



Beberapa bagian dari salindia perkuliahan ini merupakan materi yang dilindungi oleh HAK CIPTA, dan penggunaannya dalam perkuliahan ini berdasarkan prinsip penggunaan wajar (*fair use*) untuk keperluan edukasi.

Hak cipta semua gambar dan ilustrasi dalam materi kuliah ini dipegang oleh masing-masing pencipta/pemegang hak cipta.

Penyebarluasan materi kuliah ini diperbolehkan dengan atribusi menurut lisensi CC BY 4.0 Internasional.



BIOMA & FISIOGNOMI

EKOLOGI

Konsep bioma

Suatu area biogeografis yang mempunyai tumbuhan dengan life-form (fisiognomi) dan kondisi lingkungan yang serupa.

Setiap bioma memiliki ciri khas menurut faktor-faktor lokal.

Bioma dapat dibagi lagi menjadi unit-unit yang lebih kecil berupa komunitas biotik, ekosistem, atau habitat.

Unit biotik terrestrial maupun akuatik.

Fisiognomi dan bioma

Fisiognomi: kenampakan umum suatu komunitas berdasarkan struktur vertikal dan *life-form* dominan pada tiap lapisan kanopi.

Fisiognomi menjadi ciri pembeda pada bioma.

Klasifikasi bioma juga mengimplikasikan karakteristik ekosistem di mana bioma tersebut ditemukan (iklim, tanah, fauna).

Klasifikasi bioma sifatnya arbitrary (random atau subyektif), sebagaimana konsep komunitas.

Fisiognomi dan bioma

- Contoh kategori tipe fisiognomi:
 - Hutan
 - Semak
 - Rumput dan herba



Proses yang mengatur pola dalam fisiognomi

- “Lingkungan menyeleksi karakteristik vegetasi secara evolusioner dan ekologis, sehingga menghasilkan distribusi struktur dan fungsi tumbuhan yang konsisten secara global.” (Higgins et al. 2016)
- Kemiripan fisiognomi dalam suatu bioma merupakan hasil dari proses-proses:
 - Species sorting.
 - Sejarah biogeografis.
 - Evolusi konvergen.

Proses yang mengatur pola dalam fisiognomi

Species sorting

Proses lingkungan dalam memfilter spesies yang bisa menempati suatu wilayah.

“Spesies akan muncul di suatu tempat, apabila lingkungan (biotik/abiotik) di tempat tersebut cocok atau menguntungkan.”

Spesies menggerombol di suatu habitat berdasarkan kebutuhan relungnya.

Teori species sorting

Proses yang mengatur pola dalam fisiognomi



Sejarah biogeografis mempengaruhi diversitas spesies suatu wilayah.

Menentukan spesies yang dapat menempatinya.

Sejarah biogeografis

Proses-proses yang menentukan persebaran spesies di bumi

Proses yang mengatur pola dalam fisiognomi

Evolusi konvergen

Organisme tidak berkerabat berevolusi menghasilkan karakter yang mirip.



Evolusi konvergen dipicu oleh adaptasi terhadap relung ekologis yang sama.

Menyebabkan ditemukannya life form yang mirip di bioma yang sama, namun yang letaknya berjauhan.

Kombinasi proses-proses ekologis dan evolusi.

Bagaimanakah bioma terbentuk?

Distribusi bioma di dunia ditentukan oleh faktor iklim.

- Boleh jadi ada kesamaan organisme di dua lokasi dengan letak geografis berjauhan, jika iklimnya serupa.

Faktor-faktor penentu iklim:

- Letak lintang – semakin menjauh dari ekuator, semakin rendah suhunya.
- Elevasi – Semakin tinggi elevasi, semakin dingin suhunya.

Bagaimanakah bioma terbentuk? ---

Suhu dapat menentukan kemiripan bioma.

- Bioma yang biasanya ditemukan pada lintang yang jauh dari ekuator seringkali juga ditemukan di pegunungan tinggi pada lintang rendah, karena kemiripan suhu.
- Umumnya, kenaikan elevasi 100 kaki (30,5 m) setara dengan berjalan 600 mil (~965 km) ke arah utara.

Pentingnya pemahaman tentang bioma

Bioma mempunyai distribusi yang khas di dunia (apa yang tumbuh, di mana, mengapa)

Perbedaan produktivitas biologis masing-masing bioma

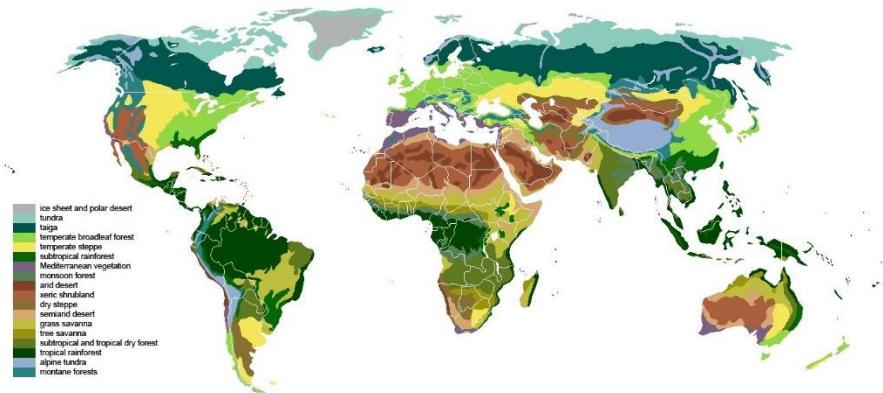
- Berpengaruh pada level penggunaan bioma oleh manusia.

Kemampuan direstorasi/restorasi alami dari kerusakan bervariasi

- Strategi pemanfaatan/konservasi/restorasi harus disesuaikan.

