

EKOLOGI TERESTRIAL | 2 SKS

Ekologi dan Pembangunan Berkelanjutan

Memahami hubungan antara ekologi alam dan keberlanjutan pembangunan manusia

Apa Itu Ekologi?

"Ekologi adalah ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara organisme dengan lingkungannya, mencakup faktor biotik dan abiotik yang membentuk ekosistem."

— Odum, 1971

Organisme

Makhluk hidup sebagai unit dasar kajian ekologi: bakteri, tumbuhan, hewan, dan manusia

Lingkungan

Faktor abiotik (suhu, cahaya, air, tanah) dan biotik yang membentuk habitat dan ekosistem

Interaksi

Pola hubungan: predasi, kompetisi, simbiosis, dan aliran energi dalam jaring-jaring kehidupan

Tingkatan Organisasi Ekologi

Dari individu hingga biosfer — setiap level memiliki karakteristik unik

BIOSFER

Seluruh zona kehidupan di bumi

EKOSISTEM

Komunitas + lingkungan abiotiknya

KOMUNITAS

Kumpulan populasi berbeda spesies

POPULASI

Individu sejenis dalam suatu wilayah

ORGANISME

Unit dasar kehidupan

Komponen Ekosistem

KOMPONEN BIOTIK

Produsen

Tumbuhan hijau, alga — penghasil energi melalui fotosintesis

Konsumen

Herbivora, karnivora, omnivora — organisme yang memakan produsen/konsumen lain

Dekomposer

Bakteri, jamur — pengurai bahan organik menjadi unsur hara

Detritivor

Cacing, serangga tanah — pemakan serpihan bahan organik

KOMPONEN ABIOTIK

Cahaya Matahari

Sumber energi utama yang menggerakkan fotosintesis dan iklim bumi

Air

Medium kehidupan, pelarut universal, pengatur suhu ekosistem

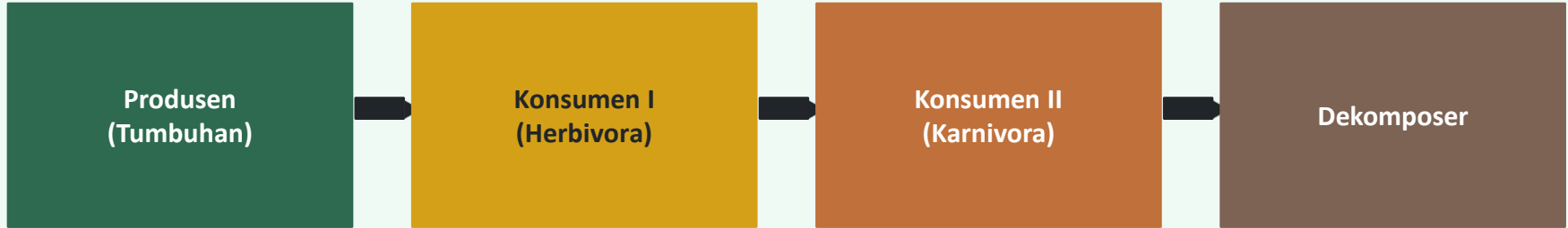
Tanah & Mineral

Substrat kehidupan, penyedia hara bagi tumbuhan dan mikroorganisme

Iklim & Suhu

Menentukan distribusi organisme dan produktivitas ekosistem

Aliran Energi & Siklus Materi



⚡ **Hukum 10%:** Hanya ~10% energi yang berpindah antar tingkat trofik; 90% hilang sebagai panas

Siklus Karbon

Fotosintesis & respirasi mengatur kadar CO₂. Gangguan siklus menyebabkan perubahan iklim global.

Siklus Nitrogen

Fiksasi N₂ oleh bakteri → nitrifikasi → denitrifikasi. Krusial untuk kesuburan tanah.

Siklus Air

Evaporasi, transpirasi, presipitasi — mengatur distribusi air tawar dan iklim regional.

Pembangunan Berkelanjutan

"Pembangunan yang memenuhi kebutuhan generasi sekarang tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhannya sendiri."

