, ruang, dan sumber daya lainnya. Karena memiliki laju reproduksi tinggi dan kemampuan adaptasi yang baik, mereka dapat mendominasi habitat, sehingga spesies lokal terdesak bahkan punah. Contohnya, invasi tanaman *Chromolaena odorata* menggantikan padang rumput alami yang menjadi habitat bagi spesies serangga dan burung tertentu.

Predasi: Beberapa spesies invasif merupakan predator baru bagi ekosistem yang tidak memiliki mekanisme pertahanan terhadap mereka. Misalnya, kucing liar dan tikus yang diperkenalkan ke pulau-pulau kecil di Indonesia Timur telah menyebabkan

kepunahan beberapa jenis burung endemik yang sebelumnya tidak memiliki predator darat.

Penyebaran penyakit: Spesies invasif juga dapat membawa patogen atau parasit yang berbahaya bagi fauna lokal. Sebagai contoh, ikan nila diketahui menjadi pembawa penyakit *Streptococcus* yang mempengaruhi populasi ikan asli di beberapa danau.

Perubahan struktur habitat: Tanaman invasif dapat mengubah struktur fisik dan kimiawi habitat. *Eceng gondok*, misalnya, menutupi permukaan air sehingga menghambat sirkulasi oksigen dan mengubah kondisi lingkungan akuatik, yang pada akhirnya menurunkan keanekaragaman organisme air.

Akumulasi dari berbagai dampak tersebut menyebabkan gangguan terhadap keseimbangan ekosistem dan berkurangnya **stabilitas** ekologis dalam jangka panjang.

4. Dampak Ekonomi dan Sosial

Selain kerugian ekologis, spesies invasif juga membawa dampak ekonomi yang sangat besar. Di sektor pertanian, spesies invasif seperti keong mas dan tikus menyebabkan kerugian miliaran rupiah setiap tahun akibat gagal panen. Di sektor perikanan, ikan predator invasif seperti *Clarias gariepinus* (lele Afrika) dapat menurunkan populasi ikan lokal yang bernilai ekonomi tinggi.

Di perairan, tumbuhan seperti eceng gondok menurunkan efisiensi irigasi, menghambat transportasi air, dan mengurangi produksi listrik pada bendungan akibat penyumbatan saluran. Selain itu, penanganan spesies invasif memerlukan biaya tinggi, baik untuk eradikasi maupun pengendalian populasinya. Dari sisi sosial, invasi spesies asing juga berdampak terhadap budaya lokal, terutama masyarakat adat yang bergantung pada sumber daya alam tertentu yang kini terganggu oleh spesies invasif.

6. Dampak terhadap Keanekaragaman Hayati

Salah satu ancaman terbesar dari spesies invasif adalah hilangnya keanekaragaman hayati lokal. Spesies endemik yang memiliki jangkauan habitat terbatas sangat rentan terhadap kompetisi dan predasi dari spesies asing. Ketika habitat alami terganggu dan spesies invasif mendominasi, komunitas biologis menjadi homogen dan fungsi ekosistem terganggu.

Fenomena ini dikenal sebagai biological homogenization, yaitu kondisi di mana ekosistem yang sebelumnya beragam menjadi seragam karena hanya didominasi oleh beberapa spesies invasif. Dalam konteks global, invasi biologis menjadi salah satu penyebab utama kepunahan spesies — setelah kehilangan habitat dan perubahan iklim.

7. Upaya Pengendalian Spesies Invasif

Upaya pengendalian spesies invasif membutuhkan pendekatan yang terencana, terpadu, dan berbasis ilmu pengetahuan. Beberapa strategi yang umum dilakukan antara lain:

- 1) Pencegahan (Prevention) - merupakan langkah paling efektif, yaitu dengan membatasi masuknya spesies asing melalui pengawasan ketat terhadap perdagangan, karantina hewan dan tumbuhan, serta edukasi masyarakat.
- 2) Deteksi dini dan respon cepat (Early Detection and Rapid Response) penting dilakukan untuk mencegah penyebaran luas. Ketika suatu spesies baru terdeteksi di habitat alami, langkah eradikasi harus segera dilakukan sebelum populasinya meningkat.
- 3) Pengendalian mekanik dan kimiawi -seperti pembersihan fisik tanaman invasif atau penggunaan pestisida selektif. Namun, metode ini harus dilakukan hati-hati agar tidak merusak organisme non-target.
- 4) Pengendalian biologis (biocontrol) -yaitu memperkenalkan musuh alami spesies invasif, seperti predator, parasit, atau patogen. Pendekatan ini memerlukan penelitian mendalam untuk menghindari efek samping terhadap spesies asli.
- 5) Restorasi ekosistem -setelah invasi berhasil dikendalikan, habitat harus direstorasi agar dapat mendukung kembali spesies asli dan mencegah invasi ulang.

Selain itu, keterlibatan masyarakat lokal sangat penting karena mereka merupakan pihak yang paling dekat dengan ekosistem yang terancam. Program edukasi dan partisipasi publik dapat meningkatkan efektivitas pengendalian spesies invasif.

4.4 Perubahan Iklim dan Dampaknya terhadap Ekosistem

Perubahan iklim merupakan perubahan jangka panjang terhadap pola suhu, curah hujan, kelembapan, dan kondisi cuaca lain di permukaan bumi akibat faktor alam maupun aktivitas manusia. Secara alami, iklim bumi memang berfluktuasi selama ribuan tahun karena faktor geologis, aktivitas vulkanik, serta variasi orbit bumi terhadap matahari. Namun, dalam beberapa abad terakhir, perubahan iklim berlangsung jauh lebih cepat dan ekstrem, terutama akibat meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan dinitrogen oksida (N_2O) dari aktivitas manusia. Fenomena ini dikenal sebagai pemanasan global (global warming), yang merupakan penyebab utama dari perubahan iklim modern.

Sumber utama gas rumah kaca berasal dari pembakaran bahan bakar fosil untuk energi, deforestasi, aktivitas industri, pertanian intensif, dan perubahan tata guna lahan. Akumulasi gas-gas ini di atmosfer menyebabkan efek rumah kaca meningkat, yaitu penahanan panas bumi oleh lapisan atmosfer sehingga suhu rata-rata global naik secara signifikan. Dampaknya tidak hanya dirasakan secara fisik dalam bentuk cuaca ekstrem, tetapi juga mempengaruhi keseimbangan ekosistem dan keanekaragaman hayati di seluruh dunia.

1. Bukti dan Tren Global Perubahan Iklim

Bukti ilmiah mengenai perubahan iklim kini sangat kuat dan dapat diamati secara langsung. Data dari *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* menunjukkan bahwa suhu rata-rata global telah meningkat sekitar $1,1^\circ\text{C}$ sejak era pra-industri. Fenomena ini disertai dengan meningkatnya frekuensi kejadian cuaca ekstrem seperti gelombang panas, badai tropis, kekeringan, serta banjir besar di berbagai belahan dunia.

Selain itu, pencairan es di kutub utara dan selatan, serta surutnya gletser di pegunungan tropis seperti di Papua, menunjukkan bahwa pemanasan global telah mengubah sistem bumi secara nyata. Permukaan laut pun mengalami kenaikan rata-rata sekitar 3,3 mm per tahun akibat kombinasi antara mencairnya lapisan es dan pemuaian termal air laut. Perubahan ini tidak hanya berdampak pada lingkungan pesisir, tetapi juga pada dinamika ekosistem darat dan laut secara keseluruhan.

2. Dampak terhadap Ekosistem Darat

Perubahan iklim memberikan dampak langsung terhadap struktur, fungsi, dan distribusi ekosistem daratan. Kenaikan suhu dan perubahan pola curah hujan menyebabkan pergeseran zona vegetasi, di mana spesies tumbuhan tertentu berpindah ke daerah yang lebih tinggi atau lebih dingin untuk menyesuaikan diri. Misalnya, di daerah pegunungan Indonesia, jenis-jenis tumbuhan pegunungan mulai naik ke ketinggian lebih tinggi karena suhu meningkat di zona bawah.

Selain itu, kekeringan yang berkepanjangan mengakibatkan degradasi lahan dan hilangnya produktivitas ekosistem. Padang rumput berubah menjadi lahan tandus, dan hutan tropis mengalami stres air yang menurunkan kemampuan fotosintesis. Perubahan musim hujan dan musim kering yang tidak menentu juga berdampak terhadap siklus hidup tumbuhan dan hewan, seperti waktu berbunga, migrasi, serta reproduksi.

Dampak lainnya adalah meningkatnya frekuensi kebakaran hutan, terutama di wilayah tropis seperti Kalimantan dan Sumatra. Kekeringan ekstrem akibat fenomena *El Niño* memperbesar risiko kebakaran yang tidak hanya merusak vegetasi, tetapi juga menghilangkan habitat satwa liar dan melepaskan karbon dalam jumlah besar ke atmosfer, memperparah pemanasan global.

3. Dampak terhadap Ekosistem Perairan

Ekosistem perairan, baik tawar maupun laut, juga sangat rentan terhadap perubahan iklim. Kenaikan suhu air laut mengganggu keseimbangan ekosistem pesisir dan menyebabkan pemutihan terumbu karang (coral bleaching). Ketika suhu laut naik lebih dari batas toleransi, alga simbiotik (*zooxanthellae*) yang hidup di jaringan karang keluar, sehingga karang kehilangan warna dan sumber energinya. Jika kondisi ini berlanjut, terumbu karang dapat mati, yang berarti hilangnya habitat bagi ribuan spesies laut.

Selain itu, peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer menyebabkan pengasaman laut (ocean acidification), karena gas tersebut larut ke dalam air laut membentuk asam karbonat. Proses ini menurunkan pH laut dan mengganggu organisme laut yang memiliki cangkang kalsium karbonat seperti moluska, koral, dan plankton. Perubahan tersebut berdampak pada rantai makanan laut dan produktivitas perikanan yang menjadi sumber ekonomi bagi jutaan masyarakat pesisir.

Di perairan tawar, peningkatan suhu dan penurunan curah hujan mengurangi volume dan kualitas air, mengakibatkan penurunan populasi ikan serta gangguan terhadap fungsi ekosistem sungai dan danau. Contohnya, Danau Toba dan Danau Sentani

mengalami fluktuasi suhu dan kualitas air yang mempengaruhi keseimbangan ekosistem lokal.

4. Dampak terhadap Keanekaragaman Hayati

Perubahan iklim berperan besar dalam mempercepat laju kepunahan spesies. Ketika kondisi lingkungan berubah lebih cepat daripada kemampuan spesies untuk beradaptasi atau bermigrasi, populasi akan menurun drastis. Spesies dengan habitat sempit, seperti flora dan fauna endemik di pulau-pulau kecil Indonesia, sangat rentan terhadap perubahan iklim karena keterbatasan ruang untuk berpindah.

Sebagai contoh, beberapa jenis amfibi dan burung pegunungan mulai mengalami penurunan populasi akibat suhu yang lebih hangat dan perubahan curah hujan. Demikian pula, hewan laut seperti penyu hijau menghadapi ancaman karena suhu pasir yang meningkat mempengaruhi rasio jenis kelamin anak penyu yang menetas — di mana suhu tinggi menghasilkan lebih banyak betina.

Perubahan iklim juga mempercepat penyebaran spesies invasif dan penyakit baru yang sebelumnya tidak ditemukan di suatu wilayah, sehingga menambah tekanan terhadap spesies asli. Akibatnya, ekosistem menjadi tidak stabil dan proses-proses ekologis seperti penyerbukan, dekomposisi, serta siklus nutrisi terganggu.

5. Dampak Sosial dan Ekonomi

Dampak ekologis perubahan iklim berimbas langsung pada kehidupan manusia. Kenaikan suhu dan perubahan curah hujan menurunkan hasil pertanian, memengaruhi ketersediaan air bersih, serta meningkatkan risiko bencana alam seperti banjir dan longsor. Masyarakat pesisir menghadapi ancaman kenaikan permukaan laut yang dapat menenggelamkan permukiman, lahan pertanian, dan kawasan wisata.

Sektor perikanan juga mengalami penurunan produktivitas akibat rusaknya ekosistem terumbu karang dan berkurangnya populasi ikan. Secara ekonomi, hal ini menurunkan pendapatan nelayan dan meningkatkan ketimpangan sosial. Dari sisi kesehatan, perubahan iklim meningkatkan penyebaran penyakit seperti demam berdarah dan malaria karena perluasan habitat vektor penyakit ke wilayah yang sebelumnya aman.

6. Upaya Mitigasi dan Adaptasi

Menghadapi dampak perubahan iklim diperlukan dua strategi utama, yaitu mitigasi dan adaptasi.

- 1) Mitigasi bertujuan mengurangi sumber emisi gas rumah kaca, misalnya dengan beralih ke energi terbarukan (surya, angin, dan biomassa), melakukan reforestasi, dan menerapkan pertanian berkelanjutan. Upaya konservasi hutan tropis Indonesia juga merupakan langkah penting dalam menyerap karbon secara alami melalui proses fotosintesis.

- 2) Adaptasi, di sisi lain, berfokus pada penyesuaian sistem alam dan manusia terhadap perubahan yang tidak dapat dihindari. Contohnya, pembangunan tanggul pesisir, pengelolaan air terpadu, perlindungan ekosistem mangrove, serta pengembangan varietas tanaman yang tahan terhadap kekeringan dan salinitas tinggi.

Pendekatan berbasis ekosistem (*ecosystem-based adaptation*) kini menjadi pilihan utama dalam kebijakan konservasi modern karena mampu menjaga fungsi ekologis sekaligus memberikan manfaat sosial **dan** ekonomi bagi masyarakat.

7. Peran Indonesia dalam Menghadapi Perubahan Iklim

Sebagai negara megabiodiversitas dengan luas hutan tropis ketiga terbesar di dunia, Indonesia memiliki peran penting dalam upaya global mengatasi perubahan iklim. Hutan Indonesia menyerap jutaan ton karbon setiap tahun dan berfungsi sebagai paru-paru dunia. Namun, deforestasi dan kebakaran hutan masih menjadi tantangan besar yang perlu ditangani secara serius.

Pemerintah Indonesia telah berkomitmen dalam perjanjian internasional seperti Paris Agreement, dengan target menurunkan emisi gas rumah kaca hingga 31,89% secara mandiri dan hingga 43,2% dengan dukungan internasional pada tahun 2030. Program seperti rehabilitasi hutan mangrove, pengembangan energi bersih, serta restorasi lahan gambut merupakan langkah nyata dalam mencapai target tersebut.

4.5 Kasus Kehilangan Spesies di Indonesia

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara megabiodiversitas di dunia, yang berarti memiliki kekayaan spesies flora dan fauna yang sangat tinggi. Diperkirakan lebih dari 17% spesies dunia terdapat di wilayah Indonesia, meskipun luas daratannya hanya sekitar 1,3% dari permukaan bumi. Namun, kekayaan hayati tersebut kini menghadapi ancaman serius akibat aktivitas manusia yang menyebabkan hilangnya habitat, eksploitasi berlebihan, perubahan iklim, dan masuknya spesies invasif. Akibatnya, berbagai spesies endemik yang sebelumnya melimpah kini berada di ambang kepunahan.

Kehilangan spesies tidak hanya berarti hilangnya satu bentuk kehidupan, tetapi juga hilangnya fungsi ekologis yang mereka miliki dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Dalam konteks konservasi, memahami kasus-kasus kehilangan spesies di Indonesia menjadi sangat penting untuk merumuskan kebijakan dan tindakan penyelamatan yang lebih efektif di masa depan.

1. Penyebab Utama Kehilangan Spesies

Kehilangan spesies di Indonesia disebabkan oleh kombinasi berbagai faktor, antara lain:

- 1) Deforestasi dan Fragmentasi Habitat -Penggundulan hutan untuk perkebunan, pertambangan, dan pemukiman menyebabkan banyak spesies kehilangan tempat hidupnya.
- 2) Perburuan dan Perdagangan Ilegal -Permintaan terhadap satwa liar untuk dijadikan peliharaan, bahan obat, maupun komoditas mewah terus meningkat.

- 3) Perubahan Iklim Global - Suhu yang meningkat, perubahan curah hujan, dan bencana iklim menyebabkan gangguan terhadap siklus hidup spesies tertentu.
- 4) Pencemaran Lingkungan -Limbah industri dan pertanian menurunkan kualitas habitat, terutama di wilayah perairan.
- 5) Spesies Invasif -Masuknya spesies asing sering kali menyingkirkan spesies lokal melalui kompetisi dan predasi.

Faktor-faktor tersebut bekerja secara sinergis dan mempercepat hilangnya keanekaragaman hayati, terutama pada spesies dengan habitat sempit dan populasi kecil.

2. Kasus Kehilangan Spesies di Indonesia

1) Harimau Bali (*Panthera tigris balica*)

Harimau Bali merupakan subspesies harimau terkecil yang endemik di Pulau Bali. Satwa ini dinyatakan punah pada tahun 1940-an, terutama akibat perburuan intensif dan hilangnya habitat akibat pembukaan lahan untuk pertanian dan permukiman. Sebagai predator puncak, hilangnya harimau Bali menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem di pulau tersebut, di mana populasi mangsa seperti rusa meningkat tanpa kontrol alami.