Jenis bioma di dunia

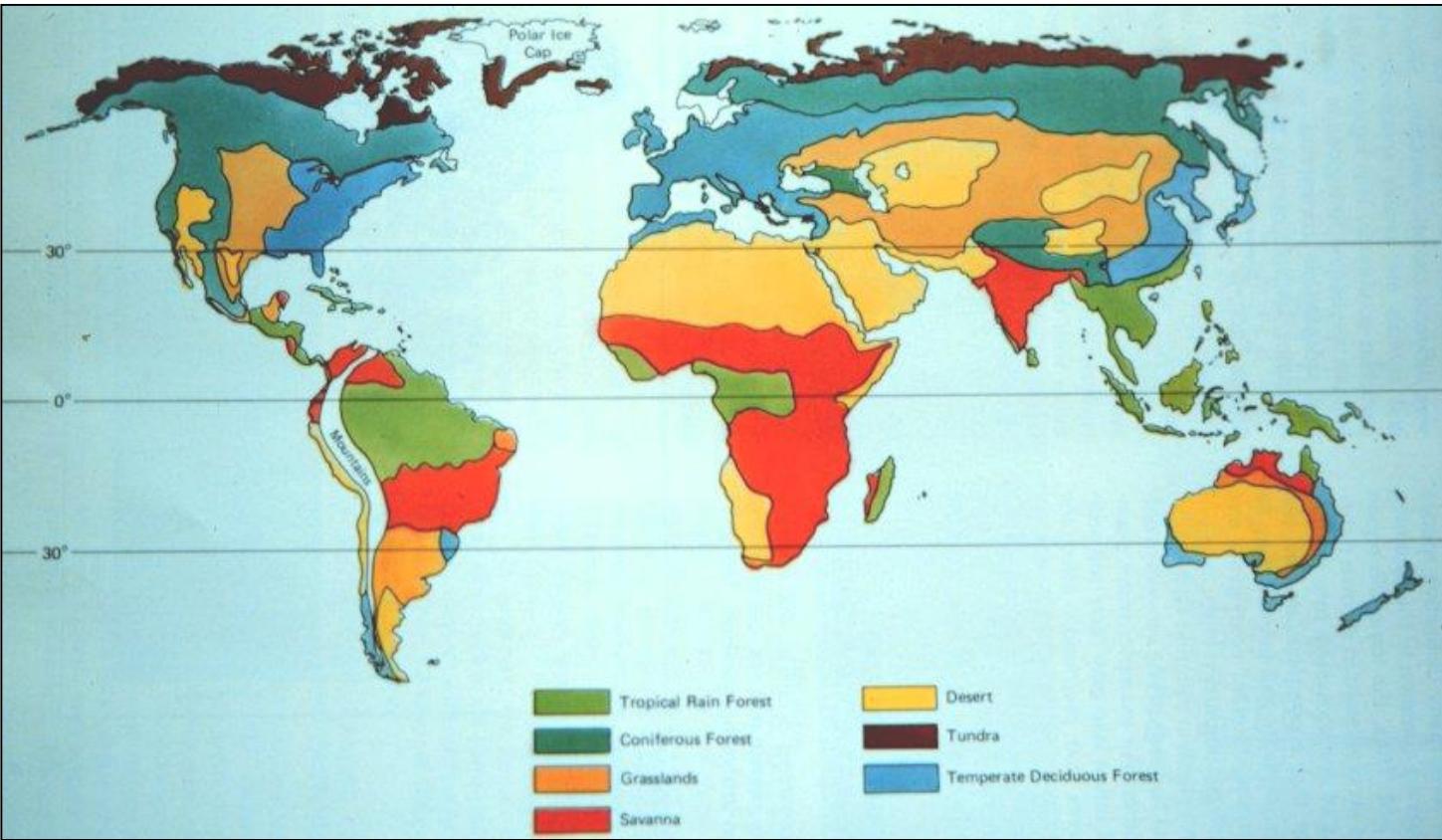
- Berbagai pendapat tentang jumlah bioma di dunia.
- Berkisar antara 5 hingga belasan.
 - Yang umum digunakan: 6-8.



- Dapat dipecah lagi menjadi bioma-bioma yang lebih kecil.
 - Misalnya: tundra arktik dan tundra pegunungan/alpin
- Bisa memasukkan bioma akuatik.

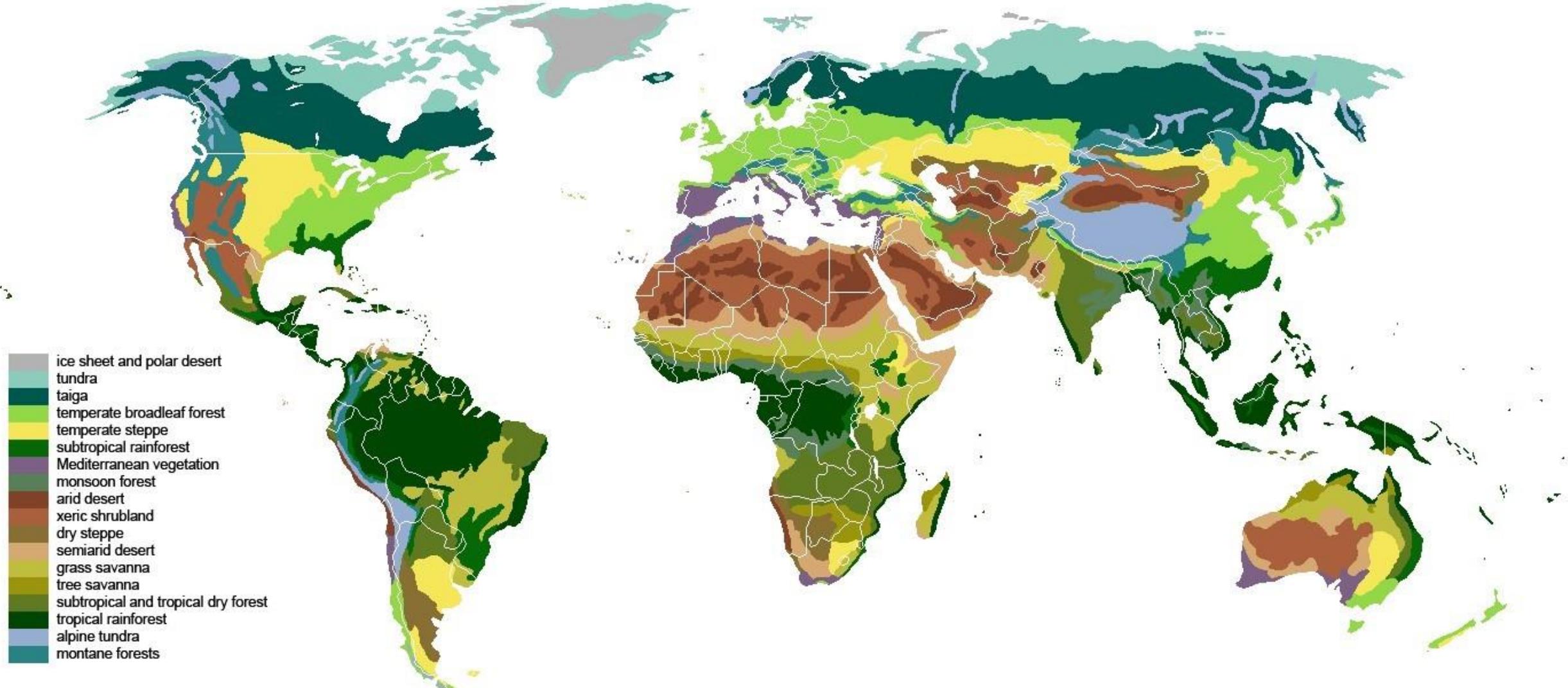
Enam bioma utama dunia

Image credit to the original creator; used under a Fair Use rationale.