— Brundtland Commission (World Commission on Environment and Development), 1987

EKONOMI

Pertumbuhan inklusif

- Pengentasan kemiskinan
- Lapangan kerja hijau
- Ekonomi sirkular
- Inovasi teknologi bersih

SOSIAL

Keadilan & kesejahteraan

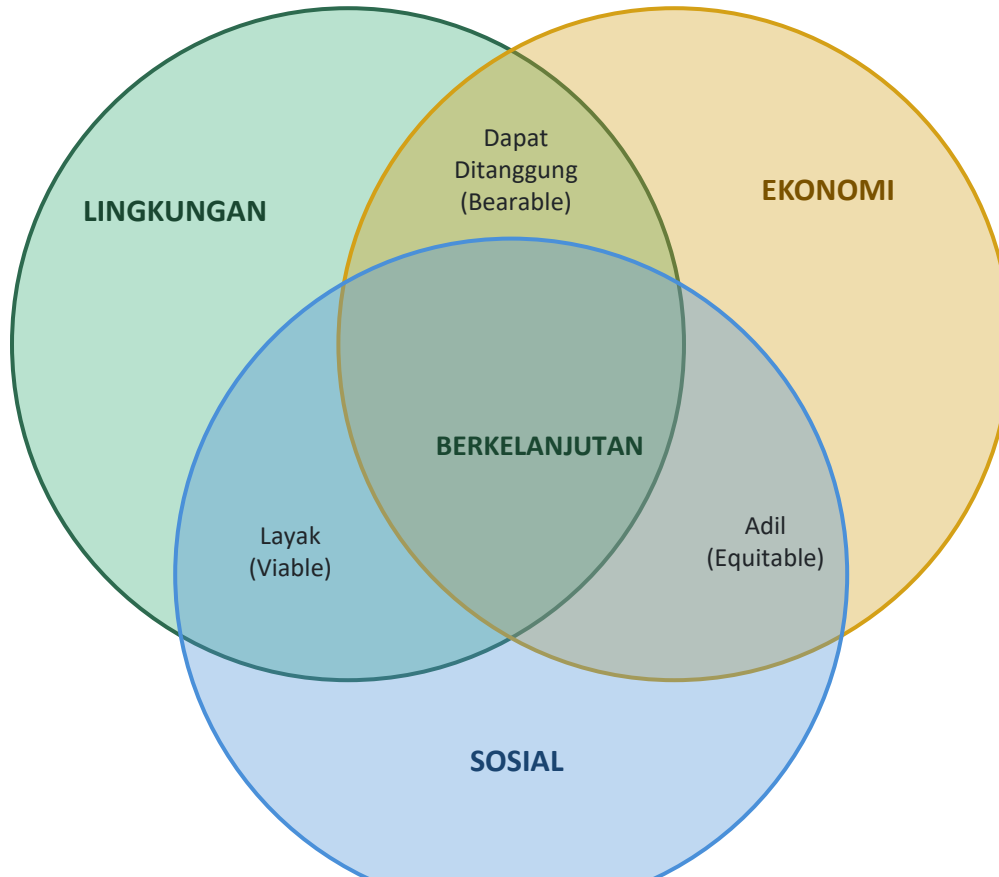
- Pemerataan pendidikan
- Akses kesehatan
- Kesetaraan gender
- Ketahanan komunitas

LINGKUNGAN

Integritas ekologis

- Konservasi keanekaragaman hayati
- Pengelolaan sumber daya alam
- Mitigasi perubahan iklim
- Pengurangan polusi

Interaksi Tiga Pilar Keberlanjutan



Layak (Viable)

Irisan Lingkungan–Ekonomi: ekonomi yang tidak merusak alam; menggunakan sumber daya secara efisien.

Adil (Equitable)

Irisan Ekonomi–Sosial: pertumbuhan ekonomi yang merata dan berkeadilan bagi semua lapisan masyarakat.

Dapat Ditanggung (Bearable)

Irisan Lingkungan–Sosial: kehidupan sosial yang harmonis dengan kapasitas daya dukung ekosistem.

Tiga Pilar Pembangunan Berkelanjutan”

Mahasiswa dibagi menjadi tiga kelompok:

- Kelompok Lingkungan
- Kelompok Ekonomi
- Kelompok Sosial

Kasus:

“Akan dibangun pabrik di dekat kawasan hutan.”

Setiap kelompok menyampaikan:

- Keuntungan
- Kerugian
- Syarat agar pembangunan tetap berkelanjutan

Ekologi sebagai Fondasi Pembangunan Berkelanjutan

DAYA DUKUNG EKOSISTEM

Carrying Capacity

Batas kemampuan ekosistem menyediakan sumber daya dan menyerap limbah tanpa kerusakan permanen.

Jasa Ekosistem

- Penyediaan: pangan, air, bahan baku
- Pengaturan: iklim, banjir, penyakit
- Budaya: rekreasi, estetika
- Pendukung: siklus hara, pembentukan tanah

PRINSIP EKOLOGIS DALAM PEMBANGUNAN

1. Keanekaragaman Hayati

Biodiversitas meningkatkan resiliensi ekosistem terhadap gangguan.