2) Harimau Jawa (*Panthera tigris sondaica*)

Subspesies harimau ini merupakan salah satu simbol penting fauna Indonesia. Populasi harimau Jawa menurun drastis akibat perburuan dan kerusakan hutan sejak awal abad ke-20. Laporan terakhir penampakkannya terjadi pada 1980-an, dan kini spesies ini dinyatakan punah secara resmi oleh IUCN. Hilangnya harimau Jawa mencerminkan lemahnya pengelolaan kawasan hutan pada masa lalu dan menjadi pelajaran berharga bagi konservasi satwa besar lainnya seperti macan tutul Jawa (*Panthera pardus melas*).

3) Burung Serindit Sangihe (*Loriculus catamene*)

Burung endemik Pulau Sangihe di Sulawesi Utara ini merupakan salah satu contoh spesies yang hampir punah akibat deforestasi dan fragmentasi hutan. Habitat alaminya yang sempit di *hutan* dataran rendah telah berkurang drastis akibat pembukaan lahan untuk pertanian. Upaya konservasi saat ini difokuskan pada perlindungan sisa hutan dan penangkaran untuk mempertahankan populasinya.

4) dBurung Maleo (*Macrocephalon maleo*)

Burung Maleo adalah burung endemik Sulawesi yang terkenal karena perilaku uniknya dalam bertelur di pasir panas. Namun, aktivitas manusia seperti pengambilan telur untuk konsumsi *dan* hilangnya habitat pesisir menyebabkan penurunan populasi yang signifikan. Saat ini, spesies ini masuk dalam kategori “Terancam Punah (Endangered)” oleh IUCN, dan hanya tersisa beberapa lokasi yang menjadi habitat alami seperti di Gorontalo dan Sulawesi Tengah.

5) Badak Sumatera (*Dicerorhinus sumatrensis*)

Badak Sumatera merupakan spesies badak terkecil di dunia dan satu-satunya yang memiliki dua cula. Kini, jumlahnya diperkirakan kurang dari 80 ekor di alam liar, tersebar di Taman Nasional Way Kambas, Bukit Barisan Selatan, dan Gunung Leuser. Populasi yang sangat kecil dan terfragmentasi menyebabkan spesies ini berada di ambang kepunahan. Ancaman utama berasal dari perburuan ilegal untuk cula, serta degradasi hutan. Upaya konservasi melalui program *Sumatran Rhino Sanctuary (SRS)* menjadi harapan terakhir penyelamatan spesies ini.

6) Orangutan Kalimantan (*Pongo pygmaeus*) dan Orangutan Sumatera (*Pongo abelii*)

Kedua spesies ini merupakan kera besar yang hanya ditemukan di Indonesia. Orangutan berperan penting sebagai penyebar biji tumbuhan hutan hujan tropis. Namun, laju deforestasi untuk perkebunan kelapa sawit dan pembalakan liar telah menyebabkan penurunan populasi hingga lebih dari 50% dalam 50 tahun terakhir. Selain itu, konflik manusia-satwa sering terjadi karena orangutan dianggap hama oleh petani ketika mereka mencari makanan di kebun.

Berbagai lembaga konservasi internasional dan nasional telah melakukan rehabilitasi dan pelepasan kembali individu ke habitat alami, namun pemulihan populasinya tetap berjalan lambat karena reproduksi yang lambat (satu anak setiap 6–8 tahun).

7) Elang Flores (*Nisaetus floris*)

Elang Flores adalah burung pemangsa endemik Nusa Tenggara Timur yang kini berstatus Kritis (Critically Endangered). Habitatnya di hutan primer Pulau Flores terus menyusut akibat penebangan liar dan perambahan. Populasi burung ini diperkirakan kurang dari 250 individu dewasa, dan fragmentasi hutan memperparah ancaman terhadap kelangsungan reproduksi dan ketersediaan mangsa.

8) Ikan Arwana Merah (*Scleropages formosus*)

Spesies ikan hias endemik Kalimantan Barat ini menjadi korban eksploitasi berlebihan karena nilai ekonominya yang sangat tinggi di pasar internasional. Meskipun saat ini dilindungi secara hukum dan dikategorikan dalam Appendix I CITES, perdagangan ilegal masih terjadi. Penangkapan liar dan degradasi habitat rawa gambut memperparah penurunan populasinya di alam. Upaya penangkaran telah dilakukan untuk menekan tekanan terhadap populasi liar.

9) Penyu Belimbing (*Dermochelys coriacea*)

Penyu belimbing adalah jenis penyu terbesar di dunia yang sering bertelur di pantai-pantai selatan Papua dan Sumatera Barat. Populasi penyu ini menurun tajam akibat perburuan telur, tertangkap jaring nelayan, dan polusi plastik di lautan. Perubahan suhu pasir akibat pemanasan global juga memengaruhi tingkat keberhasilan penetasan telur dan keseimbangan rasio jenis kelamin. Kini, penyu belimbing masuk dalam kategori “Kritis” oleh IUCN.

10) Dampak Ekologis Kehilangan Spesies

Kehilangan satu spesies dapat memicu efek berantai (trophic cascade) dalam ekosistem. Misalnya, punahnya predator puncak seperti harimau menyebabkan ledakan populasi herbivora yang kemudian merusak vegetasi dan mengubah struktur hutan. Hilangnya penyerbuk seperti lebah dan kelelawar juga mengganggu reproduksi tanaman, menurunkan hasil buah dan keanekaragaman flora.

Kehilangan spesies endemik seperti orangutan atau badak Sumatera berarti hilangnya bagian penting dari identitas ekologis Indonesia. Selain itu, kerugian ekologis ini seringkali diikuti oleh kerugian ekonomi dalam jangka panjang, seperti berkurangnya potensi wisata alam dan menurunnya jasa lingkungan yang dihasilkan ekosistem.

11) Upaya Konservasi dan Rehabilitasi

- a) Berbagai upaya telah dilakukan untuk mencegah hilangnya spesies di Indonesia, baik oleh pemerintah maupun organisasi non-pemerintah, antara lain:
- b) Pembentukan kawasan konservasi seperti taman nasional dan cagar alam yang berfungsi melindungi habitat asli spesies langka.
- c) Penegakan hukum terhadap perburuan dan perdagangan ilegal satwa liar.
- d) Program penangkaran dan pelepasliaran untuk spesies tertentu, seperti badak, orangutan, dan burung endemik.
- e) Edukasi masyarakat lokal agar terlibat dalam kegiatan konservasi dan mendapatkan manfaat ekonomi berkelanjutan dari keanekaragaman hayati.
- f) Restorasi ekosistem melalui reboisasi dan rehabilitasi lahan kritis guna memperluas kembali habitat alami.

Selain itu, kemitraan antara lembaga pemerintah, akademisi, dan masyarakat adat menjadi kunci keberhasilan konservasi di

BAB 5

STRATEGI DAN PENDEKATAN KONSERVASI

5.1 Konservasi *In-situ* dan *Ex-situ*

Konservasi merupakan upaya terencana dan berkelanjutan untuk melindungi, mengelola, serta memulihkan keanekaragaman hayati agar tetap lestari dan dapat memberikan manfaat bagi generasi sekarang maupun mendatang. Dalam praktiknya, strategi konservasi dibedakan menjadi dua pendekatan utama, yaitu konservasi *in-situ* dan konservasi *ex-situ*. Kedua pendekatan ini memiliki tujuan yang sama yaitu menjaga kelestarian spesies dan ekosistem namun berbeda dalam cara dan tempat pelaksanaannya.

Konservasi *in-situ* berarti upaya pelestarian spesies dilakukan langsung di habitat alaminya, di mana organisme tersebut tumbuh dan berkembang secara alami. Pendekatan ini dianggap sebagai metode paling ideal karena memungkinkan spesies untuk tetap berinteraksi dengan komponen lingkungan dan proses ekologi yang telah terbentuk secara evolusioner. Contoh nyata dari konservasi *in-situ* di Indonesia adalah pendirian taman nasional, cagar alam, suaka margasatwa, dan taman hutan raya. Di tempat-tempat tersebut, flora dan fauna dilindungi dari aktivitas manusia yang merusak, seperti perburuan, penebangan liar, atau konversi lahan. Misalnya, Taman Nasional Ujung Kulon di Banten menjadi kawasan pelindung bagi badak Jawa (*Rhinoceros sondaicus*), salah satu mamalia paling langka di dunia. Begitu pula Taman Nasional Way Kambas di Lampung yang menjadi habitat utama gajah Sumatera (*Elephas maximus sumatranus*) dan harimau Sumatera (*Panthera tigris sumatrae*).

Konservasi *in-situ* tidak hanya menjaga keberadaan spesies, tetapi juga melestarikan ekosistemnya secara menyeluruh, termasuk interaksi antar spesies, siklus energi, dan proses regenerasi alami. Dengan demikian, konservasi jenis ini mendukung keberlanjutan fungsi ekologis seperti penyerbukan, penyerapan karbon, serta perlindungan tata air. Namun demikian, pelaksanaan konservasi *in-situ* menghadapi tantangan besar, terutama akibat tekanan populasi manusia, konflik lahan, dan lemahnya pengawasan di kawasan konservasi.

Sementara itu, konservasi *ex-situ* dilakukan dengan cara melindungi dan mengembangkan spesies di luar habitat aslinya, terutama ketika populasi di alam sudah sangat kecil atau habitatnya sudah rusak parah. Tujuan utamanya adalah menyelamatkan spesies dari kepunahan dengan cara menyediakan kondisi buatan yang mendekati lingkungan alaminya. Contoh lembaga konservasi *ex-situ* di Indonesia antara lain kebun binatang, taman safari, kebun raya, bank genetik, serta balai konservasi tumbuhan dan satwa liar. Misalnya, Kebun Raya Bogor berperan penting dalam konservasi berbagai jenis tumbuhan langka seperti *Rafflesia patma* dan *Amorphophallus titanum* (bunga bangkai), sedangkan Taman Safari Indonesia turut melakukan program penangkaran untuk satwa dilindungi seperti harimau Sumatera dan jalak Bali (*Leucopsar rothschildi*).

Pendekatan *ex-situ* juga mencakup penyimpanan sumber daya genetik dalam bentuk bank gen (gene bank), bank biji (seed bank), bank sperma dan embrio, serta kultur jaringan yang memungkinkan spesies tertentu dapat diregenerasi di masa depan. Teknologi bioteknologi modern seperti *cryopreservation* (pembekuan genetik) menjadi salah satu inovasi penting dalam upaya pelestarian plasma nutfah. Selain itu, konservasi *ex-situ* sering digunakan sebagai langkah sementara untuk mendukung program reintroduksi, yaitu mengembalikan individu hasil penangkaran ke habitat alami setelah kondisi lingkungan dinilai aman dan sesuai.

Kedua pendekatan konservasi ini saling melengkapi. Konservasi *in-situ* menjaga ekosistem dan proses alami yang mendukung kehidupan spesies, sedangkan konservasi *ex-situ* berfungsi sebagai cadangan penyelamatan ketika populasi di alam sudah terancam punah. Dalam konteks manajemen keanekaragaman hayati di Indonesia, integrasi antara keduanya menjadi strategi yang paling efektif. Sebagai contoh, program penangkaran jalak Bali di Taman Safari dan Kebun Binatang Surabaya berhasil meningkatkan populasi burung tersebut, yang kemudian dilepasliarkan kembali ke habitat aslinya di Taman Nasional Bali Barat.

Dengan kombinasi pendekatan *in-situ* dan *ex-situ*, konservasi diharapkan tidak hanya melindungi spesies dari kepunahan, tetapi juga memastikan keberlanjutan fungsi ekologis, sosial, dan ekonomi dari keanekaragaman hayati. Kolaborasi antara pemerintah, lembaga penelitian, lembaga konservasi, serta masyarakat lokal menjadi kunci keberhasilan dalam mewujudkan tujuan konservasi yang berkelanjutan.

Reintroduksi merupakan salah satu strategi penting dalam konservasi keanekaragaman hayati yang bertujuan untuk mengembalikan spesies ke habitat aslinya setelah populasi di alam liar mengalami penurunan drastis atau punah secara lokal. Program reintroduksi biasanya dilakukan terhadap individu-individu hasil penangkaran (*ex-situ conservation*) yang telah melalui proses seleksi dan adaptasi lingkungan agar mampu bertahan hidup di alam bebas. Kegiatan ini tidak hanya sekadar melepaskan satwa ke habitatnya, tetapi juga melibatkan rangkaian tahapan ilmiah, mulai dari kajian ekologi habitat, kesiapan genetik, hingga pengawasan pasca pelepasliaran untuk memastikan keberhasilan populasi yang direintroduksi.

Dalam konteks ekologi konservasi, reintroduksi memiliki makna penting karena membantu memulihkan populasi alami, memperkuat struktur genetik spesies, dan mengembalikan fungsi ekologis yang sebelumnya hilang. Misalnya, predator puncak seperti harimau atau burung pemangsa memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan rantai makanan. Jika mereka punah secara lokal, populasi mangsa bisa melonjak tidak terkendali dan menimbulkan ketidakseimbangan ekosistem. Oleh karena itu, reintroduksi berperan dalam menstabilkan kembali dinamika ekologis di habitat alaminya.

Di Indonesia, beberapa program reintroduksi telah dilakukan dengan hasil yang cukup signifikan. Salah satu contoh keberhasilan adalah reintroduksi jalak Bali (*Leucopsar rothschildi*) yang dilakukan di Taman Nasional Bali Barat. Burung endemik ini hampir punah di alam liar akibat perburuan dan perdagangan ilegal, dengan

populasi tersisa kurang dari 15 ekor pada tahun 1990-an. Melalui program penangkaran di berbagai lembaga seperti Kebun Binatang Surabaya dan Taman Safari Indonesia, ratusan individu berhasil dikembangkan dan kemudian dilepasliarkan kembali. Hasilnya, populasi jalak Bali di alam meningkat dan mulai berkembang biak secara alami, meskipun tetap memerlukan perlindungan berkelanjutan.

Contoh lain adalah reintroduksi orangutan Sumatera (*Pongo abelii*) dan orangutan Kalimantan (*Pongo pygmaeus*) yang dilakukan oleh lembaga konservasi seperti BOS Foundation, Yayasan Ekosistem Lestari (YEL), dan Orangutan Foundation International (OFI). Individu-individu yang diselamatkan dari perdagangan satwa atau kehilangan habitat direhabilitasi di pusat-pusat konservasi hingga siap untuk dilepas ke kawasan hutan lindung. Program ini tidak hanya menumbuhkan kembali populasi orangutan liar, tetapi juga meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya pelestarian satwa endemik Indonesia.

Selain reintroduksi, konsep restorasi spesies atau restorasi ekosistem menjadi bagian integral dalam konservasi modern. Restorasi spesies mengacu pada upaya memperbaiki atau mengembalikan kondisi populasi yang terancam melalui pemulihan habitat, pengendalian ancaman, dan penambahan populasi di habitat aslinya. Restorasi sering kali diperlukan sebelum atau bersamaan dengan reintroduksi agar habitat yang akan dihuni kembali oleh spesies tersebut dalam kondisi layak. Tanpa habitat yang sesuai, program reintroduksi berisiko gagal karena individu yang dilepas tidak mampu bertahan hidup.

Sebagai contoh, di Taman Nasional Way Kambas, program restorasi dilakukan dengan menanam kembali pohon-pohon hutan tropis, memperluas area jelajah satwa, serta memperkuat pengawasan terhadap aktivitas perburuan. Restorasi tersebut bertujuan mendukung keberhasilan reintroduksi badak Sumatera (*Dicerorhinus sumatrensis*) dan gajah Sumatera (*Elephas maximus sumatranus*) yang populasinya kian menurun. Dengan cara ini, konservasi tidak hanya berfokus pada penyelamatan individu, tetapi juga pada pemulihan fungsi ekologis jangka panjang dari ekosistem itu sendiri.

Proses reintroduksi dan restorasi spesies membutuhkan kerja sama multidisipliner antara ahli ekologi, genetika, kedokteran hewan, dan pengelola kawasan konservasi. Selain itu, keterlibatan masyarakat lokal juga sangat penting karena mereka sering berinteraksi langsung dengan wilayah konservasi. Partisipasi masyarakat dalam menjaga habitat, mengurangi perburuan, serta mendukung program wisata konservasi dapat meningkatkan keberhasilan jangka panjang dari upaya reintroduksi.

Namun demikian, program reintroduksi juga memiliki tantangan besar. Beberapa di antaranya adalah kurangnya kesesuaian habitat, rendahnya kemampuan adaptasi satwa hasil penangkaran, risiko penyakit, dan konflik manusia-satwa setelah pelepasliaran. Oleh sebab itu, setiap kegiatan reintroduksi harus didahului oleh kajian kelayakan ekologis, sosial, dan genetik yang matang. Prinsip kehati-hatian

(*precautionary principle*) harus diterapkan agar upaya pelestarian tidak justru menimbulkan dampak negatif terhadap ekosistem atau populasi liar yang masih ada.

Secara keseluruhan, reintroduksi dan restorasi spesies merupakan tonggak penting dalam membangun kembali ekosistem yang rusak dan memperkuat ketahanan keanekaragaman hayati. Strategi ini menggambarkan sinergi antara konservasi *in-situ* dan *ex-situ*, di mana hasil penangkaran dimanfaatkan untuk memperkuat populasi liar dan memulihkan keseimbangan ekologis. Dalam jangka panjang, keberhasilan program ini akan menentukan kemampuan manusia untuk mempertahankan kekayaan hayati Indonesia sebagai warisan alam dunia yang tak ternilai.