- | | | |
|--------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 1. Tropik | 4. Hutan konifer/taiga/boreal | Bioma minor: |
| 2. Padang rumput | 5. Tundra | Chaparral |
| 3. Hutan temperate | 6. Gurun | Hutan hujan temperate |

Distribusi bioma dunia

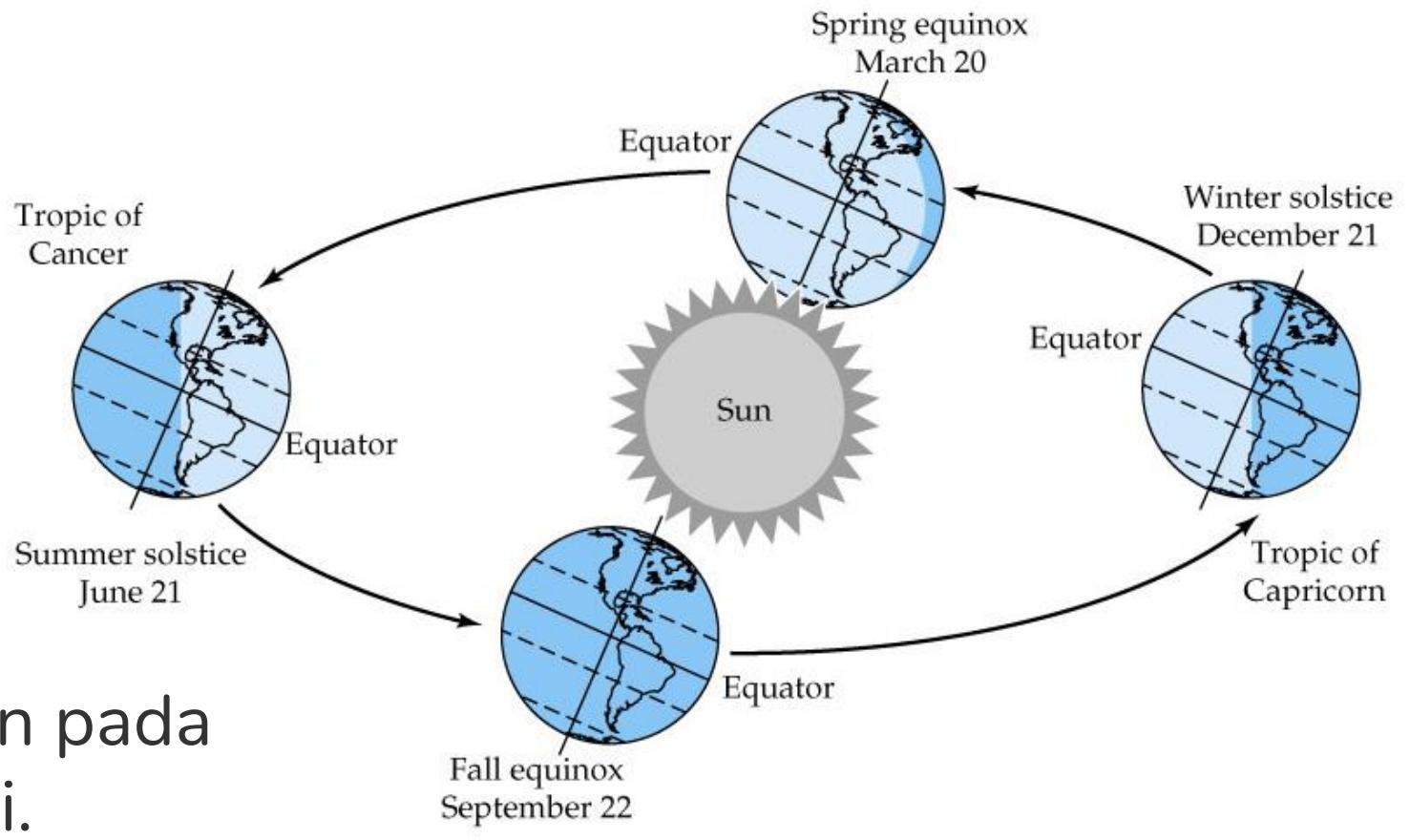


Peran iklim pada bioma

- Iklim di suatu wilayah merupakan faktor terpenting yang menentukan tipe bioma yang tumbuh di
- Faktor iklim determinan: presipitasi dan suhu.