2. Keseimbangan Ekosistem

Pembangunan harus menjaga keseimbangan aliran energi dan siklus hara.

3. Prinsip Kehati-hatian

Hindari tindakan yang berisiko merusak ekosistem secara ireversibel.

4. Regenerasi Sumber Daya

Laju penggunaan SDA $\leq$ laju regenerasi alami ekosistem.

Ancaman Ekologis terhadap Keberlanjutan

Tekanan pembangunan terhadap ekosistem terestrial dan global

01

Deforestasi

Hilangnya tutupan hutan menyebabkan erosi, banjir, kepunahan spesies, dan emisi karbon masif.

02

Perubahan Iklim

Peningkatan suhu menggeser distribusi spesies, mengancam produktivitas pertanian dan ekosistem pesisir.

03

Kehilangan Biodiversitas

Laju kepunahan 100–1.000× lebih cepat dari normal; meruntuhkan jasa ekosistem vital.

04

Pencemaran

Polutan udara, air, dan tanah mengganggu rantai makanan dan kesehatan ekosistem secara sistemik.

05

Eksplorasi Berlebihan

Penangkapan ikan, penambangan, dan pertanian intensif melebihi daya pulih alami ekosistem.

06

Fragmentasi Habitat

Alih fungsi lahan memutus koridor ekologis, mengisolasi populasi dan menurunkan keragaman genetik.

Strategi Ekologis Menuju Pembangunan Berkelanjutan

Konservasi & Restorasi

- Reboisasi dan rehabilitasi lahan kritis
- Kawasan konservasi in situ dan ex situ
- Restorasi ekosistem terdegradasi

Ekonomi Hijau & Sirkular

- Energi terbarukan (surya, angin, biomassa)
- Pertanian berkelanjutan & organik
- Pengurangan limbah dan daur ulang

Kebijakan & Tata Kelola

- AMDAL dan kajian ekologis pembangunan
- SDGs sebagai kerangka nasional
- Pembayaran jasa lingkungan (PES)

Pendidikan & Partisipasi

- Pendidikan lingkungan sejak dini
- Kearifan lokal dalam pengelolaan SDA
- Keterlibatan komunitas dalam konservasi

Ekologi dalam Konteks Indonesia

HOTSPOT BIODIVERSITAS

Hutan Tropis Kalimantan

Indonesia memiliki $\pm 10\%$ hutan tropis dunia. Deforestasi akibat konversi lahan mengancam habitat orangutan, bekantan, dan ribuan spesies endemik.

✓ *Moratorium hutan primer & lahan gambut sebagai respons kebijakan.*

PENYIMPAN KARBON

Ekosistem Gambut

Lahan gambut Indonesia menyimpan karbon setara 100+ tahun emisi global. Kebakaran gambut melepaskan karbon dalam skala masif setiap musim kemarau.

✓ *Restorasi gambut oleh BRGM: rewetting, revegetasi, revitalisasi ekonomi lokal.*

PELINDUNG ALAM

Mangrove & Pesisir

Mangrove Indonesia — terluas di dunia — melindungi pantai dari abrasi, menyerap karbon biru, dan menjadi habitat asuhan ikan ekonomi penting.

✓ *Program Rehabilitasi Mangrove Nasional target 600.000 ha 2021–2024.*

**Ekologi bukan hanya ilmu,
melainkan fondasi
peradaban berkelanjutan.**



Dasar pemahaman ekologi modern (Odum, 1971)



Keanekaragaman Spesies

Jumlah dan kelimpahan relatif berbagai spesies dalam suatu komunitas atau ekosistem tertentu.



Keanekaragaman Ekosistem

Keragaman tipe habitat, komunitas biotik, dan proses ekologis yang terjadi di biosfer.



Keanekaragaman Genetik

Variasi gen dalam spesies yang sama; fondasi kemampuan adaptasi dan evolusi makhluk hidup.