5.2 Pengelolaan Kawasan Lindung

Pengelolaan kawasan lindung merupakan upaya sistematis untuk melestarikan keanekaragaman hayati, menjaga fungsi ekologis lingkungan, dan memastikan pemanfaatan sumber daya alam dilakukan secara berkelanjutan. Kawasan lindung berfungsi sebagai penyangga sistem kehidupan, tempat berlangsungnya berbagai proses ekologis penting seperti pengaturan tata air, penyimpanan karbon, pelestarian tanah, serta habitat bagi berbagai spesies flora dan fauna, termasuk yang endemik dan terancam punah. Dalam konteks konservasi modern, pengelolaan kawasan lindung tidak hanya menitikberatkan pada perlindungan alam semata, tetapi juga pada integrasi antara pelestarian ekosistem dan kesejahteraan masyarakat di sekitarnya.

Di Indonesia, konsep kawasan lindung diatur melalui berbagai kebijakan nasional, antara lain Undang-Undang Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan, Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya, serta peraturan turunannya seperti Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2011 tentang Pengelolaan Kawasan Suaka Alam dan Kawasan Pelestarian Alam. Berdasarkan ketentuan tersebut, kawasan lindung dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu kawasan suaka alam (KSA) yang mencakup cagar alam dan suaka margasatwa, dan kawasan pelestarian alam (KPA) seperti taman nasional, taman wisata alam, serta taman hutan raya. Masing-masing memiliki tujuan pengelolaan berbeda, namun sama-sama berfungsi untuk menjaga kelangsungan ekosistem secara utuh dan alami.

Pengelolaan kawasan lindung mencakup berbagai aspek yang saling terkait, mulai dari inventarisasi potensi sumber daya alam, penetapan zonasi kawasan, hingga pengawasan dan evaluasi berkala. Salah satu prinsip utama dalam pengelolaan ini adalah penerapan sistem zonasi, yaitu pembagian wilayah konservasi menjadi beberapa zona berdasarkan tingkat perlindungan dan pemanfaatannya. Misalnya, pada kawasan taman nasional terdapat zona inti yang sepenuhnya dilindungi dan bebas dari kegiatan manusia, zona rimba sebagai penyangga kehidupan liar, zona pemanfaatan untuk pendidikan, penelitian, dan wisata alam, serta zona rehabilitasi untuk pemulihan ekosistem yang rusak. Pendekatan zonasi ini memungkinkan

pengelolaan yang lebih fleksibel dan berkelanjutan tanpa mengabaikan fungsi ekologis kawasan.

Selain aspek ekologis, pengelolaan kawasan lindung juga mencakup dimensi sosial dan ekonomi. Masyarakat yang hidup di sekitar kawasan konservasi sering kali bergantung pada sumber daya alam untuk kebutuhan sehari-hari. Oleh karena itu, strategi pengelolaan yang efektif perlu melibatkan partisipasi aktif masyarakat melalui pendekatan co-management atau pengelolaan kolaboratif. Dalam pendekatan ini, masyarakat tidak hanya menjadi penerima kebijakan, tetapi juga turut berperan sebagai penjaga dan pengelola sumber daya alam. Contohnya, di beberapa taman nasional seperti Taman Nasional Gunung Leuser, Taman Nasional Lore Lindu, dan Taman Nasional Alas Purwo, masyarakat lokal dilibatkan dalam kegiatan patroli hutan, penanaman pohon, serta pengembangan ekowisata berbasis komunitas.

Pendidikan dan penyadartahuan lingkungan juga menjadi aspek penting dalam pengelolaan kawasan lindung. Melalui program konservasi berbasis pendidikan, masyarakat dan generasi muda diajak memahami nilai ekologis kawasan konservasi dan dampaknya terhadap kehidupan manusia. Edukasi ini menumbuhkan rasa kepemilikan dan tanggung jawab kolektif dalam menjaga kelestarian alam. Di sisi lain, penelitian ilmiah yang dilakukan di kawasan lindung dapat memberikan data penting untuk mendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan pengelolaan berbasis sains (*science-based management*).

Namun demikian, pengelolaan kawasan lindung di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan kompleks. Ancaman seperti perambahan hutan, kebakaran lahan, illegal logging, perburuan satwa liar, pertambangan ilegal, dan perubahan iklim terus mengancam kelestarian ekosistem alami. Selain itu, keterbatasan dana operasional, minimnya tenaga pengawas, serta tumpang tindih kewenangan antarinstansi sering menghambat efektivitas pengelolaan. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan penerapan teknologi konservasi modern seperti Sistem Informasi Geografis (SIG), drone monitoring, dan penginderaan jauh (remote sensing) untuk memantau perubahan tutupan lahan serta aktivitas manusia di dalam kawasan lindung secara real-time.

Pendekatan ekologi lanskap juga mulai diterapkan dalam pengelolaan kawasan lindung untuk menjaga konektivitas antarhabitat dan mencegah fragmentasi ekosistem. Dengan adanya koridor ekologis, pergerakan satwa liar dapat berlangsung lebih aman sehingga aliran genetik antarpopulasi tetap terjaga. Salah satu contoh penerapannya adalah Koridor Gajah di Sumatra, yang menghubungkan Taman Nasional Bukit Barisan Selatan dengan kawasan hutan lindung di sekitarnya. Pendekatan ini penting untuk mencegah isolasi populasi dan mendukung kelangsungan hidup spesies terancam punah.

Selain itu, pengelolaan kawasan lindung yang efektif juga harus memperhatikan dimensi tata kelola (governance) yang transparan dan akuntabel. Pemerintah, lembaga konservasi, akademisi, sektor swasta, serta masyarakat sipil perlu berkolaborasi dalam membangun sistem pengelolaan yang adaptif dan

berorientasi pada keberlanjutan. Pendanaan alternatif seperti mekanisme pembayaran jasa lingkungan (PES), program REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation), serta ekowisata berkelanjutan dapat menjadi sumber finansial yang mendukung pengelolaan jangka panjang.

Pada akhirnya, pengelolaan kawasan lindung bukan hanya tentang melindungi flora dan fauna dari kepunahan, melainkan juga tentang menjaga keseimbangan sistem kehidupan yang menopang seluruh makhluk hidup, termasuk manusia. Kawasan lindung berfungsi sebagai laboratorium alam, tempat belajar bagi ilmuwan, dan penyedia jasa ekosistem vital seperti udara bersih, air segar, serta penyerapan karbon. Dengan pengelolaan yang berbasis ilmu pengetahuan, melibatkan masyarakat, dan didukung oleh kebijakan yang kuat, kawasan lindung akan tetap menjadi warisan ekologis yang berharga bagi generasi kini dan mendatang.

5.3 Reintroduksi dan Pemulihan Spesies

Reintroduksi dan pemulihan spesies merupakan strategi penting dalam konservasi modern yang bertujuan mengembalikan spesies yang populasinya menurun drastis atau punah secara lokal ke habitat alaminya. Upaya ini tidak hanya berfokus pada mengembalikan individu ke alam liar, tetapi juga pada pemulihan fungsi ekologis dan keseimbangan ekosistem tempat spesies tersebut berada. Dalam konteks biologi konservasi, reintroduksi mencerminkan sinergi antara konservasi *in-situ* dan *ex-situ*, di mana hasil penangkaran dari lembaga konservasi atau kebun binatang digunakan untuk memperkuat populasi alami di habitat aslinya. Tujuan akhirnya adalah menciptakan populasi yang mandiri, berkelanjutan, dan mampu beradaptasi dengan lingkungan alami tanpa ketergantungan manusia.

Reintroduksi didefinisikan oleh *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) sebagai tindakan pelepasan individu-individu dari suatu spesies ke area dalam jangkauan alaminya, di mana spesies tersebut telah punah secara lokal. Proses ini memerlukan kajian ilmiah yang mendalam, termasuk evaluasi genetik, fisiologis, dan perilaku dari individu yang akan dilepas, serta penilaian terhadap kesesuaian habitat. Tidak semua upaya reintroduksi dapat berhasil; keberhasilan sangat bergantung pada kualitas habitat, ketersediaan sumber daya, minimnya ancaman, dan kemampuan adaptasi spesies terhadap kondisi lingkungan yang telah berubah.

Sebelum dilakukan reintroduksi, tahapan penting seperti rehabilitasi, karantina, dan penyesuaian perilaku alami (pre-release training) harus dilakukan untuk memastikan bahwa individu yang dilepas mampu bertahan hidup di alam. Program ini juga harus disertai dengan monitoring jangka panjang, guna mengevaluasi keberhasilan adaptasi, reproduksi, dan interaksi spesies dengan lingkungan barunya. Dalam praktiknya, reintroduksi sering diikuti oleh kegiatan pemulihan ekosistem (restorasi habitat), seperti penanaman vegetasi alami, pengendalian spesies invasif, dan pembatasan aktivitas manusia di area pelepasliaran.

Di Indonesia, beberapa program reintroduksi yang cukup berhasil telah dilakukan. Salah satunya adalah reintroduksi jalak Bali (*Leucopsar rothschildi*) di

Taman Nasional Bali Barat. Burung endemik ini sempat mengalami penurunan populasi ekstrem akibat perburuan dan perdagangan ilegal, dengan populasi liar kurang dari 20 individu pada tahun 1990-an. Melalui upaya penangkaran di berbagai lembaga konservasi seperti Kebun Binatang Surabaya dan Taman Safari Indonesia, individu hasil penangkaran dilepas kembali ke alam dengan pengawasan ketat. Hasilnya, populasi jalak Bali mulai meningkat dan berhasil berkembang biak secara alami di habitatnya.

Contoh lain adalah reintroduksi orangutan Kalimantan (*Pongo pygmaeus*) dan orangutan Sumatera (*Pongo abelii*), yang dilakukan oleh berbagai lembaga konservasi seperti Borneo Orangutan Survival (BOS) Foundation, Yayasan Ekosistem Lestari (YEL), dan Orangutan Foundation International (OFI). Individu yang diselamatkan dari perdagangan satwa atau kehilangan habitat menjalani proses rehabilitasi bertahun-tahun untuk memulihkan kemampuan bertahan hidup di alam, sebelum akhirnya dilepas ke kawasan hutan yang aman seperti Taman Nasional Bukit Tigapuluh dan Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya. Program ini tidak hanya berhasil memulihkan populasi orangutan liar, tetapi juga meningkatkan kesadaran global akan pentingnya konservasi spesies primata endemik Indonesia.

Selain reintroduksi, pemulihan spesies (*species recovery*) merupakan bagian integral dari strategi konservasi. Pemulihan spesies mencakup seluruh upaya untuk meningkatkan status populasi suatu spesies dari kondisi terancam menuju kondisi stabil melalui intervensi ekologi, manajemen habitat, dan pengendalian ancaman. Misalnya, program peningkatan populasi badak Jawa (*Rhinoceros sondaicus*) di Taman Nasional Ujung Kulon dilakukan dengan memperluas habitat jelajah, memulihkan vegetasi pakan alami, serta memperkuat patroli pengawasan untuk mencegah perburuan. Upaya ini menjadi contoh nyata integrasi antara perlindungan habitat dan pengelolaan spesies secara langsung.

Namun demikian, pelaksanaan program reintroduksi dan pemulihan spesies memiliki tantangan yang tidak sedikit. Ancaman utama yang sering dihadapi adalah degradasi habitat, fragmentasi ekosistem, konflik manusia-satwa, penyebaran penyakit, dan rendahnya keragaman genetik akibat populasi yang terlalu kecil. Oleh karena itu, keberhasilan program reintroduksi memerlukan pendekatan multidisipliner yang melibatkan ahli ekologi, genetika konservasi, kedokteran hewan, serta sosioantropologi. Selain itu, keterlibatan masyarakat lokal menjadi faktor kunci dalam menciptakan keberlanjutan jangka panjang. Masyarakat perlu dilibatkan dalam patroli konservasi, pengawasan satwa liar, dan pengelolaan ekowisata berbasis konservasi agar dapat merasakan manfaat langsung dari kegiatan pelestarian alam.

Dalam skala global, keberhasilan reintroduksi tidak hanya diukur dari jumlah individu yang dilepas atau bertahan hidup, tetapi juga dari kemampuan populasi baru untuk berkembang biak secara mandiri dan berfungsi secara ekologis dalam sistem alam. Oleh karena itu, pemantauan jangka panjang, dokumentasi ilmiah, serta evaluasi periodik menjadi bagian penting dalam setiap proyek reintroduksi. Prinsip kehati-hatian (*precautionary principle*) juga harus diterapkan agar pelepasan satwa tidak justru menimbulkan ketidakseimbangan baru dalam ekosistem.

Secara keseluruhan, reintroduksi dan pemulihan spesies merupakan langkah nyata untuk mengembalikan fungsi ekologis dan keanekaragaman hayati bumi. Upaya ini mencerminkan komitmen manusia untuk memperbaiki kerusakan alam yang telah terjadi dan memastikan keberlanjutan kehidupan bagi generasi mendatang. Keberhasilan program-program reintroduksi di Indonesia dan dunia menjadi bukti bahwa dengan ilmu pengetahuan, kolaborasi lintas sektor, serta kepedulian masyarakat, keseimbangan alam dapat dipulihkan, dan spesies-spesies yang terancam punah dapat kembali menjadi bagian dari ekosistem yang sehat dan berkelanjutan.

5.4 Konservasi Genetik dan Plasma Nutfah

Konservasi genetik dan plasma nutfah merupakan aspek fundamental dalam upaya pelestarian keanekaragaman hayati, karena berperan langsung dalam menjaga keberlanjutan sumber daya genetik yang menjadi dasar bagi evolusi, adaptasi, dan ketahanan spesies terhadap perubahan lingkungan. Setiap spesies memiliki variasi genetik yang unik, yang memungkinkan individu untuk beradaptasi terhadap tekanan lingkungan seperti penyakit, perubahan iklim, dan degradasi habitat. Oleh karena itu, pelestarian keanekaragaman genetik tidak hanya penting untuk mempertahankan keberadaan suatu spesies, tetapi juga untuk mendukung stabilitas dan keseimbangan ekosistem secara keseluruhan.

Secara umum, konservasi genetik adalah upaya untuk melindungi, memelihara, dan mengelola variasi genetik dalam populasi organisme, baik yang hidup di alam (in-situ) maupun di luar habitat aslinya (ex-situ). Sementara itu, plasma nutfah (germplasm) mencakup seluruh bahan genetik yang digunakan untuk memperbanyak dan memperbaiki spesies, seperti biji, spora, jaringan, embrio, atau DNA yang mengandung informasi genetik suatu organisme. Plasma nutfah menjadi sumber penting bagi kegiatan penelitian, pemuliaan tanaman, pengembangan obat-obatan, dan produksi pangan berkelanjutan. Dengan demikian, konservasi genetik dan plasma nutfah berfungsi sebagai fondasi ilmiah dan praktis bagi ketahanan pangan, kesehatan, serta ekonomi berbasis sumber daya hayati.

Konservasi genetik dapat dilakukan melalui dua pendekatan utama, yaitu konservasi in-situ dan konservasi ex-situ.

1. Konservasi in-situ dilakukan langsung di habitat alami organisme tersebut. Pendekatan ini mempertahankan proses evolusi dan interaksi alami antara organisme dan lingkungannya. Contohnya adalah pelestarian spesies tumbuhan liar di kawasan hutan tropis, atau perlindungan populasi satwa langka di taman nasional dan suaka margasatwa. Melalui metode ini, variasi genetik tetap dapat berkembang secara alami melalui seleksi alam, sehingga ketahanan adaptif spesies tetap terjaga.
2. Konservasi ex-situ, sebaliknya, dilakukan di luar habitat aslinya dengan tujuan menyelamatkan dan memperbanyak sumber genetik dari spesies yang terancam punah. Bentuknya antara lain berupa bank gen, kebun plasma nutfah, taman botani, kebun binatang, bank biji (seed bank), serta teknik kriopreservasi (penyimpanan material genetik pada suhu sangat rendah untuk jangka panjang).

Contoh nyata dari konservasi ex-situ adalah International Rice Research Institute (IRRI) di Filipina yang menyimpan lebih dari 100.000 varietas padi dunia, serta Svalbard Global Seed Vault di Norwegia yang menjadi pusat penyimpanan biji tanaman global untuk mengantisipasi krisis genetik di masa depan.

Di Indonesia, konservasi genetik dan plasma nutfah diatur dalam berbagai kebijakan nasional, seperti Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya serta Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2011. Pemerintah melalui Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) — kini menjadi bagian dari Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) — mengelola berbagai kebun plasma nutfah, taman botani daerah, dan bank genetik untuk melestarikan sumber daya hayati lokal. Misalnya, Kebun Raya Bogor, Kebun Raya Cibodas, dan Kebun Raya Purwodadi memiliki koleksi ribuan spesies tumbuhan endemik dan langka dari berbagai wilayah Indonesia. Di bidang pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan) mengelola Bank Genetik Tanaman Pangan dan Hortikultura, yang berfungsi menyimpan varietas unggul lokal seperti padi, jagung, kedelai, serta tanaman obat dan rempah tropis.

Konservasi plasma nutfah tidak hanya berorientasi pada penyimpanan genetik, tetapi juga pada pemanfaatan berkelanjutan untuk mendukung inovasi dan ketahanan biologis di masa depan. Dalam bidang pertanian, plasma nutfah menjadi bahan dasar dalam pemuliaan tanaman guna menghasilkan varietas baru yang lebih tahan terhadap kekeringan, penyakit, dan perubahan iklim. Dalam bidang kedokteran dan bioteknologi, sumber genetik dari tumbuhan dan hewan liar berpotensi menghasilkan senyawa bioaktif yang berguna bagi pengembangan obat-obatan modern. Oleh sebab itu, konservasi genetik juga memiliki nilai ekonomi dan ilmiah yang tinggi.