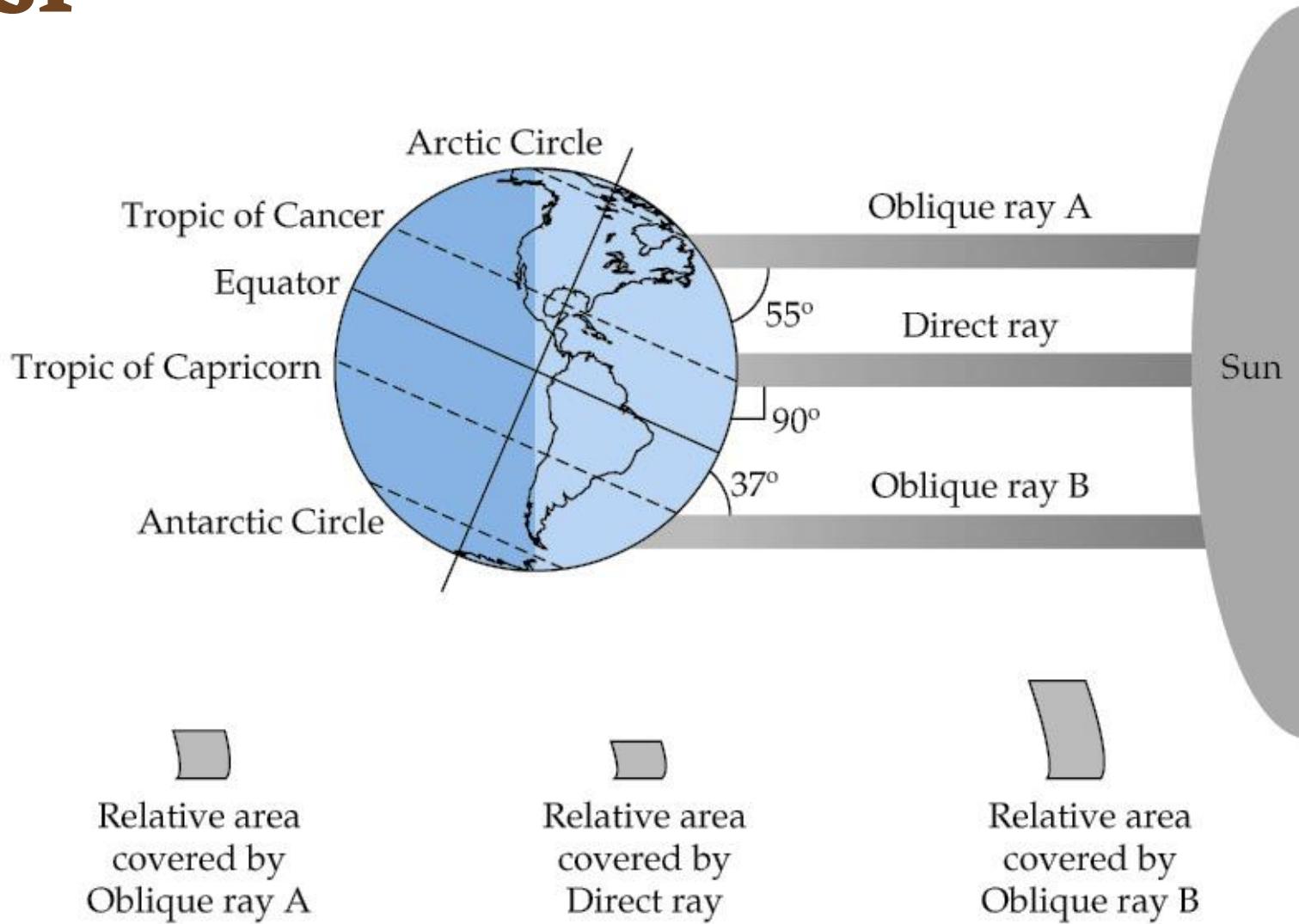


Sirkulasi udara global dan iklim global



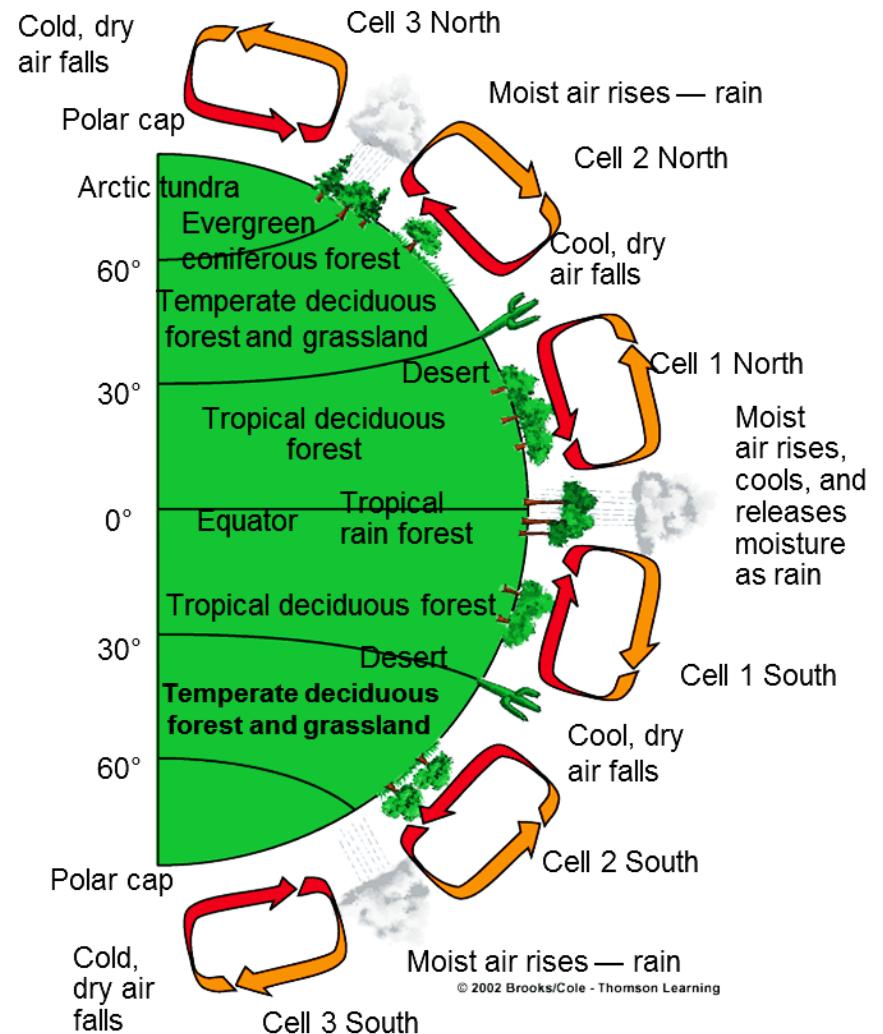
- Perubahan musiman pada suhu dan presipitasi.

Insolasi



Sirkulasi udara dan iklim global

- Pergerakan udara dan air.