Tingkatan Keanekaragaman Hayati

Menurut Miller & Spoolman (2012) dan Kumar (2009)

Gen (Genetik) Variasi DNA dalam satu spesies — dasar adaptasi & seleksi alam

Spesies Keragaman organisme berbeda dalam komunitas biologi

Ekosistem Keragaman interaksi komunitas dengan lingkungan abiotik

Lanskap / Biosfer Keragaman pola ekosistem di skala regional & global

Nilai Keanekaragaman Hayati

Bagian I: Nilai Ekologis & Nilai Ilmiah



Nilai Ekologis

- Menjaga stabilitas dan fungsi ekosistem (Odum, 1971)
- Mendukung siklus biogeokimia: siklus karbon, nitrogen, air
- Spesies berperan sebagai produsen, konsumen, dan dekomposer
- Keanekaragaman tinggi meningkatkan resiliensi ekosistem terhadap gangguan
- Hubungan predator-mangsa menjaga keseimbangan populasi (Soerianegara & Indrawan, 1978)



Nilai Ilmiah / Penelitian

- Setiap spesies adalah sumber data biologi yang unik (Brower et al., 1990)
- Organisme model: tikus, *Drosophila* untuk penelitian genetika
- Sumber penemuan obat-obatan baru dari tumbuhan & hewan
- Data baseline ekosistem alami untuk memahami perubahan lingkungan
- Indikator kualitas lingkungan melalui spesies bioindikator

Nilai Keanekaragaman Hayati

Bagian II: Nilai Ekonomi, Sosial-Budaya & Intrinsik



Nilai Ekonomi Langsung

Pangan, sandang, obat-obatan, bahan bangunan dari hutan (Soerianegara & Indrawan, 1978). Industri bioteknologi, pariwisata alam (ekowisata), dan perikanan bernilai triliunan dolar global.



Nilai Sosial-Budaya

Spesies lokal menjadi simbol budaya, ritual, dan identitas masyarakat adat. Pengetahuan etnobiologi menghubungkan manusia dengan alam (Kumar, 2009).



Nilai Intrinsik (Keberadaan)

Setiap makhluk hidup memiliki hak untuk eksis terlepas dari manfaatnya bagi manusia. Etika lingkungan menekankan nilai keberadaan (Miller & Spoolman, 2012).

Manfaat langsung bagi kehidupan manusia (Miller & Spoolman, 2012; Odum, 1971)



Jasa Penyedia

- Produksi pangan & air bersih
- Bahan baku industri & farmasi
- Sumber energi terbarukan
- Plasma nutfah pertanian



Jasa Pengaturan

- Regulasi iklim & penyerapan CO₂
- Pengendalian banjir & erosi
- Penyaringan air & udara
- Pengendalian hama biologis



Jasa Pendukung

- Siklus hara dan mineral
- Pembentukan dan kesuburan tanah
- Produksi oksigen fotosintesis
- Habitat satwa liar



Jasa Budaya

- Rekreasi & ekowisata alam
- Nilai estetika & spiritual
- Pendidikan lingkungan hidup
- Warisan budaya lokal

Ancaman terhadap Keanekaragaman Hayati

Faktor penyebab krisis biodiversitas global (Miller & Spoolman, 2012; Kumar, 2009)

1

Hilangnya Habitat

Deforestasi, konversi lahan pertanian, dan urbanisasi menghancurkan habitat alami. Ini adalah ancaman terbesar bagi spesies di seluruh dunia (Soerianegara & Indrawan, 1978).

2

Spesies Invasif

Spesies asing yang diintroduksi bersaing dengan spesies lokal, mengubah struktur ekosistem, dan menyebabkan kepunahan spesies endemik.

3

Pencemaran Lingkungan

Polusi air, tanah, dan udara oleh limbah industri, pestisida, dan plastik menurunkan kualitas habitat dan meracuni organisme (Brower et al., 1990).

4

Perubahan Iklim Global

Pemanasan global menggeser zona iklim, mengancam spesies yang tidak mampu beradaptasi, dan menyebabkan pemutihan terumbu karang.

5

Eksplotasi Berlebihan

Perburuan, penangkapan ikan berlebih, dan perdagangan satwa liar ilegal menguras populasi spesies langka di bawah tingkat regenerasinya.

Konsep Pembangunan Berkelanjutan

Sustainable Development — Prinsip & Pilar Utama (Miller & Spoolman, 2012)



"Pembangunan yang memenuhi kebutuhan generasi saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhannya sendiri."

— Brundtland Commission, 1987 (dalam Miller & Spoolman, 2012)



Lingkungan

Menjaga integritas ekosistem,
keanekaragaman hayati, dan kapasitas
alam



Sosial

Keadilan antar-generasi, akses sumber
daya merata, dan partisipasi
masyarakat

Ekonomi

Pertumbuhan ekonomi yang efisien dan
berkelanjutan tanpa merusak modal
alam

Prinsip dan strategi pengelolaan (Odum, 1971; Soerianegara & Indrawan, 1978)



Prinsip Laju Panen $\leq$ Laju Regenerasi

Sumber daya hayati hanya dipanen maksimum sebesar laju pertumbuhan alaminya sehingga stok tidak berkurang dari waktu ke waktu (Odum, 1971).