Namun, pelestarian plasma nutfah menghadapi sejumlah tantangan besar. Erosi genetik akibat monokultur, eksploitasi berlebihan, perubahan iklim, dan fragmentasi habitat menyebabkan banyak sumber daya genetik hilang sebelum sempat diteliti atau disimpan. Selain itu, keterbatasan fasilitas penyimpanan, pendanaan, dan kapasitas sumber daya manusia di tingkat lokal sering kali menghambat pengelolaan yang efektif. Diperlukan kerja sama antar lembaga nasional dan internasional dalam pengelolaan data genetik, pengembangan teknologi kriopreservasi, serta pertukaran informasi plasma nutfah untuk mencegah kehilangan kekayaan genetik dunia.

Untuk menjamin keberhasilan konservasi genetik, pendekatan bioteknologi modern kini banyak digunakan, seperti teknik kultur jaringan, rekayasa genetik, dan pemanfaatan marker DNA untuk mengidentifikasi variasi genetik antar populasi. Teknologi ini membantu peneliti dalam memilih individu yang memiliki nilai konservasi tinggi, misalnya dengan tingkat keragaman genetik yang luas atau ketahanan alami terhadap penyakit. Pendekatan ilmiah ini memungkinkan konservasi dilakukan secara lebih efektif, terukur, dan berorientasi jangka panjang.

Secara keseluruhan, konservasi genetik dan plasma nutfah adalah pondasi utama bagi keberlanjutan keanekaragaman hayati dan keamanan hayati global. Melalui pelestarian sumber daya genetik, manusia tidak hanya menjaga keberlangsungan spesies yang ada saat ini, tetapi juga memelihara potensi evolusi dan adaptasi alam di masa depan. Upaya ini mencerminkan tanggung jawab manusia terhadap bumi sebagai penyimpan kehidupan, dan menjadi wujud nyata dari kesadaran ekologis untuk menjaga keseimbangan antara kebutuhan pembangunan dan kelestarian alam.

5.5 Konservasi Berbasis Komunitas

Konservasi berbasis komunitas (Community-Based Conservation, CBC) merupakan pendekatan konservasi yang menempatkan masyarakat lokal sebagai aktor utama dalam pengelolaan dan pelestarian sumber daya alam. Konsep ini lahir dari kesadaran bahwa upaya konservasi tidak dapat berhasil tanpa keterlibatan aktif masyarakat yang hidup di sekitar kawasan konservasi. Mereka memiliki pengetahuan lokal, tradisi, serta ketergantungan langsung terhadap sumber daya alam, sehingga keberhasilan konservasi sangat bergantung pada keseimbangan antara kebutuhan ekologis dan kebutuhan sosial-ekonomi masyarakat tersebut. Dengan demikian, konservasi berbasis komunitas berupaya menciptakan sinergi antara pelestarian lingkungan dan pemberdayaan masyarakat secara berkelanjutan.

Pendekatan ini muncul sebagai respons terhadap kegagalan model konservasi tradisional yang bersifat *top-down*, di mana pengelolaan sumber daya alam dilakukan secara sentralistik oleh pemerintah tanpa mempertimbangkan hak dan peran masyarakat setempat. Model tersebut sering menimbulkan konflik sosial, perambahan, serta ketidakpatuhan terhadap kebijakan konservasi. Oleh karena itu, pendekatan *bottom-up* mulai dikembangkan dengan memberi ruang bagi partisipasi masyarakat dalam pengambilan keputusan, perencanaan, dan pelaksanaan kegiatan konservasi. Konservasi berbasis komunitas berlandaskan pada prinsip bahwa masyarakat bukan ancaman bagi keanekaragaman hayati, melainkan penjaga alami (*stewards of nature*) yang memiliki peran penting dalam menjaga keberlanjutan ekosistem.

Dalam praktiknya, konservasi berbasis komunitas memiliki beberapa komponen penting, yaitu partisipasi aktif masyarakat, pemberdayaan ekonomi, pengakuan hak atas lahan dan sumber daya, serta penerapan kearifan lokal dalam pengelolaan alam. Partisipasi masyarakat dilakukan melalui pelibatan langsung dalam kegiatan seperti patroli hutan, rehabilitasi ekosistem, penanaman pohon, pengawasan satwa liar, dan pengembangan ekowisata berbasis konservasi. Melalui keterlibatan ini, masyarakat memperoleh manfaat ekonomi sekaligus meningkatkan kesadaran ekologis. Pemberdayaan ekonomi dilakukan dengan menciptakan alternatif mata pencaharian yang ramah lingkungan, seperti budidaya madu hutan, pengolahan hasil hutan non-kayu, kerajinan berbahan alami, dan wisata alam berbasis komunitas.

Contoh penerapan konservasi berbasis komunitas di Indonesia dapat ditemukan di berbagai daerah. Salah satunya adalah program Hutan Kemasyarakatan (HKm) dan Hutan Desa, yang memberikan hak kelola kepada masyarakat lokal untuk memanfaatkan kawasan hutan secara lestari di bawah pengawasan pemerintah. Di Taman Nasional Gunung Halimun Salak, misalnya, masyarakat dilibatkan dalam pengelolaan hasil hutan non-kayu seperti kopi hutan dan madu liar, yang tidak hanya meningkatkan pendapatan warga, tetapi juga menurunkan angka perambahan hutan. Di wilayah pesisir, seperti di Nusa Tenggara Timur dan Sulawesi Tenggara, komunitas nelayan berperan aktif dalam pengelolaan kawasan konservasi laut melalui sistem larangan tangkap musiman dan zona inti perikanan, yang menjaga keberlanjutan stok ikan dan ekosistem terumbu karang.

Selain memberikan manfaat ekologis dan ekonomi, konservasi berbasis komunitas juga memperkuat identitas sosial dan budaya lokal. Kearifan lokal seperti sistem *Sasi* di Maluku, *Awig-awig* di Bali dan Lombok, atau *Lubuk Larangan* di Sumatra merupakan bentuk tradisional dari pengelolaan sumber daya alam yang telah terbukti efektif selama berabad-abad. Sistem-sistem ini mengandung nilai-nilai etika, spiritualitas, dan tanggung jawab sosial yang menekankan pentingnya keseimbangan antara manusia dan alam. Dengan mengintegrasikan kearifan lokal ke dalam kebijakan konservasi modern, pendekatan ini menjadi lebih kontekstual dan diterima oleh masyarakat.

Namun, penerapan konservasi berbasis komunitas juga menghadapi berbagai tantangan. Beberapa di antaranya adalah ketimpangan akses terhadap sumber daya, kurangnya dukungan kelembagaan, minimnya insentif ekonomi, dan konflik kepentingan antara masyarakat, pemerintah, dan sektor swasta. Selain itu, perubahan sosial dan ekonomi di pedesaan sering menyebabkan pergeseran nilai, di mana praktik konservasi tradisional mulai ditinggalkan. Oleh karena itu, diperlukan strategi pendampingan yang berkelanjutan melalui pendidikan lingkungan, peningkatan kapasitas organisasi masyarakat, serta penguatan peraturan adat yang mendukung konservasi.

Keberhasilan konservasi berbasis komunitas sangat bergantung pada kolaborasi antara masyarakat, pemerintah, lembaga swadaya masyarakat, akademisi, dan sektor swasta. Pemerintah berperan menyediakan kebijakan yang mendukung dan memberikan hak legal kepada masyarakat untuk mengelola sumber daya alam. Akademisi dan lembaga penelitian berkontribusi dalam memberikan data ilmiah dan pendampingan teknis, sedangkan organisasi masyarakat sipil membantu dalam fasilitasi, mediasi, dan pembiayaan program. Kolaborasi multisektor ini menjadi kunci untuk menciptakan sistem konservasi yang inklusif dan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, konservasi berbasis komunitas merupakan pendekatan yang menempatkan manusia sebagai bagian integral dari ekosistem, bukan sebagai lawannya. Pendekatan ini membangun hubungan saling menguntungkan antara manusia dan alam, di mana keberhasilan konservasi bergantung pada kesejahteraan masyarakat dan sebaliknya. Melalui pemberdayaan, kearifan lokal, dan kemitraan yang sejajar, konservasi berbasis komunitas menjadi salah satu strategi paling efektif

untuk menjaga keanekaragaman hayati sekaligus meningkatkan kualitas hidup manusia secara berkelanjutan.

BAB 6

KONSERVASI SUMBER DAYA ALAM HAYATI DI INDONESIA

6.1 Kebijakan dan Undang-Undang Konservasi

Kebijakan dan undang-undang konservasi merupakan dasar hukum dan pedoman utama dalam upaya pelestarian sumber daya alam hayati dan ekosistem di suatu negara. Di Indonesia serta memastikan bahwa pemanfaatan sumber daya alam dilakukan secara lestari, adil, dan bertanggung jawab. Landasan hukum ini berperan penting dalam mengatur berbagai aspek konservasi, mulai dari perlindungan spesies langka, pengelolaan kawasan lindung, konservasi genetik, hingga pelibatan masyarakat dalam pengelolaan sumber daya alam. Melalui kebijakan yang kuat, negara berupaya menyeimbangkan antara pembangunan ekonomi dan pelestarian lingkungan sebagai bentuk tanggung jawab terhadap generasi sekarang dan mendatang., regulasi konservasi dirancang untuk menjaga keberlanjutan fungsi lingkungan hidup

Salah satu landasan hukum utama konservasi di Indonesia adalah Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1990 tentang *Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya*. Undang-undang ini menegaskan bahwa konservasi merupakan upaya pengelolaan sumber daya alam hayati yang pemanfaatannya dilakukan secara bijaksana untuk menjamin kesinambungan persediaannya dengan tetap memelihara dan meningkatkan kualitas keanekaragaman dan nilainya. UU ini mencakup tiga pilar utama, yaitu perlindungan sistem penyangga kehidupan, pengawetan keanekaragaman hayati dan ekosistemnya, serta pemanfaatan sumber daya alam hayati secara lestari. Melalui regulasi ini, pemerintah memiliki dasar hukum untuk menetapkan kawasan konservasi, melindungi spesies langka, serta mengatur aktivitas manusia agar tidak merusak keseimbangan ekosistem.

Selain UU Nomor 5 Tahun 1990, terdapat pula berbagai regulasi turunan yang memperkuat implementasi kebijakan konservasi. Salah satunya adalah Peraturan Pemerintah Nomor 7 Tahun 1999 tentang *Pengawetan Jenis Tumbuhan dan Satwa*, yang mengatur kriteria, penetapan, dan pengelolaan jenis tumbuhan dan satwa yang dilindungi. Peraturan ini kemudian diperbarui melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK), yang menyesuaikan daftar spesies dilindungi berdasarkan hasil penelitian terbaru dan ancaman terhadap populasi di alam liar. Selain itu, Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2011 tentang *Pengelolaan Kawasan Suaka Alam dan Kawasan Pelestarian Alam* memberikan pedoman teknis terkait pengelolaan taman nasional, cagar alam, taman wisata alam, dan taman buru.

Dalam konteks internasional, Indonesia juga berkomitmen terhadap berbagai konvensi global yang berkaitan dengan konservasi, seperti Convention on Biological Diversity (CBD) tahun 1992, Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES), dan Ramsar Convention tentang lahan basah. Komitmen ini menunjukkan bahwa kebijakan konservasi di Indonesia tidak berdiri sendiri, tetapi merupakan bagian dari upaya global untuk melindungi

keanekaragaman hayati dunia. Implementasi konvensi-konvensi tersebut diwujudkan melalui berbagai kebijakan nasional, seperti penyusunan *Strategi dan Rencana Aksi Keanekaragaman Hayati Indonesia (IBSAP)* yang menjadi panduan utama dalam pelaksanaan konservasi di tingkat nasional dan daerah.

Selain regulasi formal, Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang *Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup* juga memiliki keterkaitan erat dengan konservasi. Undang-undang ini memperluas ruang lingkup konservasi dengan memasukkan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan, pencegahan pencemaran, dan partisipasi publik. Prinsip kehati-hatian, tanggung jawab negara, dan keadilan lingkungan menjadi dasar etika dalam pengelolaan sumber daya alam. Hal ini menegaskan bahwa pelestarian lingkungan bukan hanya tanggung jawab pemerintah, tetapi juga tanggung jawab seluruh elemen masyarakat, termasuk dunia usaha dan individu.

Implementasi kebijakan konservasi di lapangan juga diperkuat dengan keberadaan lembaga dan instrumen hukum yang jelas. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menjadi institusi utama yang bertanggung jawab atas pelaksanaan kebijakan konservasi di tingkat nasional, dengan dukungan lembaga daerah seperti Dinas Lingkungan Hidup dan Dinas Kehutanan. Di sisi lain, aparat penegak hukum seperti Balai Gakkum KLHK (Penegakan Hukum Lingkungan Hidup dan Kehutanan) memiliki kewenangan untuk menindak pelanggaran terhadap peraturan konservasi, termasuk perburuan liar, perdagangan ilegal satwa, serta perusakan kawasan hutan dan ekosistem.

Meskipun telah memiliki landasan hukum yang kuat, implementasi kebijakan konservasi di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan. Permasalahan utama meliputi lemahnya penegakan hukum, tumpang tindih kebijakan antar sektor, keterbatasan anggaran, serta konflik antara kepentingan konservasi dan pembangunan ekonomi. Selain itu, kesadaran masyarakat terhadap pentingnya konservasi masih perlu ditingkatkan melalui pendidikan dan kampanye lingkungan. Tantangan lainnya adalah perubahan iklim dan degradasi habitat yang semakin mempercepat laju kehilangan spesies, sehingga diperlukan kebijakan adaptif dan berbasis ilmiah untuk mengantisipasi dampak tersebut.

Untuk memperkuat efektivitas kebijakan konservasi, diperlukan pendekatan kolaboratif dan berbasis bukti ilmiah. Pemerintah, lembaga penelitian, organisasi masyarakat sipil, dan sektor swasta perlu bekerja sama dalam mengembangkan sistem konservasi yang berkelanjutan. Pengintegrasian prinsip-prinsip *Good Environmental Governance* — seperti transparansi, akuntabilitas, partisipasi, dan keadilan — juga menjadi kunci keberhasilan pelaksanaan undang-undang konservasi. Dengan demikian, kebijakan konservasi tidak hanya menjadi instrumen hukum, tetapi juga menjadi bagian dari strategi pembangunan nasional yang berorientasi pada kelestarian alam dan kesejahteraan manusia.

Secara keseluruhan, kebijakan dan undang-undang konservasi di Indonesia menunjukkan komitmen yang kuat dalam menjaga keanekaragaman hayati dan fungsi

ekosistem. Namun, keberhasilannya sangat bergantung pada sinergi antara regulasi, penegakan hukum, ilmu pengetahuan, serta kesadaran dan partisipasi masyarakat. Dengan memperkuat kebijakan konservasi dan memastikan implementasinya secara konsisten, Indonesia dapat menjadi contoh bagi negara lain dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan yang harmonis antara manusia dan alam

Penegakan hukum dalam konservasi merupakan aspek krusial untuk menjamin keberhasilan pelaksanaan kebijakan dan undang-undang yang telah disusun. Tanpa adanya mekanisme penegakan hukum yang tegas dan konsisten, upaya konservasi hanya akan menjadi wacana normatif tanpa hasil nyata di lapangan. Penegakan hukum di bidang konservasi bertujuan untuk mencegah, menindak, dan mengurangi aktivitas yang merusak keanekaragaman hayati, seperti perburuan liar, perdagangan ilegal satwa dan tumbuhan dilindungi, perusakan hutan, serta konversi habitat alam yang tidak sesuai dengan peraturan. Melalui sistem hukum yang efektif, konservasi dapat berjalan secara berkelanjutan, sekaligus memberikan efek jera bagi para pelaku pelanggaran lingkungan.

Di Indonesia, penegakan hukum konservasi dilaksanakan berdasarkan berbagai regulasi utama, seperti Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1990 tentang *Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya*, serta Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang *Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Kedua undang-undang tersebut memberikan dasar hukum yang kuat bagi aparat penegak hukum untuk menindak pelanggaran yang berdampak pada kerusakan ekosistem dan penurunan populasi spesies langka. Selain itu, Kitab Undang-Undang Hukum Pidana (KUHP) juga dapat digunakan untuk menjerat pelaku kejahatan lingkungan, terutama yang menyebabkan kerugian besar terhadap sumber daya alam negara.

Pelaksanaan penegakan hukum di bidang konservasi dilakukan oleh berbagai lembaga yang memiliki peran dan kewenangan masing-masing. Di tingkat nasional, Direktorat Jenderal Penegakan Hukum Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Gakkum KLHK) merupakan lembaga utama yang bertanggung jawab dalam melakukan investigasi, penyidikan, serta penindakan terhadap pelanggaran konservasi. Lembaga ini bekerja sama dengan aparat kepolisian, kejaksaan, serta pengadilan lingkungan untuk memastikan proses hukum berjalan sesuai dengan ketentuan perundang-undangan. Selain itu, lembaga seperti Balai Konservasi Sumber Daya Alam (BKSDA) dan Balai Taman Nasional juga memiliki peran penting dalam melakukan patroli, pengawasan, dan perlindungan terhadap kawasan konservasi.