Bioma terestrial utama di bumi

Hutan tropis (tropical forest)

- Hutan hujan tropis (tropical rainforest)
- Hutan gugur tropis (tropical deciduous forest)
- Hutan belukar (thorn forest)

Hutan temperate (temperate forest)

- Hutan gugur temperate (temperate deciduous)
- Hutan konifer temperate (temperate coniferous)
- Hutan hujan temperate (temperate rainforest)

Padang rumput (grassland)

- Sabana (tropical grassland)
- Padang rumput temperate (temperate grassland)

Gurun (desert)

- Gurun panas (hot desert)
- Gurun dingin (cold desert)
- Gurun pantai (coastal desert)

Tundra

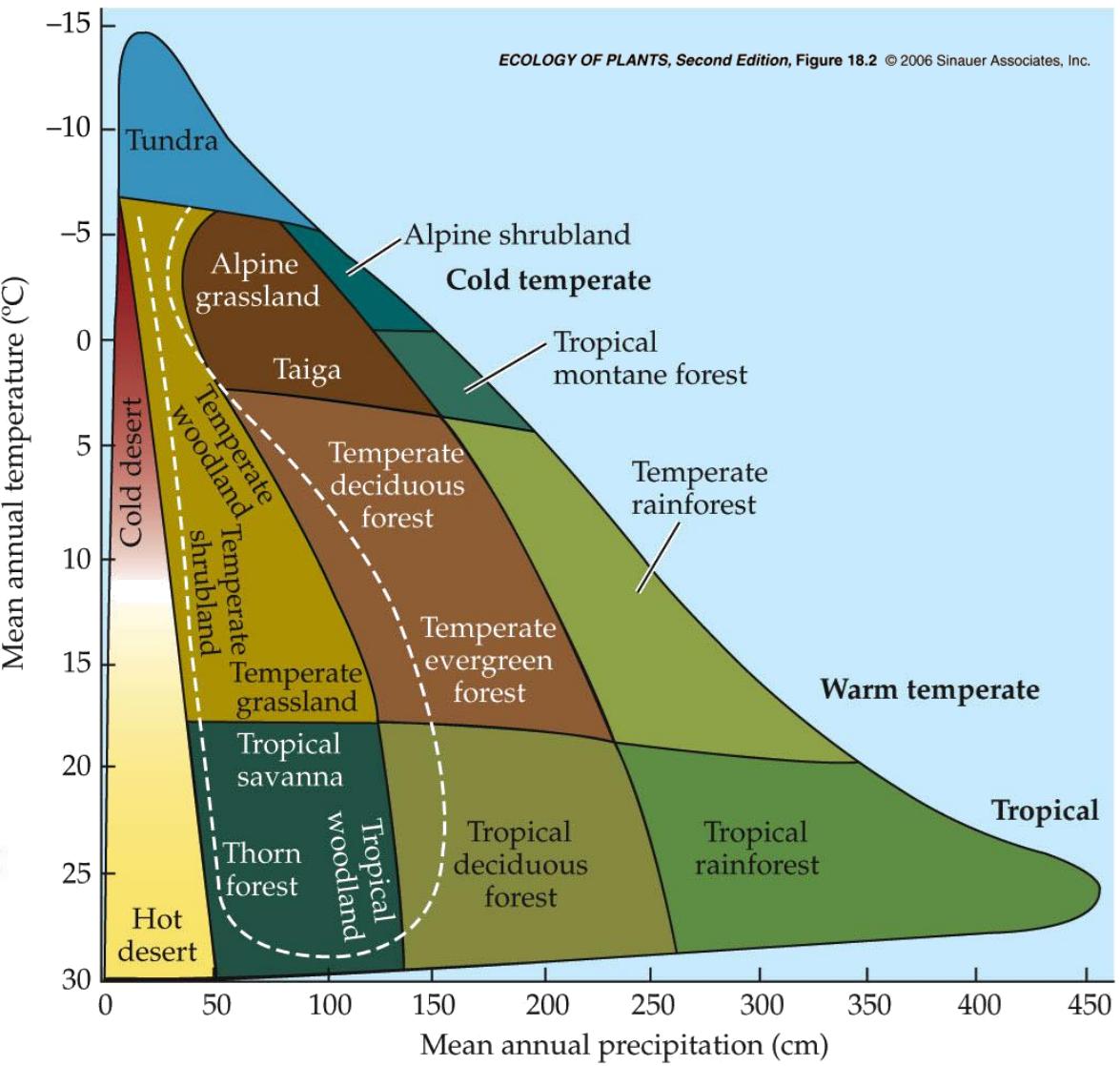
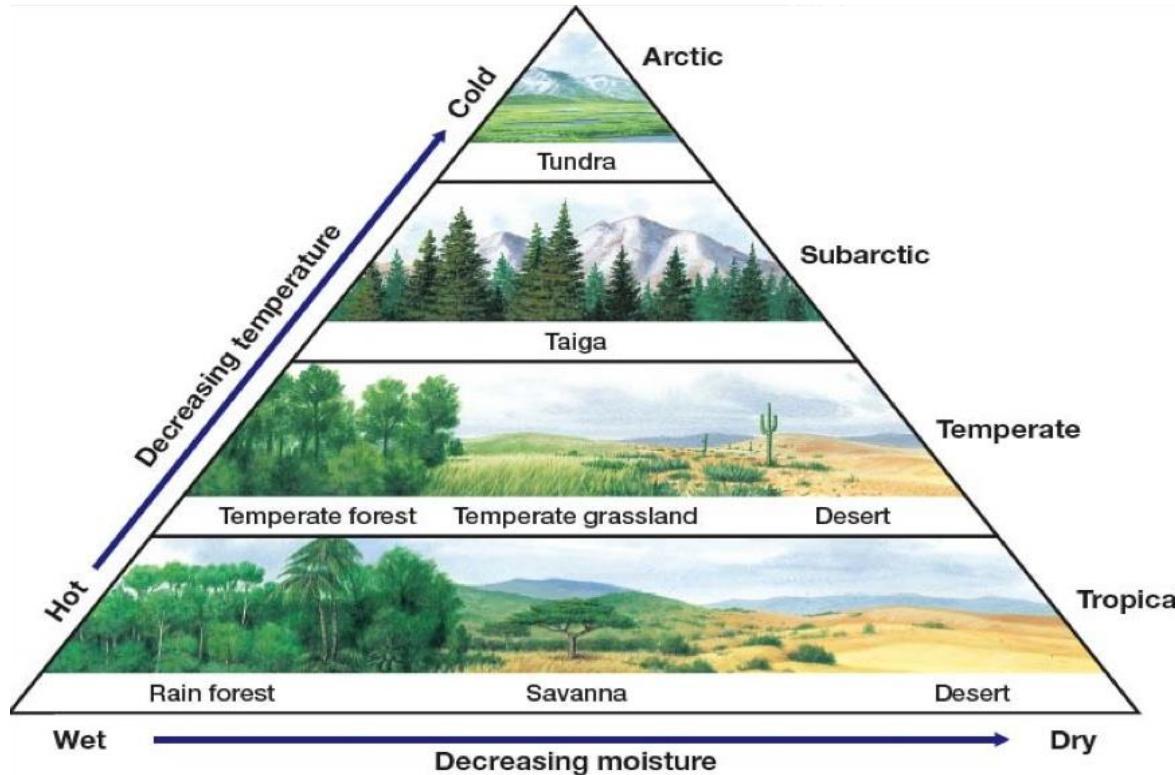
- Tundra arktik (arctic tundra)
- Tundra pegunungan (alpine tundra)

Hutan boreal (boreal forest) atau taiga

Chaparral

Klimatograf bioma

- Suhu dan curah hujan dapat digunakan untuk memprediksi jenis bioma yang ada di suatu area.