Pengelolaan Berbasis Ekosistem

Mempertimbangkan seluruh komponen ekosistem, bukan hanya spesies target. Menjaga struktur, fungsi, dan keanekaragaman komunitas (Soerianegara & Indrawan, 1978).



Kearifan Lokal & Partisipasi Masyarakat

Pengetahuan tradisional tentang pengelolaan hutan dan laut terbukti efektif menjaga keberlanjutan jangka panjang (Brower et al., 1990).



Inovasi & Teknologi Ramah Lingkungan

Penggunaan teknologi efisien yang meminimalkan limbah, emisi, dan kerusakan ekosistem dalam proses produksi dan ekstraksi (Kumar, 2009).

Strategi Konservasi Keanekaragaman Hayati

Pendekatan in-situ dan ex-situ (Miller & Spoolman, 2012; Kumar, 2009)



Konservasi In-Situ

Perlindungan di habitat asli

- Penetapan kawasan lindung: Taman Nasional, Cagar Alam, Suaka Margasatwa
- Koridor ekologi untuk menjaga konektivitas antar-populasi
- Restorasi habitat yang terdegradasi
- Pengelolaan kawasan penyangga (buffer zone) di sekitar inti
- Program breeding in the wild untuk spesies terancam punah

Konservasi Ex-Situ

Perlindungan di luar habitat asli

- Kebun binatang dan akuarium untuk konservasi satwa langka
- Kebun raya untuk koleksi tanaman endemik dan langka
- Bank benih (seed bank) untuk menyimpan plasma nutfah tanaman
- Kriopreservasi sperma, sel telur, dan jaringan spesies terancam
- Kultur jaringan tanaman langka di laboratorium

Hubungan Keanekaragaman Hayati & Pembangunan

Sinergi dan Trade-off yang perlu dikelola (Odum, 1971; Miller & Spoolman, 2012)



Prinsip-Prinsip Kunci Integrasi



Modal Alam: Biodiversitas adalah aset tak ternilai yang mendukung semua aktivitas ekonomi manusia



Batas Ekologis: Pembangunan harus beroperasi dalam batas kemampuan regenerasi alam (Odum, 1971)



Prinsip Kehati-hatian: Saat tidak pasti dampak ekologis, pilih opsi yang paling kecil risikonya



Keadilan Antar-Generasi: Generasi kini wajib mewariskan sumber daya alam yang cukup kepada generasi mendatang

Instrumen hukum internasional dan nasional (Kumar, 2009; Miller & Spoolman, 2012)

1992	Convention on Biological Diversity (CBD) Kesepakatan global untuk konservasi biodiversitas, pemanfaatan berkelanjutan, dan pembagian keuntungan yang adil dari sumber daya genetik.
2000	Cartagena Protocol on Biosafety Mengatur pergerakan lintas batas organisme hasil rekayasa genetika yang berpotensi mempengaruhi keanekaragaman hayati.
2010	Nagoya Protocol & Aichi Targets Target Aichi menetapkan 20 tujuan biodiversitas global 2011–2020, termasuk melindungi 17% kawasan daratan dan 10% kawasan laut.
2022	Kunming-Montreal GBF Kerangka kerja biodiversitas global pasca-2020: target 30×30 (lindungi 30% daratan & lautan pada 2030).
Indonesia	UU No. 5 Tahun 1990 & PP No. 7/8 Tahun 1999 Undang-undang konservasi sumber daya alam hayati dan ekosistemnya, serta peraturan perlindungan tumbuhan dan satwa liar Indonesia.

Studi Kasus: Hutan Tropis Indonesia

Kekayaan hayati dan tantangan pengelolaan berkelanjutan (Soerianegara & Indrawan, 1978)

~25.000

Spesies
Tumbuhan



~300.000

Spesies
Hewan

10%

Hutan Tropis
Dunia



4%

Spesies Endemik
Global

Pemanfaatan Berkelanjutan

- Sistem hutan adat dan kearifan lokal suku-suku Kalimantan & Papua
- PHBM (Pengelolaan Hutan Bersama Masyarakat) di Jawa
- Sertifikasi FSC untuk kayu dari hutan lestari
- Ekowisata di kawasan Taman Nasional Komodo, Gunung Leuser, dll.

Ancaman & Upaya Pemulihan

- Indonesia kehilangan ± 500.000 ha hutan/tahun akibat deforestasi
- Kebakaran hutan gambut mengancam spesies endemik Sumatera-Kalimantan
- REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Degradation)
- Restorasi ekosistem gambut oleh BRGM di 4 provinsi prioritas