Berbagai bentuk pelanggaran konservasi di Indonesia masih sering terjadi, mulai dari perburuan dan perdagangan ilegal satwa liar, penebangan liar (illegal logging), perambahan kawasan hutan, hingga pencemaran dan degradasi habitat. Contohnya adalah perdagangan ilegal satwa langka seperti orangutan, trenggiling, burung kakatua, dan penyu yang masih marak meskipun telah dilarang secara hukum. Aktivitas-aktivitas tersebut tidak hanya mengancam keberlangsungan spesies, tetapi juga merusak keseimbangan ekosistem. Dalam beberapa kasus, pelanggaran

konservasi juga melibatkan jaringan kejahatan lintas negara, sehingga memerlukan kerja sama internasional yang kuat untuk menanggulangnya.

Dalam praktiknya, penegakan hukum konservasi tidak hanya berorientasi pada aspek represif, tetapi juga pada pendekatan preventif dan edukatif. Pendekatan preventif dilakukan melalui peningkatan pengawasan, patroli terpadu, serta pembentukan pos-pos penjagaan di kawasan konservasi. Sementara itu, pendekatan edukatif berfokus pada peningkatan kesadaran hukum masyarakat melalui penyuluhan, kampanye, dan pelatihan konservasi. Kombinasi antara tindakan hukum yang tegas dan upaya pemberdayaan masyarakat dianggap lebih efektif dalam jangka panjang untuk menekan angka pelanggaran lingkungan.

Kendati telah memiliki perangkat hukum dan lembaga penegak hukum yang cukup lengkap, Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan dalam penegakan hukum konservasi. Beberapa kendala utama antara lain adalah kurangnya sumber daya manusia dan dana operasional, korupsi dan konflik kepentingan, serta rendahnya koordinasi antarinstansi. Selain itu, wilayah geografis Indonesia yang luas dan sulit dijangkau membuat pengawasan terhadap kawasan konservasi menjadi tidak efektif. Faktor lain yang memperburuk situasi adalah masih rendahnya kesadaran masyarakat terhadap pentingnya perlindungan lingkungan, serta lemahnya sanksi hukum yang sering kali tidak memberikan efek jera bagi pelaku kejahatan lingkungan.

Untuk meningkatkan efektivitas penegakan hukum konservasi, diperlukan strategi yang bersifat integratif dan adaptif. Kolaborasi antara pemerintah, lembaga penegak hukum, lembaga penelitian, organisasi masyarakat sipil, dan media massa sangat penting dalam menciptakan sistem pengawasan yang transparan dan akuntabel. Pemanfaatan teknologi seperti drone, kamera jebak (camera trap), dan sistem pemantauan satelit juga dapat memperkuat pengawasan terhadap kawasan konservasi yang luas dan terpencil. Selain itu, penerapan mekanisme penegakan hukum berbasis masyarakat (community-based law enforcement) dapat menjadi solusi efektif dengan melibatkan masyarakat lokal sebagai mitra dalam pengawasan dan pelaporan pelanggaran konservasi.

Dengan demikian, penegakan hukum dalam konservasi tidak hanya berfungsi sebagai sarana menghukum pelaku pelanggaran, tetapi juga sebagai instrumen untuk memastikan keberlanjutan sumber daya alam bagi generasi mendatang. Hukum harus menjadi alat yang mampu menjaga keseimbangan antara hak manusia dan hak alam untuk tetap lestari. Melalui sistem hukum yang kuat, transparan, dan partisipatif, diharapkan konservasi di Indonesia dapat berjalan lebih efektif dan berkelanjutan, sekaligus memperkuat komitmen bangsa dalam menjaga keanekaragaman hayati sebagai aset nasional dan global.

6.2 Lembaga dan Instansi Terkait Konservasi

Lembaga dan instansi yang bergerak di bidang konservasi memiliki peran yang sangat penting dalam upaya pelestarian keanekaragaman hayati dan pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan. Di Indonesia, pelaksanaan konservasi tidak hanya menjadi tanggung jawab satu institusi, melainkan hasil kerja sama antara berbagai lembaga pemerintah, lembaga penelitian, organisasi nonpemerintah (LSM), masyarakat, serta lembaga internasional. Setiap lembaga memiliki fungsi, kewenangan, dan tanggung jawab yang berbeda, namun saling melengkapi dalam mencapai tujuan bersama, yaitu menjaga kelestarian ekosistem, melindungi spesies langka, serta mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya alam tanpa merusak keseimbangannya.

Lembaga utama yang berwenang dalam urusan konservasi di Indonesia adalah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Kementerian ini memiliki tanggung jawab besar dalam perumusan kebijakan, perencanaan, pelaksanaan, serta evaluasi kegiatan konservasi sumber daya alam hayati dan ekosistemnya. Di bawah KLHK terdapat berbagai unit pelaksana teknis, seperti Direktorat Jenderal Konservasi Sumber Daya Alam dan Ekosistem (Ditjen KSDAE), yang bertugas mengelola kawasan konservasi, menjaga populasi satwa liar, dan mengembangkan program konservasi in-situ maupun ex-situ. Selain itu, terdapat Direktorat Jenderal Penegakan Hukum Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Ditjen Gakkum) yang berperan menegakkan hukum terhadap pelanggaran lingkungan dan konservasi.

Selain kementerian pusat, terdapat pula lembaga pelaksana di tingkat daerah seperti Balai Konservasi Sumber Daya Alam (BKSDA) dan Balai Taman Nasional (BTN). BKSDA bertanggung jawab atas pengelolaan kawasan suaka margasatwa, cagar alam, dan pelestarian flora dan fauna dilindungi di luar taman nasional. Sementara itu, Balai Taman Nasional berfokus pada pengelolaan kawasan konservasi yang ditetapkan sebagai taman nasional, termasuk pemeliharaan ekosistem, penelitian, pendidikan lingkungan, dan pengembangan wisata alam. Lembaga-lembaga ini bekerja secara langsung di lapangan dan menjadi garda terdepan dalam upaya pelestarian keanekaragaman hayati.

Selain lembaga pemerintah, perguruan tinggi dan lembaga penelitian juga memegang peranan penting dalam mendukung konservasi melalui pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Lembaga seperti Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) yang kini tergabung dalam Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) berperan dalam melakukan penelitian biodiversitas, taksonomi, genetika konservasi, serta studi ekologi yang menjadi dasar ilmiah bagi pengambilan kebijakan konservasi. Perguruan tinggi di seluruh Indonesia juga berkontribusi dalam pendidikan dan penelitian konservasi, menghasilkan tenaga ahli, peneliti, dan praktisi lingkungan yang berkompeten.

Di sisi lain, organisasi nonpemerintah (LSM) juga memiliki kontribusi besar dalam konservasi, baik di tingkat nasional maupun internasional. LSM seperti WWF Indonesia, Conservation International (CI), Yayasan Kehati, Flora Fauna Indonesia

(FFI), dan Burung Indonesia aktif dalam berbagai program pelestarian keanekaragaman hayati, seperti perlindungan satwa liar, rehabilitasi habitat, pendidikan lingkungan, serta pemberdayaan masyarakat di sekitar kawasan konservasi. Mereka sering kali menjadi mitra strategis pemerintah dalam mengimplementasikan program konservasi di lapangan, karena memiliki fleksibilitas dan pendekatan yang lebih dekat dengan komunitas lokal.

Selain lembaga nasional, kerja sama internasional juga memainkan peran penting dalam konservasi di Indonesia. Lembaga seperti UNESCO, FAO, UNDP, dan IUCN (International Union for Conservation of Nature) memberikan dukungan dalam bentuk pendanaan, pelatihan, serta pendampingan teknis untuk memperkuat pengelolaan kawasan konservasi dan meningkatkan kapasitas lembaga lokal. Misalnya, penetapan beberapa taman nasional Indonesia sebagai Cagar Biosfer Dunia oleh UNESCO merupakan bentuk pengakuan internasional terhadap komitmen Indonesia dalam menjaga kelestarian alam dan mengintegrasikan konservasi dengan pembangunan berkelanjutan.

Keterlibatan masyarakat lokal dan adat juga tidak dapat diabaikan dalam struktur kelembagaan konservasi. Melalui pendekatan *community-based conservation*, masyarakat berperan langsung dalam pengelolaan sumber daya alam, patroli hutan, dan penerapan kearifan lokal dalam menjaga ekosistem. Pemerintah kini mulai mengakui dan memperkuat peran ini melalui berbagai program seperti Hutan Kemasyarakatan (HKm), Hutan Desa, dan Hutan Adat, yang memberikan hak kelola kepada masyarakat untuk memanfaatkan hutan secara lestari dengan tetap menjaga fungsi ekologisnya.

Secara keseluruhan, keberhasilan konservasi sangat bergantung pada sinergi dan kolaborasi antar lembaga dan instansi yang terlibat. Koordinasi yang baik antara pemerintah, lembaga penelitian, organisasi nonpemerintah, sektor swasta, dan masyarakat menjadi kunci utama dalam mewujudkan konservasi yang efektif dan berkelanjutan. Dengan memperkuat kelembagaan, meningkatkan kapasitas sumber daya manusia, serta mendorong partisipasi aktif seluruh pihak, Indonesia dapat memperkuat posisi sebagai salah satu negara megabiodiversitas dunia yang mampu menjaga kekayaan alamnya bagi kesejahteraan generasi kini dan mendatang.

6.3 Pengelolaan Konservasi

Pengelolaan konservasi yang efektif tidak dapat dilakukan oleh satu lembaga atau sektor saja. Diperlukan kolaborasi lintas sektor yang melibatkan pemerintah, akademisi, organisasi masyarakat sipil, sektor swasta, dan masyarakat lokal. Kolaborasi ini menjadi kunci keberhasilan dalam mewujudkan konservasi yang berkelanjutan, karena setiap pihak memiliki keunggulan dan peran yang saling melengkapi. Pemerintah memiliki kekuatan dalam hal regulasi dan kebijakan, akademisi menyediakan dasar ilmiah dan teknologi, LSM berperan dalam advokasi dan pemberdayaan masyarakat, sektor swasta mendukung pendanaan dan inovasi, sementara masyarakat lokal menjadi pelaku utama di lapangan yang menjaga keseimbangan ekosistem.

Dalam konteks kebijakan nasional, pemerintah Indonesia melalui Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) telah mendorong model pengelolaan konservasi berbasis kolaboratif. Salah satu bentuk nyata dari pendekatan ini adalah penerapan *co-management*, yaitu sistem pengelolaan bersama antara pemerintah, masyarakat, dan pihak swasta dalam menjaga kawasan konservasi. Model ini tidak hanya memperkuat perlindungan ekosistem, tetapi juga menciptakan manfaat ekonomi bagi masyarakat di sekitar kawasan konservasi melalui kegiatan seperti ekowisata, agroforestri, dan hasil hutan bukan kayu. Kolaborasi semacam ini memperlihatkan bahwa konservasi dapat berjalan berdampingan dengan kesejahteraan sosial jika dikelola dengan prinsip keberlanjutan.

Sektor akademik memiliki peran penting dalam menyediakan basis ilmiah dan teknologi yang mendukung kebijakan dan tindakan konservasi. Melalui penelitian dan inovasi, perguruan tinggi serta lembaga penelitian seperti BRIN (Badan Riset dan Inovasi Nasional) memberikan data dan rekomendasi ilmiah untuk penetapan kawasan lindung, penilaian keanekaragaman hayati, serta upaya restorasi ekosistem. Kolaborasi antara peneliti dan pengelola lapangan juga memperkuat sistem monitoring dan evaluasi terhadap efektivitas konservasi, termasuk dalam hal adaptasi terhadap perubahan iklim dan ancaman terhadap spesies endemik. Dengan demikian, ilmu pengetahuan menjadi fondasi utama bagi pengambilan keputusan berbasis data (*evidence-based conservation*).

Peran organisasi nonpemerintah (LSM) juga sangat strategis dalam menjembatani pemerintah dan masyarakat. LSM seperti WWF Indonesia, Yayasan Kehati, The Nature Conservancy (TNC), dan Burung Indonesia sering kali berperan sebagai fasilitator dalam membangun komunikasi antara pihak-pihak yang memiliki kepentingan berbeda. Mereka juga berkontribusi dalam penguatan kapasitas masyarakat, penyusunan rencana pengelolaan konservasi partisipatif, serta kampanye publik untuk meningkatkan kesadaran lingkungan. LSM internasional juga sering menyediakan dukungan finansial, teknis, dan jaringan global bagi program konservasi di tingkat lokal, sehingga memperluas jangkauan dan dampak kegiatan pelestarian alam di Indonesia.

Sektor swasta kini mulai diakui sebagai salah satu aktor penting dalam konservasi. Melalui pendekatan *Corporate Social Responsibility (CSR)* dan *Environmental, Social, and Governance (ESG)*, banyak perusahaan telah berpartisipasi dalam kegiatan konservasi, seperti rehabilitasi mangrove, restorasi hutan, dan perlindungan daerah tangkapan air. Beberapa perusahaan juga bekerja sama dengan lembaga konservasi dan masyarakat untuk mengembangkan model bisnis ramah lingkungan, misalnya dalam bidang ekowisata, pertanian organik, atau perdagangan produk lestari bersertifikat seperti *Forest Stewardship Council (FSC)* dan *Rainforest Alliance*. Keterlibatan sektor swasta menjadi bukti bahwa keberlanjutan ekonomi dapat dicapai tanpa mengorbankan kelestarian lingkungan.

Sementara itu, masyarakat lokal dan adat merupakan pilar utama dalam pengelolaan konservasi berbasis komunitas. Kearifan lokal seperti sistem *sasi* di Maluku, *awig-awig* di Bali, dan *leuweung larangan* di Jawa Barat menunjukkan bahwa

masyarakat telah lama memiliki mekanisme tradisional untuk melindungi alam secara berkelanjutan. Kolaborasi antara pemerintah dan masyarakat adat melalui pengakuan hak kelola seperti Hutan Adat, Hutan Desa, dan Hutan Kemasyarakatan menjadi langkah progresif dalam memperkuat peran komunitas lokal. Kolaborasi ini tidak hanya menjaga keanekaragaman hayati, tetapi juga memperkuat identitas budaya dan kemandirian ekonomi masyarakat.

Selain di tingkat nasional, kolaborasi juga berlangsung pada tingkat internasional. Indonesia aktif menjalin kerja sama dengan lembaga global seperti UNESCO, UNDP, FAO, dan IUCN dalam program konservasi dan pembangunan berkelanjutan. Contohnya, melalui inisiatif *Man and the Biosphere Programme (MAB)* dari UNESCO, Indonesia telah menetapkan sejumlah kawasan cagar biosfer yang mengintegrasikan konservasi dengan pembangunan manusia. Kerja sama internasional semacam ini memperkuat posisi Indonesia sebagai negara megabiodiversitas yang berperan penting dalam pelestarian lingkungan global.

Kunci keberhasilan kolaborasi antar sektor terletak pada komunikasi, transparansi, dan kepercayaan. Diperlukan mekanisme koordinasi yang jelas agar setiap pihak memahami perannya, serta sistem evaluasi yang memungkinkan penilaian kinerja secara objektif. Pemerintah perlu memfasilitasi ruang dialog multi-pihak (*multi-stakeholder dialogue*) untuk memastikan bahwa kepentingan konservasi, ekonomi, dan sosial dapat diharmonisasikan. Dengan membangun kemitraan yang setara dan berorientasi pada hasil, kolaborasi antar sektor dapat menjadi fondasi kuat bagi konservasi yang adil, partisipatif, dan berkelanjutan di Indonesia.

6.4 Kearifan Lokal dalam Konservasi Alam

Kearifan lokal atau *local wisdom* merupakan sistem pengetahuan, nilai, norma, dan praktik tradisional yang berkembang dalam masyarakat sebagai hasil interaksi panjang antara manusia dengan lingkungannya. Dalam konteks konservasi alam, kearifan lokal berperan penting sebagai dasar pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan, karena mengandung prinsip keseimbangan, keselarasan, dan tanggung jawab terhadap alam. Masyarakat adat di berbagai wilayah Indonesia telah membuktikan bahwa hubungan manusia dengan alam dapat dijaga melalui sistem tradisional yang tidak hanya melindungi lingkungan, tetapi juga menopang kehidupan sosial dan budaya. Oleh karena itu, pelestarian kearifan lokal merupakan bagian integral dari upaya konservasi keanekaragaman hayati di Indonesia.

Kearifan lokal terbentuk melalui pengalaman empiris dan pengamatan jangka panjang terhadap lingkungan alam. Nilai-nilai ekologis yang terkandung di dalamnya diwariskan secara turun-temurun melalui tradisi, ritual, hukum adat, maupun cerita rakyat. Prinsip dasar yang terkandung dalam kearifan lokal adalah menjaga keseimbangan antara pemanfaatan sumber daya alam dan kelestarian ekosistem. Dalam pandangan masyarakat tradisional, alam bukan sekadar sumber daya ekonomi, melainkan bagian dari kehidupan spiritual dan identitas budaya yang harus dihormati. Pandangan ini berbeda dengan paradigma modern yang cenderung eksploitatif, karena

kearifan lokal menekankan hubungan timbal balik yang harmonis antara manusia dan alam.