Klimatograf bioma

- Suhu dan curah hujan dapat digunakan untuk memprediksi jenis bioma yang ada di suatu area.
- Meskipun demikian, faktor determinan bioma bukan hanya suhu dan presipitasi saja.
- Adanya overlap antara bioma mengindikasikan ada pengaruh faktor lainnya.
 - Curah hujan musiman
 - Fluktuasi suhu
 - Komposisi tanah secara geologis

Produksi primer bersih (NPP) berbagai bioma terrestrial

Bioma	NPP (g karbon/m ² /tahun)
Tropical Rain Forest	900
Tropical Dry Forest	675
Temperate Evergreen Forest	585
Temperate Deciduous Forest	540
Boreal Forest	360
Tropical Grasslands	315
Cultivated land (USA)	290
Chaparral	270
Prairie	225
Tundra	225
Desert	32
Extreme Desert	1.5

Hutan hujan tropis



Tipe hujan tropis

Hutan hujan tropis

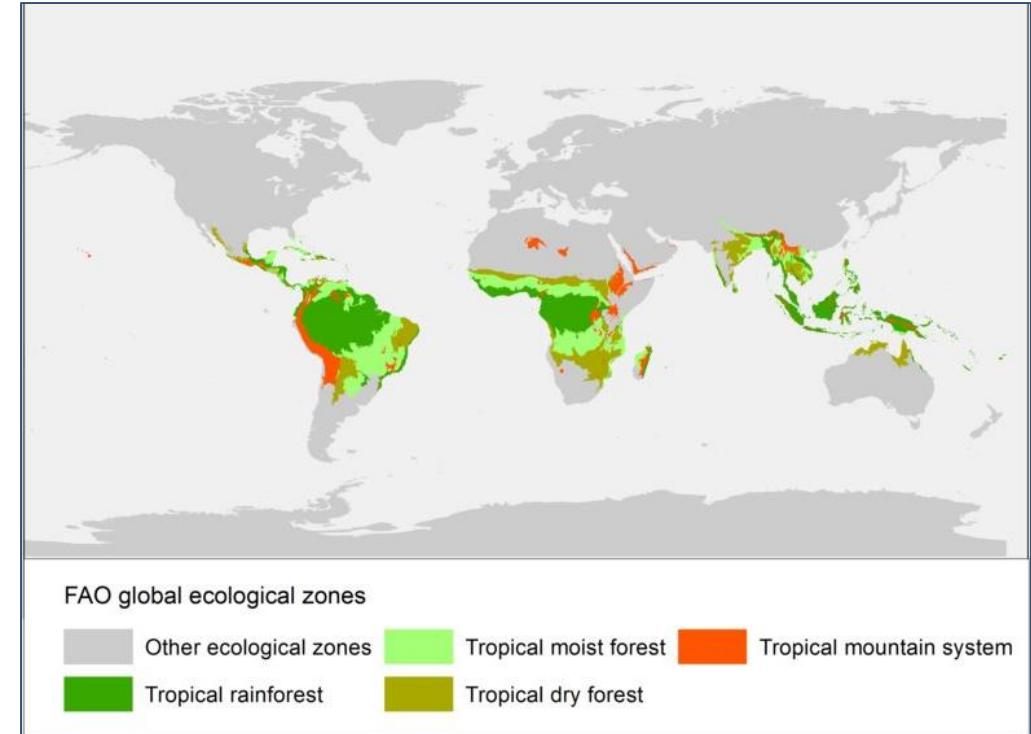
- Jenis utama hutan tropis, ~60%.

Hutan gugur tropis

- Curah hujan tinggi dekat ekuator.
- Musim kemarau panjang.

Hutan belukar (thorn)

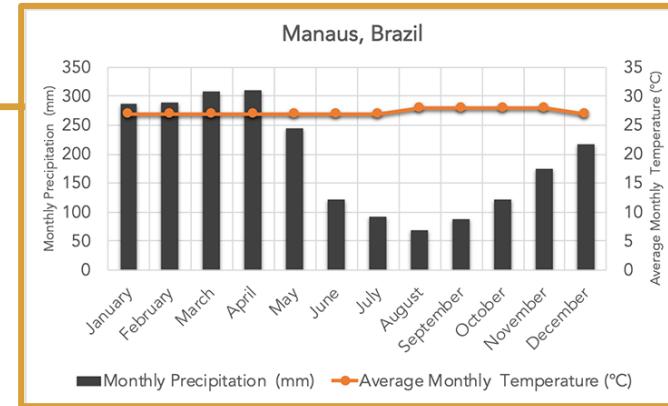
- Paling jauh dari ekuator.
- Kemarau berkepanjangan.