Di Indonesia, berbagai bentuk kearifan lokal telah lama berfungsi sebagai sistem konservasi alami. Di Maluku, masyarakat menerapkan sistem *Sasi*, yaitu aturan adat yang melarang pengambilan hasil laut atau sumber daya alam tertentu dalam jangka waktu tertentu untuk memberi kesempatan bagi alam memulihkan diri. Di Bali dan Lombok, dikenal aturan *Awig-awig* yang mengatur tata kelola sumber daya air, pertanian, dan hutan secara kolektif untuk menjaga keseimbangan lingkungan dan sosial. Di Sumatra Barat, praktik *Lubuk Larangan* diberlakukan untuk melindungi populasi ikan dengan menutup sebagian sungai dari aktivitas penangkapan. Sementara itu, masyarakat adat Dayak di Kalimantan memiliki konsep *Tana' Ulen*, yaitu kawasan hutan larangan yang hanya boleh dimanfaatkan untuk keperluan adat tertentu. Semua sistem ini menunjukkan bahwa masyarakat tradisional memiliki mekanisme konservasi berbasis kearifan yang efektif jauh sebelum hadirnya kebijakan formal dari pemerintah.

Kearifan lokal juga mengandung nilai-nilai pendidikan lingkungan yang kuat. Melalui ritual, upacara adat, dan simbol-simbol budaya, masyarakat diajarkan untuk menghormati alam sejak dini. Misalnya, upacara *Ngaben* di Bali bukan hanya kegiatan spiritual, tetapi juga mencerminkan penghormatan terhadap siklus kehidupan dan keterhubungan antara manusia dan alam. Di Papua, kepercayaan terhadap roh penjaga hutan membuat masyarakat setempat berhati-hati dalam menebang pohon atau berburu hewan. Nilai-nilai ini membentuk kesadaran ekologis yang tertanam dalam budaya dan menjadi dasar etika konservasi tradisional.

Namun, arus modernisasi, urbanisasi, dan globalisasi telah menyebabkan banyak kearifan lokal mengalami degradasi atau bahkan punah. Perubahan gaya hidup, tekanan ekonomi, dan kebijakan pembangunan yang tidak berpihak pada masyarakat adat sering kali melemahkan praktik konservasi tradisional. Ketika nilai-nilai lokal mulai ditinggalkan, kerusakan lingkungan pun semakin meningkat. Oleh karena itu, diperlukan upaya sistematis untuk melestarikan dan mengintegrasikan kearifan lokal ke dalam kebijakan konservasi nasional. Pemerintah, lembaga penelitian, dan masyarakat perlu bekerja sama dalam mendokumentasikan, meneliti, serta mempraktikkan kembali nilai-nilai lokal yang relevan dengan konteks ekologi dan sosial masa kini.

Integrasi antara kearifan lokal dan ilmu pengetahuan modern merupakan pendekatan ideal dalam konservasi alam berkelanjutan. Ilmu pengetahuan modern dapat memperkuat efektivitas kearifan lokal melalui riset ekologi, pemantauan populasi spesies, dan penerapan teknologi ramah lingkungan. Sebaliknya, kearifan lokal memberikan dasar sosial, moral, dan spiritual yang menjamin penerimaan masyarakat terhadap kebijakan konservasi. Pendekatan ini dikenal sebagai *hybrid conservation model*, yaitu model pengelolaan konservasi yang memadukan pengetahuan tradisional dengan sains modern untuk mencapai hasil yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Pemerintah Indonesia telah mulai mengakui pentingnya kearifan lokal melalui kebijakan seperti Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang *Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup* dan Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2014 tentang *Desa*, yang memberikan ruang bagi masyarakat adat untuk mengelola sumber daya alam berdasarkan hukum adat. Selain itu, program Hutan Adat dan Hutan Desa dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menjadi contoh konkret penerapan kearifan lokal dalam sistem pengelolaan modern. Melalui pengakuan ini, masyarakat adat memperoleh hak legal untuk mengelola kawasan hutan dengan prinsip konservasi dan keberlanjutan.

Dengan demikian, kearifan lokal dalam konservasi alam tidak hanya memiliki nilai historis, tetapi juga relevan bagi masa depan pengelolaan lingkungan di Indonesia. Kearifan lokal merupakan warisan budaya yang memuat prinsip ekologis, sosial, dan moral yang masih dapat diadaptasi dalam konteks modern. Mengintegrasikan kearifan lokal ke dalam kebijakan dan praktik konservasi berarti mengembalikan peran masyarakat sebagai penjaga alam yang sejati. Melalui penghargaan terhadap pengetahuan tradisional, konservasi dapat dijalankan dengan cara yang lebih inklusif, berakar pada budaya, dan selaras dengan prinsip keberlanjutan ekologi.

6.5 Studi Kasus: Program Konservasi di Indonesia

Indonesia sebagai negara megabiodiversitas memiliki berbagai program konservasi yang dilaksanakan untuk melindungi kekayaan hayatinya. Upaya ini melibatkan pemerintah, lembaga swadaya masyarakat, akademisi, dan masyarakat lokal. Beberapa program konservasi di Indonesia bahkan telah menjadi contoh sukses di tingkat internasional karena berhasil mengintegrasikan pendekatan ekologi, sosial, dan ekonomi. Studi kasus berikut menggambarkan beberapa contoh nyata implementasi konservasi di berbagai ekosistem di Indonesia.

1. Taman Nasional Ujung Kulon – Perlindungan Badak Jawa (*Rhinoceros sondaicus*)

Taman Nasional Ujung Kulon di Provinsi Banten merupakan salah satu kawasan konservasi tertua di Indonesia dan menjadi habitat terakhir bagi Badak Jawa (*Rhinoceros sondaicus*), salah satu mamalia paling langka di dunia. Program konservasi di kawasan ini difokuskan pada perlindungan habitat, pengawasan terhadap perburuan liar, dan penelitian populasi badak. Pemerintah melalui Balai Taman Nasional Ujung Kulon bekerja sama dengan lembaga internasional seperti World Wildlife Fund (WWF) dan International Rhino Foundation (IRF) dalam menerapkan sistem pemantauan berbasis kamera jebak (*camera trap monitoring*) dan patroli digital (*SMART Patrol*).

Selain itu, dilakukan juga upaya restorasi ekosistem, khususnya pengendalian tumbuhan invasif seperti Langkap (*Arenga obtusifolia*) yang mengganggu regenerasi pakan alami badak. Program edukasi dan pemberdayaan masyarakat sekitar kawasan turut dijalankan untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya taman nasional. Hasilnya, populasi Badak Jawa relatif stabil dalam dua dekade terakhir,

meskipun ancaman seperti penyakit, bencana alam, dan keterbatasan habitat masih menjadi tantangan serius.

2. Rehabilitasi Orangutan Kalimantan – Program BOSF (Borneo Orangutan Survival Foundation)

Di Kalimantan, Borneo Orangutan Survival Foundation (BOSF) menjalankan program penyelamatan, rehabilitasi, dan pelepasliaran Orangutan Kalimantan (*Pongo pygmaeus*) yang menjadi korban perburuan atau kehilangan habitat akibat deforestasi. Program ini berpusat di dua lokasi utama, yaitu Nyaru Menteng (Kalimantan Tengah) dan Samboja Lestari (Kalimantan Timur).

Proses konservasi dimulai dari penyelamatan orangutan dari perdagangan ilegal, dilanjutkan dengan perawatan medis, pelatihan keterampilan bertahan hidup di hutan, hingga pelepasliaran ke habitat alami yang telah direstorasi. BOSF juga bekerja sama dengan pemerintah daerah, KLHK, dan masyarakat dalam menjaga kawasan pelepasliaran agar tetap aman dari aktivitas ilegal. Selain menjaga populasi orangutan, program ini juga memberikan manfaat sosial-ekonomi melalui kegiatan ekowisata dan pemberdayaan masyarakat lokal di sekitar hutan. Studi jangka panjang menunjukkan bahwa individu orangutan yang dilepasliarkan mampu beradaptasi dan bereproduksi di alam, menandakan keberhasilan konservasi berbasis rehabilitasi.

3. Program Restorasi Ekosistem Riau (RER) – Kolaborasi Swasta dan Konservasi

Program Restorasi Ekosistem Riau (RER) di Semenanjung Kampar, Provinsi Riau, merupakan contoh sukses kolaborasi antara sektor swasta dan konservasi. Program ini diluncurkan pada tahun 2013 atas kerja sama APRIL Group, Fauna & Flora International (FFI), dan The Nature Conservancy (TNC). Tujuannya adalah memulihkan hutan gambut yang rusak akibat eksploitasi dan menjaga habitat satwa liar seperti harimau sumatra, beruang madu, dan burung enggang.

Kegiatan RER meliputi pemulihan tata air gambut, penanaman kembali vegetasi asli, serta pemantauan keanekaragaman hayati menggunakan teknologi *GIS* dan *remote sensing*. Program ini juga menerapkan pendekatan *community engagement*, di mana masyarakat dilibatkan dalam kegiatan ekonomi alternatif seperti budidaya ikan, madu hutan, dan kerajinan lokal. Hasilnya, sejak dimulainya proyek, luas area terbakar dan tingkat deforestasi di wilayah tersebut menurun drastis, sementara tutupan vegetasi meningkat signifikan. Program ini menjadi contoh nyata integrasi antara kepentingan bisnis, sosial, dan lingkungan secara berkelanjutan.

4. Konservasi Laut Raja Ampat – Model Ekowisata Berbasis Masyarakat

Raja Ampat di Papua Barat dikenal sebagai salah satu pusat keanekaragaman hayati laut terbesar di dunia, dengan lebih dari 550 spesies karang dan 1.400 spesies ikan. Konservasi di kawasan ini dilaksanakan melalui kerja sama antara Conservation International (CI), The Nature Conservancy (TNC), dan pemerintah daerah dalam membentuk Kawasan Konservasi Perairan Raja Ampat (Marine Protected Area/MPA).

Program ini menitikberatkan pada perlindungan ekosistem terumbu karang, pengelolaan perikanan berkelanjutan, serta pemberdayaan masyarakat lokal dalam ekowisata bahari. Pendapatan dari pariwisata dialokasikan untuk kegiatan konservasi dan peningkatan kesejahteraan masyarakat, seperti pendidikan, infrastruktur, dan kesehatan. Dengan pendekatan berbasis masyarakat, masyarakat adat diberdayakan sebagai penjaga laut (*sea ranger*), sehingga terbentuk kesadaran kolektif dalam menjaga laut. Program ini kini diakui secara internasional sebagai salah satu contoh terbaik dari konservasi berbasis masyarakat di kawasan tropis.

5. Restorasi Hutan Mangrove di Bali dan Jawa Adaptasi terhadap Perubahan Iklim

Kerusakan ekosistem mangrove akibat reklamasi, tambak, dan polusi mendorong berbagai pihak melakukan program restorasi mangrove di Indonesia, terutama di Bali, Jawa Tengah, dan Jawa Timur. Program ini didukung oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) bekerja sama dengan Mangrove Restoration Alliance serta komunitas lokal.

Kegiatan meliputi penanaman kembali mangrove, rehabilitasi kawasan pesisir, serta pengembangan ekowisata berbasis konservasi seperti di Mangrove Tahura Ngurah Rai (Bali) dan Mangrove Edupark Kulon Progo (Yogyakarta). Program ini tidak hanya memulihkan fungsi ekologis mangrove sebagai pelindung pantai dan penyerap karbon, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi melalui wisata edukatif dan hasil hutan bukan kayu. Restorasi mangrove di Indonesia kini diakui sebagai bagian dari strategi nasional mitigasi perubahan iklim.

BAB 7

BIOTEKNOLOGI DAN INOVASI DALAM KONSERVASI

7.1 Aplikasi Bioteknologi dalam Pelestarian Spesies

Perkembangan ilmu bioteknologi telah memberikan kontribusi besar dalam berbagai bidang kehidupan, termasuk dalam upaya pelestarian spesies dan konservasi keanekaragaman hayati. Di era modern ini, bioteknologi tidak hanya berperan dalam bidang pertanian dan kedokteran, tetapi juga menjadi alat ilmiah penting dalam menyelamatkan spesies yang terancam punah, memulihkan ekosistem yang rusak, serta mempertahankan keragaman genetik dalam populasi yang menurun. Penerapan bioteknologi dalam konservasi menghadirkan pendekatan baru yang lebih presisi, efisien, dan berkelanjutan, melengkapi upaya konservasi tradisional seperti perlindungan habitat dan penangkaran.

Salah satu bidang terpenting dalam bioteknologi konservasi adalah bioteknologi reproduksi, yang meliputi teknik *inseminasi buatan* (*artificial insemination*), *fertilisasi in vitro* (*in vitro fertilization*), *transfer embrio*, serta *cryopreservation* (pembekuan sel kelamin dan embrio). Teknologi ini digunakan untuk mempertahankan atau meningkatkan populasi spesies langka dengan menjaga keberagaman genetiknya. Misalnya, *cryopreservation* memungkinkan penyimpanan sperma, ovum, dan jaringan embrio dalam waktu yang lama tanpa kehilangan kemampuan reproduksi. Data genetik ini dapat digunakan kembali untuk keperluan pemuliaan di masa depan, terutama bagi spesies yang populasinya sangat terbatas. Di Indonesia, upaya serupa mulai dikembangkan untuk spesies endemik seperti Badak Jawa (*Rhinoceros sondaicus*) dan Harimau Sumatra (*Panthera tigris sumatrae*) melalui kerja sama antara lembaga penelitian, taman nasional, dan lembaga internasional.

Selain itu, teknologi kultur jaringan (*tissue culture*) menjadi metode penting dalam pelestarian tumbuhan langka dan endemik. Teknik ini memungkinkan perbanyakan tanaman secara *in vitro* di laboratorium dari satu bagian kecil jaringan tanaman, seperti daun, batang, atau akar. Keunggulan metode ini adalah dapat menghasilkan banyak individu tanaman dalam waktu singkat, dengan sifat genetik yang sama seperti induknya, tanpa merusak populasi alami di habitat aslinya. Beberapa contoh keberhasilan konservasi tumbuhan melalui kultur jaringan antara lain pada anggrek hitam (*Coelogyne pandurata*) di Kalimantan, raja pandan (*Pandanus tectorius*) di pesisir selatan Jawa, dan *Rafflesia arnoldii* di Sumatra. Teknik ini sangat membantu dalam restorasi ekosistem karena bibit hasil kultur dapat ditanam kembali di habitat alami setelah melalui tahap adaptasi.

Dalam bidang konservasi genetik, bioteknologi berperan penting dalam menjaga dan memetakan variasi genetik antar populasi spesies. Melalui teknologi seperti DNA barcoding, analisis genomik, dan sekuensing DNA, ilmuwan dapat mengidentifikasi spesies dengan akurat, mempelajari hubungan kekerabatan, serta mengetahui tingkat keragaman genetik di antara populasi liar dan yang ditangkarkan. Data ini menjadi dasar penting dalam pengelolaan program konservasi agar tidak

terjadi *inbreeding* (perkawinan sedarah) yang berpotensi menurunkan daya tahan dan produktivitas spesies.

Teknik DNA barcoding juga digunakan dalam bidang forensik konservasi untuk mengidentifikasi perdagangan ilegal satwa liar. Dengan menganalisis potongan DNA kecil dari kulit, bulu, daging, atau tulang, para peneliti dapat menentukan spesies asalnya. Misalnya, teknologi ini telah digunakan oleh Balai Konservasi Sumber Daya Alam (BKSDA) dan Lembaga Biologi Molekuler Eijkman untuk mendeteksi peredaran daging satwa dilindungi di pasar gelap dan membantu proses hukum terhadap pelaku kejahatan lingkungan.

Selain pada hewan dan tumbuhan, bioteknologi juga diterapkan dalam pemulihan ekosistem (bioremediasi). Teknologi ini memanfaatkan mikroorganisme seperti bakteri, jamur, atau alga yang direkayasa atau dipilih secara alami untuk menguraikan polutan seperti logam berat, pestisida, atau minyak bumi. Bioremediasi membantu memperbaiki kondisi lingkungan yang rusak sehingga habitat alami dapat kembali mendukung kehidupan flora dan fauna. Contohnya, penerapan mikroba pengurai minyak di wilayah pesisir yang tercemar di Kalimantan Timur dan Papua telah membantu mempercepat proses pemulihan ekosistem laut.

Aplikasi lain yang penting adalah pengembangan bank genetik (gene bank) dan bank plasma nutfah, yaitu lembaga penyimpanan material genetik dari berbagai spesies dalam bentuk biji, DNA, jaringan, atau sel hidup. Di Indonesia, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) sekarang bagian dari Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) telah mengembangkan Indonesian Biodiversity Bank, yang menyimpan data genetik berbagai spesies endemik Nusantara, termasuk tumbuhan obat, fauna khas, dan mikroorganisme lokal. Bank genetik ini berfungsi sebagai cadangan sumber daya biologis untuk kepentingan penelitian, pendidikan, dan konservasi di masa depan.

Namun demikian, penerapan bioteknologi dalam konservasi juga menimbulkan tantangan etis dan teknis. Misalnya, penggunaan teknologi kloning atau rekayasa genetik untuk “menghidupkan kembali” spesies punah (*de-extinction*) masih menjadi perdebatan global. Di satu sisi, teknologi ini menjanjikan peluang baru untuk mengembalikan spesies seperti mamut berbulu (*Mammuthus primigenius*) atau merpati penumpang (*Ectopistes migratorius*); namun di sisi lain, muncul pertanyaan etis mengenai keseimbangan ekosistem dan keaslian spesies yang diciptakan kembali. Dalam konteks konservasi, bioteknologi seharusnya difokuskan untuk melindungi spesies yang masih ada dan memperkuat ketahanan genetik populasi alami, bukan semata-mata untuk eksperimen ilmiah.

Untuk menjamin keberlanjutan, penerapan bioteknologi dalam pelestarian spesies harus mengikuti prinsip konservasi berbasis etika dan ekologi. Artinya, setiap teknologi yang diterapkan harus mempertimbangkan dampaknya terhadap keseimbangan alam, hak masyarakat lokal, serta keberlanjutan jangka panjang ekosistem. Kolaborasi antar lembaga riset, pemerintah, dan komunitas lokal menjadi kunci agar bioteknologi dapat dimanfaatkan secara bijak dan efektif.

Dengan kemajuan ilmu bioteknologi, masa depan konservasi keanekaragaman hayati semakin terbuka. Melalui sinergi antara teknologi, kebijakan, dan partisipasi masyarakat, bioteknologi tidak hanya menjadi alat bantu pelestarian spesies, tetapi juga simbol komitmen manusia untuk memperbaiki hubungan dengan alam. Dalam era perubahan iklim dan kepunahan global, bioteknologi menjadi harapan baru bagi keberlangsungan kehidupan di bumi.

7.2 Teknik Kultur Jaringan dan Bank Gen

Salah satu penerapan bioteknologi yang paling penting dalam bidang konservasi keanekaragaman hayati adalah teknik kultur jaringan dan pengembangan bank gen. Kedua teknologi ini memiliki peran vital dalam menjaga kelestarian sumber daya genetik, baik pada tumbuhan maupun hewan, terutama bagi spesies langka, endemik, atau terancam punah. Melalui pendekatan ilmiah dan teknologi laboratorium, manusia dapat menyimpan, memperbanyak, dan mengembalikan materi genetik ke alam dengan cara yang lebih terkontrol dan berkelanjutan.

1) Teknik Kultur Jaringan

Kultur jaringan merupakan metode perbanyakan individu baru dari bagian kecil tanaman seperti daun, batang, akar, atau bahkan sel tunggal yang ditumbuhkan dalam media buatan steril. Prinsip dasarnya adalah bahwa setiap sel tanaman memiliki kemampuan totipotensi, yaitu kemampuan untuk berkembang menjadi individu baru yang lengkap jika diberikan kondisi dan nutrisi yang tepat. Teknik ini dilakukan secara *in vitro* di laboratorium dengan kondisi aseptik, sehingga memungkinkan pertumbuhan tanpa terkontaminasi mikroorganisme.

Dalam konteks konservasi tumbuhan, teknik kultur jaringan memiliki berbagai keunggulan. Pertama, teknik ini memungkinkan perbanyakan tanaman langka dalam jumlah besar dalam waktu relatif singkat. Kedua, prosesnya tidak memerlukan pengambilan bahan dari alam dalam jumlah banyak, sehingga tidak mengganggu populasi liar. Ketiga, individu hasil kultur jaringan memiliki kesamaan genetik dengan induknya, sehingga membantu mempertahankan keaslian genetik spesies.

Di Indonesia, kultur jaringan telah banyak diterapkan untuk melestarikan tanaman langka seperti anggrek hitam (*Coelogyne pandurata*) di Kalimantan, *Rafflesia arnoldii* di Sumatra, serta berbagai jenis anggrek endemik Papua. Selain itu, beberapa jenis tanaman obat dan tanaman pangan lokal juga dikembangkan melalui kultur jaringan untuk mencegah kepunahan varietas tradisional. Lembaga seperti Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dan berbagai perguruan tinggi seperti IPB University dan Universitas Gadjah Mada menjadi pusat penelitian dan pengembangan teknik ini di Indonesia.

Selain untuk konservasi, kultur jaringan juga digunakan dalam rehabilitasi ekosistem. Misalnya, pada hutan mangrove dan kawasan tropis yang rusak, bibit tanaman hasil kultur jaringan digunakan untuk mempercepat penanaman kembali dan menjaga keragaman genetik tumbuhan. Dengan demikian, teknik ini tidak hanya

melestarikan keanekaragaman hayati di tingkat genetik dan spesies, tetapi juga membantu pemulihan ekosistem yang terdegradasi.

Namun demikian, teknik kultur jaringan juga memiliki tantangan, terutama dalam hal variasi somaklonal, yaitu perubahan genetik yang terjadi selama proses kultur. Oleh karena itu, diperlukan standar pengujian genetik dan seleksi hasil kultur agar individu yang dihasilkan tetap memiliki kestabilan dan kesesuaian genetik dengan populasi aslinya.

2) Bank Gen (Gene Bank)

Bank gen merupakan sistem penyimpanan sumber daya genetik dari berbagai spesies dalam bentuk biji, DNA, jaringan, sperma, ovum, atau embrio, yang disimpan dalam kondisi khusus agar tetap hidup atau dapat dihidupkan kembali di masa depan. Konsep ini berfungsi sebagai cadangan genetik global untuk melindungi keanekaragaman hayati dari ancaman kepunahan akibat perubahan iklim, bencana alam, atau aktivitas manusia.

Bank gen berperan penting dalam konservasi ex-situ, yaitu pelestarian di luar habitat alami. Melalui penyimpanan jangka panjang, materi genetik dari spesies langka dapat digunakan untuk penelitian, pemuliaan, atau upaya reintroduksi ke habitat aslinya. Di tingkat global, contoh terkenal adalah Svalbard Global Seed Vault di Norwegia yang menyimpan jutaan varietas biji tanaman dari seluruh dunia.

Di Indonesia, pengembangan bank gen dilakukan oleh berbagai lembaga seperti Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian (BB-Biogen), **serta** Balai Plasma Nutfah Tanaman Pangan dan Hortikultura. Lembaga-lembaga ini menyimpan dan mendokumentasikan ribuan koleksi genetik tumbuhan pangan, tanaman obat, dan spesies endemik Nusantara. Selain itu, Eijkman Institute for Molecular Biology juga menyimpan data DNA spesies fauna Indonesia, termasuk primata, reptil, dan burung endemik.

Bank gen tidak hanya berfungsi sebagai arsip genetik, tetapi juga sebagai sumber data ilmiah dalam penelitian genetik, evolusi, dan konservasi adaptif. Dengan adanya teknologi penyimpanan modern seperti *cryopreservation* (pembekuan pada suhu sangat rendah menggunakan nitrogen cair), materi genetik dapat disimpan selama puluhan hingga ratusan tahun tanpa kehilangan fungsinya. Hal ini memungkinkan para ilmuwan untuk memanfaatkan kembali gen-gen penting untuk mengembalikan populasi yang punah di alam atau untuk memperkuat ketahanan spesies terhadap perubahan lingkungan.

Namun, pengelolaan bank gen juga menghadapi sejumlah tantangan, antara lain keterbatasan infrastruktur, pendanaan, serta isu etika dan hukum terkait kepemilikan sumber daya genetik (*genetic resource ownership*). Oleh karena itu, perlu adanya kolaborasi antara pemerintah, lembaga riset, dan masyarakat internasional

untuk memastikan bahwa pemanfaatan sumber daya genetik dilakukan secara adil, transparan, dan berkelanjutan.

3) Integrasi Kultur Jaringan dan Bank Gen dalam Konservasi

Kultur jaringan dan bank gen saling melengkapi dalam upaya pelestarian spesies. Kultur jaringan berperan dalam reproduksi dan perbanyakan, sementara bank gen berfungsi dalam penyimpanan dan perlindungan jangka panjang. Kedua pendekatan ini menciptakan sistem konservasi yang adaptif, efisien, dan berorientasi pada masa depan.

Misalnya, bibit hasil kultur jaringan dari tanaman langka dapat disimpan di bank gen dalam bentuk biji atau DNA untuk mencegah kehilangan genetik jika terjadi bencana atau kegagalan di lapangan. Sebaliknya, sampel yang disimpan dalam bank gen dapat digunakan kembali untuk menumbuhkan individu baru melalui teknik kultur jaringan apabila spesies tersebut punah di alam.

Kombinasi antara bioteknologi modern, konservasi genetik, dan kebijakan lingkungan menjadi kunci keberhasilan pengelolaan keanekaragaman hayati di era perubahan global. Dengan penguatan riset, regulasi, dan kolaborasi lintas sektor, Indonesia memiliki potensi besar untuk menjadi pusat pengembangan bioteknologi konservasi di kawasan tropis dunia.

7.3 Pemanfaatan DNA Barcoding dan Genomik Konservasi

Perkembangan teknologi molekuler telah membawa revolusi besar dalam dunia konservasi biologi. Salah satu kemajuan paling signifikan adalah pemanfaatan DNA barcoding dan genomik konservasi sebagai alat untuk mengidentifikasi spesies, memantau keanekaragaman genetik, serta merancang strategi pelestarian yang lebih efektif. Kedua pendekatan ini menjadi jembatan antara sains molekuler dan ekologi konservasi, memungkinkan para peneliti memahami struktur genetik populasi, hubungan evolusi antarspesies, serta adaptasi terhadap perubahan lingkungan.

1) DNA Barcoding dalam Konservasi

DNA barcoding adalah metode identifikasi spesies berdasarkan urutan pendek DNA yang unik pada segmen gen tertentu, biasanya dari gen cytochrome c oxidase subunit I (COI) untuk hewan, dan gen *rbcl* atau *matK* untuk tumbuhan. Dengan membandingkan urutan DNA dari sampel yang tidak diketahui dengan basis data global seperti GenBank atau Barcode of Life Data Systems (BOLD), peneliti dapat mengidentifikasi spesies dengan cepat dan akurat, bahkan dari bagian tubuh kecil seperti bulu, daun, kulit, atau serpihan jaringan.

Dalam konteks konservasi, DNA barcoding memiliki berbagai manfaat penting. Pertama, teknik ini membantu dalam identifikasi spesies langka dan endemik, terutama ketika morfologi sulit dibedakan. Misalnya, beberapa jenis anggrek liar, ikan hias endemik, dan kupu-kupu Indonesia yang tampak serupa dapat dibedakan secara jelas melalui analisis barcoding. Kedua, DNA barcoding digunakan dalam deteksi

perdagangan ilegal satwa liar dan produk turunannya, seperti gading gajah, sisik trenggiling, atau daging satwa dilindungi. Teknik ini telah membantu aparat hukum dan lembaga konservasi mengidentifikasi sumber asal spesies yang diperdagangkan secara ilegal, sehingga memperkuat upaya penegakan hukum di bidang konservasi.

Selain itu, DNA barcoding juga diterapkan dalam pemantauan keanekaragaman hayati (biodiversity monitoring), khususnya melalui pendekatan environmental DNA (eDNA), yaitu analisis DNA yang terdapat di lingkungan seperti air, tanah, atau udara. Dengan metode ini, peneliti dapat mendeteksi keberadaan spesies tanpa harus menangkap atau mengamati langsung. Misalnya, eDNA telah digunakan untuk memantau populasi ikan arwana super red (*Scleropages formosus*) dan badak sumatra (*Dicerorhinus sumatrensis*) di habitat alaminya tanpa mengganggu ekosistem.

Dengan efisiensi dan akurasi tinggi, DNA barcoding menjadi alat yang sangat berharga untuk mendukung konservasi berbasis data genetik, memperkuat dokumentasi biodiversitas nasional, serta membantu perumusan kebijakan pelestarian spesies di Indonesia.

2) Genomik Konservasi

Jika DNA barcoding berfokus pada identifikasi spesies, maka genomik konservasi (conservation genomics) melangkah lebih jauh dengan memanfaatkan seluruh informasi genetik dari genom organisme untuk memahami dinamika evolusi dan adaptasi. Genomik konservasi melibatkan analisis DNA dalam skala besar menggunakan teknologi next-generation sequencing (NGS) yang mampu membaca jutaan urutan DNA secara cepat dan detail.

Melalui genomik konservasi, para ilmuwan dapat mengidentifikasi keragaman genetik dalam populasi, struktur populasi, aliran gen (gene flow), dan tingkat inbreeding. Informasi ini sangat penting untuk menentukan strategi manajemen spesies, terutama pada populasi kecil atau terfragmentasi. Misalnya, analisis genomik telah digunakan untuk menilai variasi genetik orangutan sumatra (*Pongo abelii*) dan orangutan kalimantan (*Pongo pygmaeus*), yang hasilnya menunjukkan perlunya pengelolaan konservasi terpisah karena adanya perbedaan genetik signifikan antar populasi.

Selain itu, genomik konservasi juga membantu dalam identifikasi gen adaptif, yaitu gen yang berperan dalam ketahanan terhadap perubahan lingkungan seperti suhu, penyakit, atau ketersediaan makanan. Pengetahuan ini penting untuk memprediksi kemampuan suatu spesies beradaptasi terhadap perubahan iklim global. Contohnya, analisis genomik pada penyu hijau (*Chelonia mydas*) menunjukkan adanya variasi gen yang mendukung adaptasi terhadap suhu pasir tempat penetasan telur, yang berhubungan dengan jenis kelamin anak penyu.

Di Indonesia, penerapan genomik konservasi mulai berkembang di berbagai lembaga riset seperti Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Lembaga Biologi Molekuler Eijkman, dan universitas besar seperti IPB University serta Universitas

Airlangga. Beberapa proyek genomik yang tengah dikembangkan meliputi pemetaan genom komodo (*Varanus komodoensis*), harimau sumatra (*Panthera tigris sumatrae*), dan jalak bali (*Leucopsar rothschildi*). Data genomik dari spesies-spesies ini digunakan untuk merancang strategi pembiakan terarah (*assisted breeding*), mempertahankan keragaman genetik, serta memperkuat populasi di alam liar melalui reintroduksi.

3) Integrasi DNA Barcoding dan Genomik untuk Konservasi

Integrasi antara DNA barcoding dan genomik konservasi menciptakan pendekatan yang lebih komprehensif dalam pengelolaan keanekaragaman hayati. DNA barcoding berperan sebagai alat identifikasi cepat, sedangkan genomik konservasi berfungsi untuk analisis mendalam dan manajemen genetik jangka panjang. Kombinasi keduanya memungkinkan konservasionis membuat keputusan yang lebih tepat dalam memilih populasi sumber untuk reintroduksi, merancang pasangan kawin yang optimal di penangkaran, dan mendeteksi ancaman genetik seperti hilangnya heterozigositas atau dominasi gen tertentu.

Selain itu, sinergi antara dua pendekatan ini memperkuat basis data genetik nasional, yang sangat penting dalam menghadapi tantangan global seperti perdagangan ilegal, perubahan iklim, dan degradasi habitat. Dengan dukungan teknologi bioinformatika dan kolaborasi internasional, Indonesia dapat mengembangkan peta genomik biodiversitas Nusantara, yang berfungsi sebagai referensi dalam penelitian dan kebijakan konservasi di masa depan.

4) Tantangan dan Prospek

Walaupun potensinya besar, penerapan DNA barcoding dan genomik konservasi masih menghadapi berbagai kendala, terutama di negara berkembang seperti Indonesia. Keterbatasan infrastruktur laboratorium, biaya sekuensing yang tinggi, kurangnya ahli bioinformatika, serta keterbatasan akses data menjadi hambatan utama. Selain itu, terdapat isu etika dan hak kepemilikan sumber daya genetik (*Access and Benefit Sharing/ABS*) yang diatur dalam Protokol Nagoya, yang harus diperhatikan dalam pengumpulan dan pertukaran data genetik.

Meski demikian, prospek pemanfaatan teknologi ini sangat cerah. Dengan kemajuan teknologi sekuensing yang semakin murah dan cepat, serta peningkatan kolaborasi antar lembaga riset, genomik konservasi dapat menjadi pilar utama dalam konservasi berbasis sains. Integrasi data genetik dengan data ekologi, spasial, dan iklim akan menghasilkan pendekatan konservasi adaptif, yang mampu merespons dinamika lingkungan global secara efektif.

Dengan demikian, pemanfaatan DNA barcoding dan genomik konservasi tidak hanya memperkaya pengetahuan ilmiah tentang keanekaragaman hayati, tetapi juga memberikan landasan kuat bagi pengelolaan sumber daya genetik yang berkelanjutan. Teknologi ini menjadikan konservasi lebih presisi, berbasis bukti, dan relevan dengan tantangan abad ke-21 dalam menjaga kelestarian kehidupan di Bumi.

7.4 Pemantauan Ekosistem dengan Teknologi (GIS, Drone, eDNA)

Perkembangan teknologi informasi dan biologi molekuler telah membawa perubahan besar dalam cara manusia memahami dan mengelola ekosistem. Pemantauan ekosistem yang dahulu dilakukan secara konvensional melalui observasi lapangan kini berkembang menjadi pemantauan berbasis teknologi canggih, seperti Sistem Informasi Geografis (GIS), pesawat tanpa awak atau drone, dan environmental DNA (eDNA). Ketiga pendekatan ini memungkinkan pengumpulan data secara cepat, akurat, dan berkelanjutan, sehingga memperkuat dasar ilmiah dalam pengambilan keputusan konservasi dan pengelolaan sumber daya alam.

1) Sistem Informasi Geografis (GIS) dalam Pemantauan Ekosistem

Sistem Informasi Geografis (GIS) merupakan teknologi yang digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, menganalisis, dan memvisualisasikan data spasial. Dalam konteks konservasi, GIS berperan penting untuk memetakan distribusi spesies, tutupan lahan, fragmentasi habitat, serta perubahan penggunaan lahan dari waktu ke waktu. Dengan memanfaatkan data citra satelit dan informasi spasial, para peneliti dapat menilai kondisi ekosistem secara lebih menyeluruh.