https://en.wikipedia.org/wiki/File:Tropical_forests.tif

Hutan hujan tropis

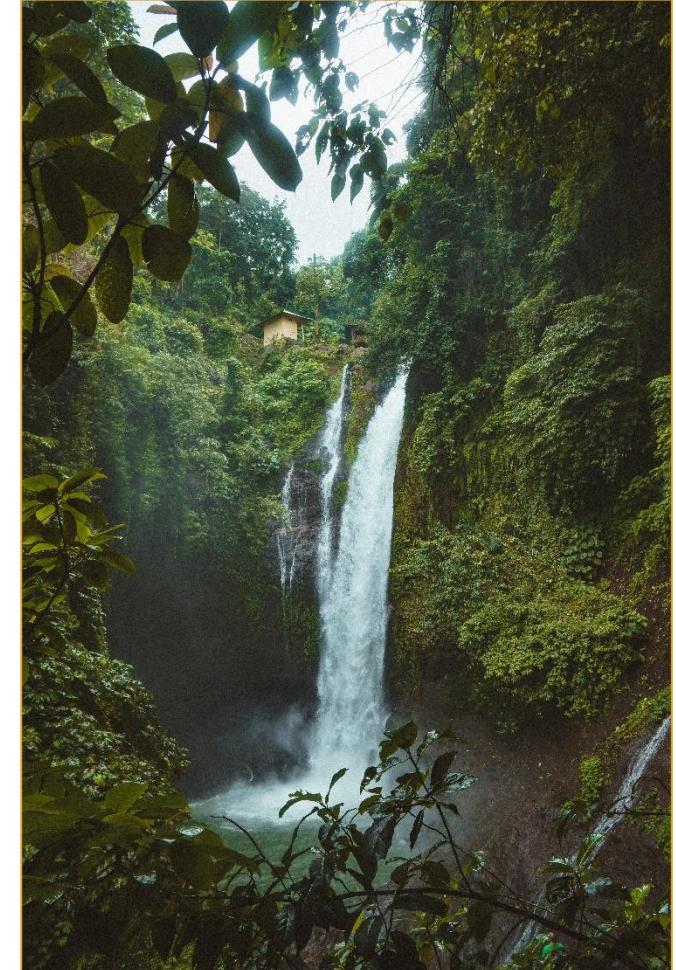
- Ditemukan di daerah ekuator.
 - Antara Tropic of Cancer dan Tropic of Capricorn.
 - Umumnya terletak pada sekitar 10° LU/LS.
- Periode pertumbuhan sepanjang tahun tak terputus.
- Biodiversitas dan biomass tinggi.
- Lokasi lebih dari 50% spesies di dunia.



Hutan hujan tropis

Faktor abiotik

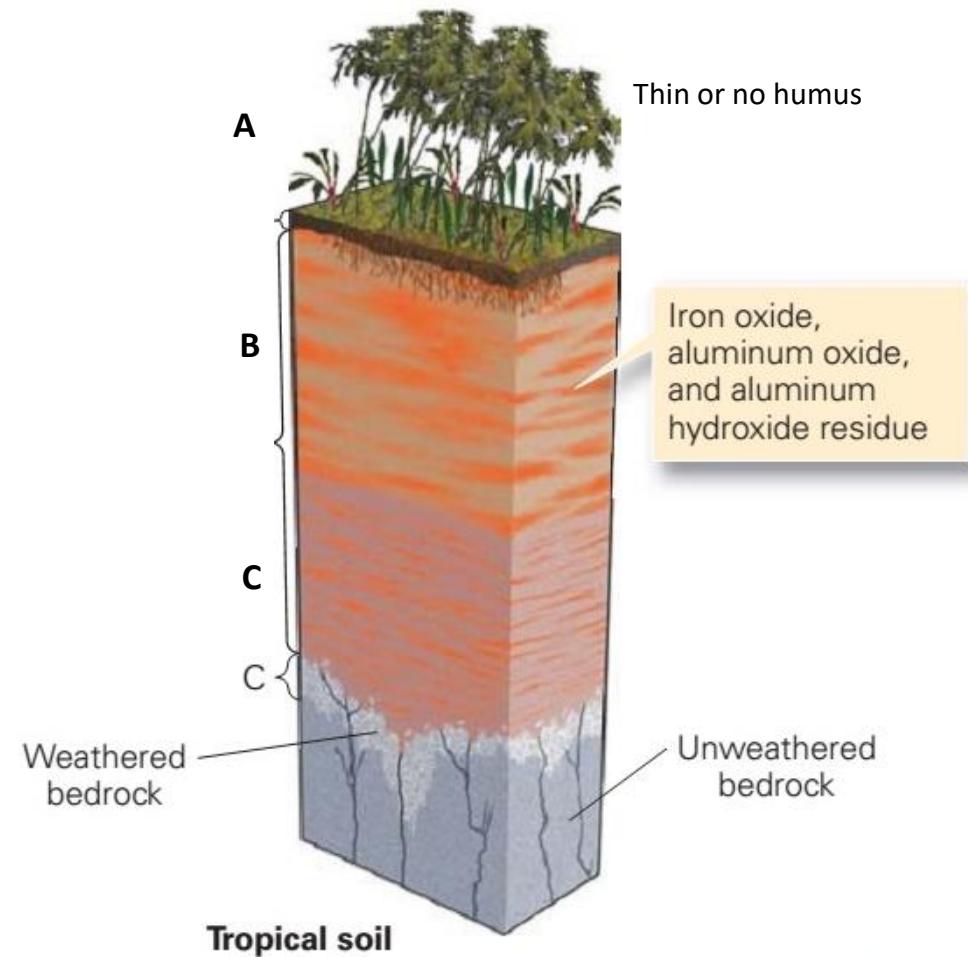
- Curah hujan >250 cm (200-450 cm) per tahun.
- Suhu hangat sepanjang tahun, biasanya 20-25°C.
 - Lama siang hari \pm 12 jam.
- Panas dan lembab.
- Topsoil tipis, subsoil laterite (iron-based clay)