GIS sangat berguna dalam pemantauan deforestasi, penentuan kawasan lindung, serta perencanaan koridor ekologis bagi satwa liar. Misalnya, pemetaan dengan GIS telah digunakan untuk memantau kehilangan hutan di Kalimantan dan Sumatra, yang merupakan habitat penting bagi orangutan, harimau sumatra, dan gajah sumatra. Dengan analisis spasial yang terintegrasi, GIS membantu mengidentifikasi area prioritas konservasi, memantau ancaman terhadap habitat, serta mendukung kebijakan tata ruang berbasis ekologi.

Selain itu, integrasi GIS dengan data perubahan iklim dan sosial-ekonomi memungkinkan pendekatan konservasi yang lebih adaptif dan dinamis. Melalui pemodelan spasial, para peneliti dapat memprediksi potensi perubahan habitat akibat kenaikan suhu global atau pembangunan infrastruktur. Oleh karena itu, GIS bukan hanya alat pemetaan, tetapi juga sistem pendukung keputusan strategis dalam pengelolaan ekosistem.

2) Pemanfaatan Drone dalam Pemantauan Ekologi dan Konservasi

Drone (Unmanned Aerial Vehicle/UAV) kini menjadi salah satu alat penting dalam observasi ekosistem. Dengan kemampuan terbang rendah dan dilengkapi kamera beresolusi tinggi, drone dapat digunakan untuk mengambil citra udara, memantau satwa liar, memetakan vegetasi, dan mendeteksi kerusakan lingkungan secara real-time.

Dalam konservasi, drone banyak dimanfaatkan untuk memantau populasi satwa besar seperti gajah, badak, dan harimau di taman nasional, tanpa perlu mengganggu habitat alaminya. Misalnya, di Taman Nasional Way Kambas (Lampung), drone digunakan untuk melacak pergerakan gajah liar serta mendeteksi aktivitas perambahan hutan dan kebakaran lahan. Data yang diperoleh dari drone dapat

dikombinasikan dengan GIS untuk menghasilkan peta tiga dimensi (3D) ekosistem yang detail dan akurat.

Selain itu, drone berperan penting dalam rehabilitasi dan restorasi ekosistem, seperti penyemaian benih di kawasan hutan gundul atau pengawasan pertumbuhan vegetasi pascarestorasi. Dalam proyek restorasi mangrove dan hutan gambut di Indonesia, penggunaan drone telah terbukti efisien dalam mempercepat penanaman serta menurunkan biaya dan waktu pemantauan.

Kelebihan utama drone terletak pada fleksibilitas dan kemampuan menjangkau wilayah terpencil yang sulit diakses oleh manusia. Namun, penggunaannya juga memerlukan keahlian teknis dan regulasi izin penerbangan yang sesuai agar tidak mengganggu satwa liar, terutama spesies sensitif terhadap suara dan gerakan di udara.

3) Teknologi Environmental DNA (eDNA) dalam Pemantauan Biodiversitas

Pendekatan environmental DNA (eDNA) merupakan inovasi baru dalam pemantauan keanekaragaman hayati. Teknologi ini memanfaatkan fragmen DNA yang dilepaskan organisme ke lingkungan melalui air, tanah, udara, atau sisa biologis seperti lendir, kulit, atau kotoran. Dengan menganalisis sampel lingkungan tersebut menggunakan metode molekuler, peneliti dapat mendeteksi keberadaan spesies tanpa harus menangkap atau mengamati langsung.

eDNA sangat berguna untuk memantau spesies langka, kriptik (sulit diamati), atau terancam punah, serta untuk mendeteksi spesies invasif sebelum mereka menyebar luas. Misalnya, penelitian di perairan Indonesia menggunakan teknik eDNA berhasil mendeteksi ikan arwana super red (*Scleropages formosus*) dan ikan napoleon (*Cheilinus undulatus*) di habitat alami tanpa melakukan penangkapan. Teknologi ini juga digunakan dalam pemantauan populasi amfibi, ikan, dan mamalia akuatik dengan tingkat akurasi tinggi.

Kelebihan eDNA adalah efisiensi waktu, non-invasif, dan kemampuan mendeteksi spesies yang sulit ditemukan secara visual. Kombinasi antara eDNA, GIS, dan drone menghasilkan pendekatan konservasi terpadu berbasis teknologi, di mana data genetik dapat dihubungkan dengan peta distribusi dan dinamika habitat. Hal ini memungkinkan pemantauan ekosistem dilakukan secara lebih holistik, presisi, dan berkelanjutan.

4) Integrasi Teknologi untuk Pemantauan Ekosistem Berkelanjutan

Pemanfaatan GIS, drone, dan eDNA secara terpadu menciptakan sistem pemantauan ekosistem yang lebih canggih dan efisien. Data citra satelit dan drone dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan tutupan lahan, sementara eDNA memberikan informasi biologis mengenai spesies yang ada di wilayah tersebut. Kombinasi ketiganya memungkinkan pemahaman yang menyeluruh tentang kondisi ekosistem baik dari aspek fisik maupun biologis.

Integrasi teknologi ini juga mendukung konsep konservasi adaptif, yaitu pendekatan pengelolaan ekosistem yang responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Misalnya, data GIS digunakan untuk memantau deforestasi, drone mendeteksi aktivitas manusia yang merusak habitat, dan eDNA memverifikasi keberadaan spesies kunci sebagai indikator kesehatan ekosistem.

Penerapan teknologi ini telah mulai dikembangkan di Indonesia melalui kerja sama badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), serta berbagai perguruan tinggi dan lembaga internasional. Program seperti Indonesia Biodiversity Information System (InaBIF) dan Indonesian Biodiversity Strategy and Action Plan (IBSAP) menjadi payung kebijakan yang mendorong penggunaan teknologi dalam konservasi modern.

5) Tantangan dan Arah Pengembangan ke Depan

Meskipun memberikan manfaat besar, penerapan teknologi dalam pemantauan ekosistem masih menghadapi beberapa kendala. Biaya operasional, keterbatasan sumber daya manusia yang terlatih, akses data yang terbatas, serta infrastruktur teknologi yang belum merata menjadi tantangan utama. Selain itu, terdapat isu etika dan keamanan data terutama terkait penggunaan drone di kawasan lindung dan pengelolaan data genetik hasil eDNA.

Namun, prospek pengembangan teknologi pemantauan ekosistem sangat menjanjikan. Dengan meningkatnya kolaborasi antar lembaga, ketersediaan perangkat yang semakin terjangkau, serta kemajuan dalam analisis data berbasis kecerdasan buatan (AI), di masa depan sistem pemantauan ekosistem dapat dilakukan secara real-time dan otomatis. Hal ini akan memperkuat strategi konservasi berbasis bukti ilmiah (evidence-based conservation) dan menjadikan pengelolaan sumber daya alam lebih efisien, akurat, serta berkelanjutan.

Dengan demikian, integrasi GIS, drone, dan eDNA menandai era baru dalam pemantauan ekosistem yang berbasis teknologi tinggi. Pendekatan ini tidak hanya mempercepat pengumpulan data, tetapi juga memungkinkan manusia menjaga keseimbangan ekologis secara lebih ilmiah dan adaptif terhadap perubahan lingkungan global.

7.5 Etika dan Risiko Penggunaan Bioteknologi dalam Konservasi

Perkembangan pesat bioteknologi telah membawa peluang besar dalam upaya pelestarian keanekaragaman hayati, namun di sisi lain juga menimbulkan berbagai tantangan etis, ekologis, dan sosial yang perlu diperhatikan secara serius. Penerapan bioteknologi dalam konservasi seperti kloning, rekayasa genetik, penyimpanan gen, dan manipulasi DNA dapat membantu menyelamatkan spesies yang terancam punah, tetapi juga menimbulkan pertanyaan mendasar mengenai batas campur tangan manusia terhadap proses alami evolusi dan keseimbangan ekosistem. Oleh karena itu, aspek etika bioteknologi konservasi menjadi bagian penting dalam merancang kebijakan dan praktik pelestarian yang bertanggung jawab.

1) Prinsip Etika dalam Penggunaan Bioteknologi Konservasi

Etika bioteknologi konservasi berakar pada prinsip bahwa setiap bentuk kehidupan memiliki nilai intrinsik dan tidak boleh diperlakukan semata-mata sebagai objek eksperimen atau komoditas genetik. Tujuan utama bioteknologi dalam konservasi harus tetap berorientasi pada pelestarian spesies dan keseimbangan ekosistem, bukan pada kepentingan ekonomi atau pencapaian teknologi semata.

Beberapa prinsip etika yang perlu diperhatikan meliputi:

1. Prinsip kehati-hatian (precautionary principle) setiap tindakan rekayasa genetik atau kloning harus dilakukan dengan mempertimbangkan potensi risiko ekologis jangka panjang.
2. Prinsip keberlanjutan (sustainability principle) pemanfaatan bioteknologi harus mendukung pelestarian sumber daya alam secara berkelanjutan, bukan merusak ekosistem.
3. Prinsip keadilan (equity principle) hasil penelitian dan manfaat bioteknologi harus dibagikan secara adil, termasuk bagi masyarakat lokal dan negara pemilik sumber daya genetik.
4. Prinsip transparansi dan akuntabilitas penelitian dan penerapan bioteknologi konservasi harus dilakukan secara terbuka, dengan mekanisme pengawasan dan pertanggungjawaban yang jelas.

Dalam konteks ini, kolaborasi antara ilmuwan, pemerintah, dan masyarakat menjadi penting agar bioteknologi digunakan secara bijaksana dan tidak menimbulkan konflik nilai atau penyalahgunaan teknologi.

2) Risiko Ekologis dan Genetik

Penerapan bioteknologi dalam konservasi membawa sejumlah risiko ekologis yang dapat berdampak pada keseimbangan lingkungan dan stabilitas genetik populasi. Salah satu risiko utama adalah gangguan terhadap keanekaragaman genetik alami akibat manipulasi atau rekayasa gen. Misalnya, proses kloning atau pemuliaan buatan (*assisted reproduction*) yang berulang dapat menurunkan variabilitas genetik dan menyebabkan spesies lebih rentan terhadap penyakit atau perubahan lingkungan.

Selain itu, introduksi organisme hasil rekayasa genetik (transgenik) ke lingkungan dapat menimbulkan risiko kompetisi genetik dengan populasi liar, mengubah dinamika ekosistem, atau bahkan menciptakan ketergantungan pada spesies hasil rekayasa. Dalam kasus ekstrem, perubahan kecil pada struktur genetik dapat menyebabkan ketidakseimbangan populasi predator–mangsa atau hilangnya spesies asli karena interaksi genetik yang tidak terkendali.

Risiko lainnya muncul dari transfer gen horizontal, yaitu perpindahan gen dari organisme hasil rekayasa ke spesies lain yang tidak diinginkan. Hal ini dapat mengubah karakteristik ekologi suatu spesies atau menyebabkan penyebaran sifat-sifat yang tidak alami dalam populasi liar. Oleh karena itu, setiap penerapan bioteknologi harus

melalui uji risiko ekologi dan keamanan hayati (biosafety assessment) sebelum dilepaskan ke alam.

3) Risiko Sosial, Ekonomi, dan Budaya

Selain risiko ekologis, penggunaan bioteknologi juga memiliki implikasi sosial dan ekonomi yang kompleks. Penemuan dan pemanfaatan sumber daya genetik sering kali menimbulkan persoalan kepemilikan dan hak atas sumber daya genetik (genetic resource ownership). Masyarakat lokal yang selama ini menjadi penjaga keanekaragaman hayati kerap tidak mendapatkan manfaat yang adil dari penelitian dan komersialisasi hasil bioteknologi.

Masalah lain adalah biopiracy pengambilan sumber daya genetik dan pengetahuan tradisional tanpa izin atau kompensasi yang layak. Hal ini menimbulkan ketidakadilan dan merusak kepercayaan antara masyarakat adat, lembaga riset, dan industri bioteknologi. Oleh sebab itu, penerapan bioteknologi konservasi harus mengacu pada Protokol Nagoya (2010) yang mengatur *Access and Benefit Sharing (ABS)*, yaitu pembagian keuntungan yang adil dari pemanfaatan sumber daya genetik.

Dari sisi budaya, bioteknologi konservasi juga menimbulkan dilema moral. Misalnya, praktik kloning atau rekayasa genetik untuk menghidupkan kembali spesies yang telah punah (*de-extinction*) menimbulkan pertanyaan etis: apakah manusia berhak mengubah proses evolusi alamiah atau menciptakan kehidupan baru demi kepentingan ilmiah? Pertanyaan semacam ini menuntut refleksi moral yang mendalam agar tidak terjadi penyimpangan dari nilai-nilai konservasi yang sejati.

4) Tantangan Regulasi dan Pengawasan

Risiko bioteknologi tidak dapat dipisahkan dari lemahnya sistem regulasi dan pengawasan. Banyak negara berkembang, termasuk Indonesia, masih menghadapi keterbatasan dalam hal kebijakan keamanan hayati (biosafety policy), infrastruktur laboratorium, dan kapasitas sumber daya manusia. Padahal, regulasi yang kuat diperlukan untuk memastikan bahwa setiap penelitian bioteknologi dilakukan sesuai standar keselamatan dan etika.

Indonesia sebenarnya telah memiliki kerangka hukum seperti Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2019 tentang Sistem Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, serta peraturan turunan terkait keamanan hayati produk rekayasa genetik. Namun, implementasi di lapangan masih memerlukan pengawasan yang lebih ketat dan koordinasi antar lembaga seperti BRIN, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), dan Kementerian Pertanian. Pengawasan ini harus mencakup seluruh tahapan, mulai dari penelitian, penyimpanan, hingga pelepasan hasil bioteknologi ke lingkungan.

Dalam pelaksanaan bioteknologi konservasi, partisipasi publik dan kolaborasi lintas disiplin menjadi kunci penting untuk memastikan keberlanjutan dan legitimasi sosial. Peneliti harus transparan dalam menyampaikan tujuan, metode, dan potensi

risiko penelitian kepada masyarakat. Dengan demikian, publik dapat berpartisipasi dalam pengambilan keputusan, bukan sekadar menjadi objek dari kegiatan ilmiah.

Keterlibatan masyarakat lokal juga penting untuk menjaga kearifan tradisional (local wisdom) dan memastikan bahwa inovasi bioteknologi tidak menggantikan tetapi justru memperkuat praktik konservasi berbasis komunitas. Misalnya, hasil penelitian genetik tentang tanaman obat lokal harus melibatkan masyarakat adat yang telah lama mengelola tanaman tersebut agar manfaatnya dapat dirasakan secara bersama.

DAFTAR PUSTAKA

- Primack, R. B. (2014). *A Primer of Conservation Biology* (5th ed.). Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Soulé, M. E. (1985). What is conservation biology? *BioScience*, 35(11), 727–734. <https://doi.org/10.2307/1310054>
- Meffe, G. K., & Carroll, C. R. (1997). *Principles of Conservation Biology* (2nd ed.). Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Krebs, C. J. (2009). *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance* (6th ed.). San Francisco, CA: Benjamin Cummings.
- Primack, R. B., & Rodrigues, A. S. L. (2001). *Conservation Biology: Science and Practice of Saving Species*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Primack, R. B., & Sher, A. (2016). *Introduction to conservation biology*. Sinauer Associates. [Colorado Mountain College](#)
- Primack, R. B. (1993). *Essentials of conservation biology*. Sinauer Associates. [Colorado Mountain College](#)
- Soulé, M. E., & Orians, G. H. (2001). *Conservation biology: Research priorities for the next decade*. Island Press. [Colorado Mountain College](#)
- Meffe, G. K., & Carroll, C. R. (1997). *Principles of conservation biology* (2nd ed.). Sinauer Associates.
- Krebs, C. J. (2009). *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance* (6th ed.). Benjamin Cummings.
- Christensen, N. D., & Eu, J. (2003). Ecology of cranberry bogs: A case study. *Ecology*, 59, 1147–1167, 1178–1187. [Konservasi Biologi](#)
- Dobson, A. P. (2024). Conservation biology, discipline of. *Princeton University*. [Princeton University](#)
- Dujardin, Y., & Chades, I. (2016). Solving multi-objective optimization problems in conservation with the reference point method. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/1611.07640> [arXiv](#)
- Conservation Biology Citation Generator. (n.d.). *Cite This For Me*. [Cite This For Me](#)
- Conservation Biology Citation Style [Update September 2025]. (2025). *Paperpile*. [Paperpile](#)
- Conservation Biology Style Guide for Authors. (2014). *Conservation Biology*. [Konservasi Biologi](#)
- Style request: Conservation Biology. (2010). *Zotero Forums*. [Zotero Forums](#)
- Noss, R. F. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4(4), 355–364.
- Wilson, E. O. (1992). *The diversity of life*. Belknap Press.
- Groom, M. J., Meffe, G. K., & Carroll, C. R. (2006). *Principles of conservation biology* (3rd ed.). Sinauer Associates.
- Hunter, M. L., & Gibbs, J. P. (2007). *Fundamentals of conservation biology* (3rd ed.). Blackwell Publishing.
- Sutherland, W. J., & Norris, K. (2002). *Behaviour and conservation*. Cambridge University Press.
- Lande, R. (1993). Risks of population extinction from demographic and environmental stochasticity and random catastrophes. *American Naturalist*, 142(6), 911–927.

Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34, 487–515.