Hutan hujan tropis

Daur hara

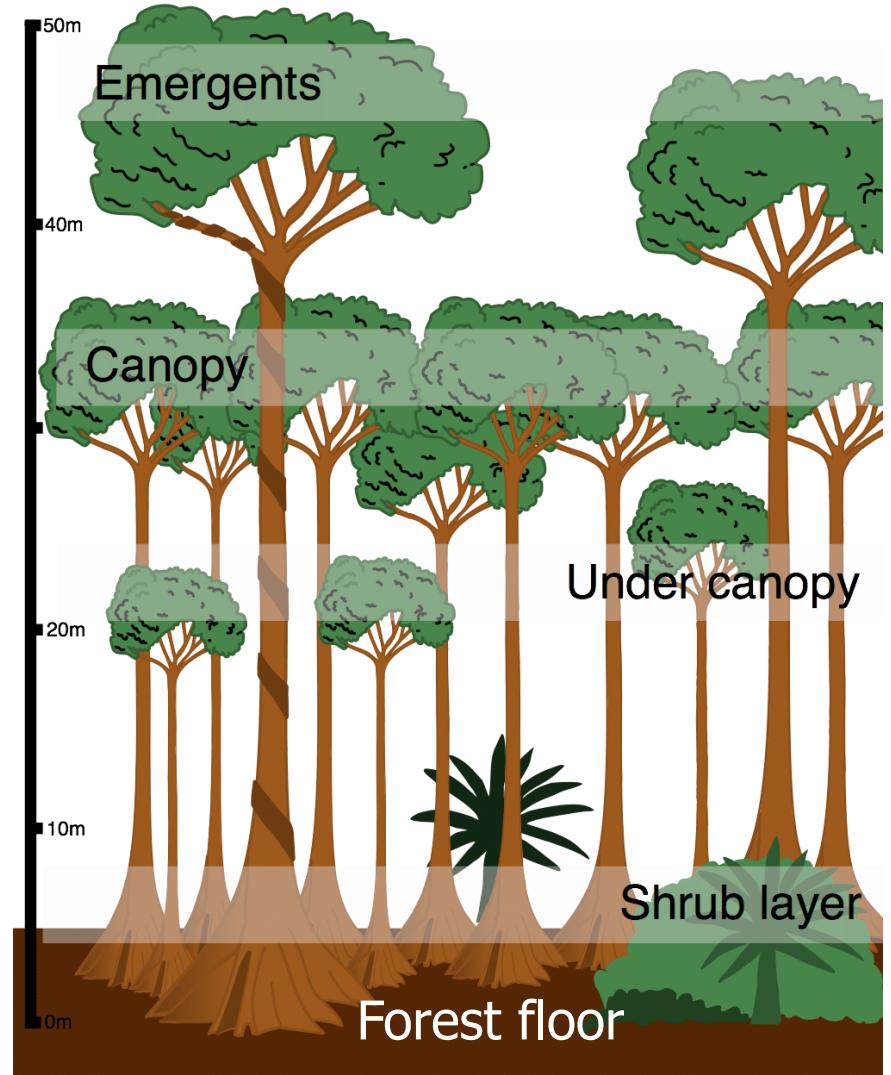
- Hara disimpan dalam tubuh organisme.
 - Dekomposisi dan daur ulang cepat.
 - Iklimnya ideal untuk bakteria dan mikroorganisme dekomposer.
- Lapisan tanah asam, miskin hara.
 - Pencucian oleh hujan tinggi; CO₂ larut di tanah; pembentukan asam organik kuat.



Hutan hujan tropis

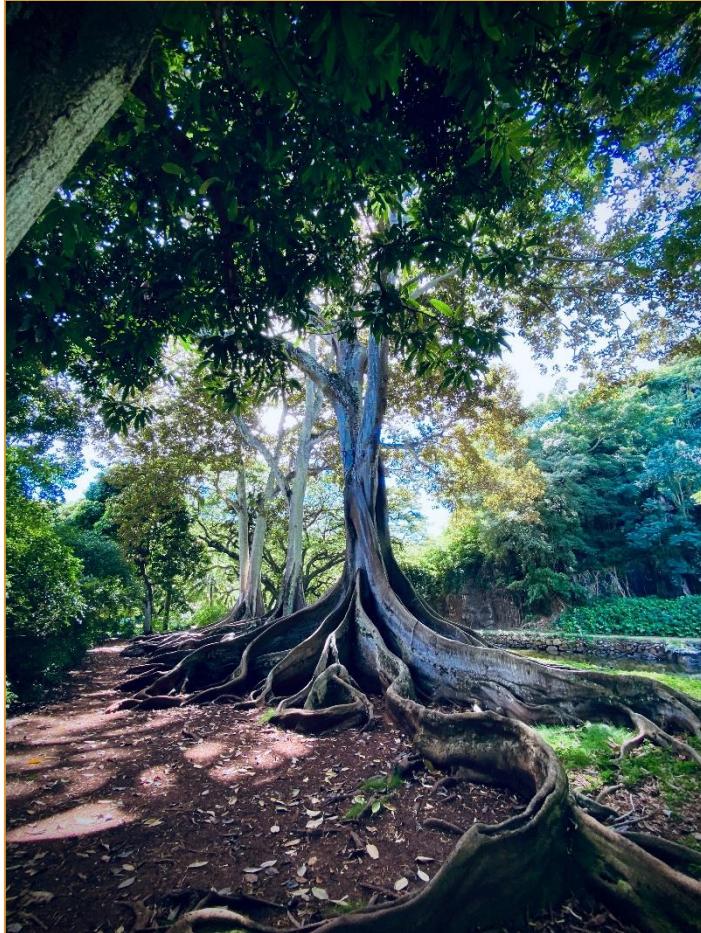
Adaptasi tumbuhan

- Struktur vertikal umumnya 5 lapis.
- Setiap lapis mempunyai tumbuhan dan hewan yang khas.
- Bisa mencapai tinggi 80 m.



Hutan hujan tropis

Adaptasi tumbuhan



- Cahaya merupakan faktor pembatas utama.
 - Kanopi memperoleh cahaya yang terbanyak.
 - Sedikit cahaya mencapai lantai hutan.
- Perakaran dangkal dan melebar, karena tanah yang tipis dan miskin hara.

Hutan hujan tropis

Adaptasi hewan



- Banyak binatang bersifat spesialis dan memerlukan komponen habitat tertentu untuk bertahan hidup.
- Kamuflase sering dijumpai.
- Banyak yang bersimbiosis.
- Hidup dalam lapisan-lapisan kanopi yang berbeda.

Hutan hujan tropis Ancaman

- Deforestasi.
 - Perubahan iklim, hilangnya biodiversitas bernilai ekonomis.
- Pertanian slash-and-burn.



Hutan temperate



Tipe hujan temperate

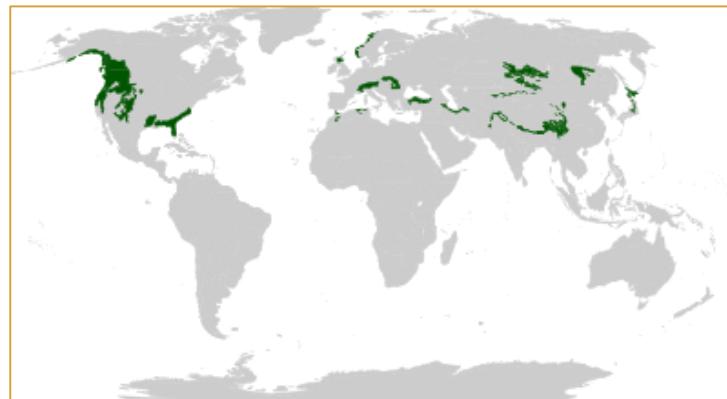
Hutan gugur temperate

- Di daerah lembab, curah hujan tinggi.
- Gugur di musim dingin.



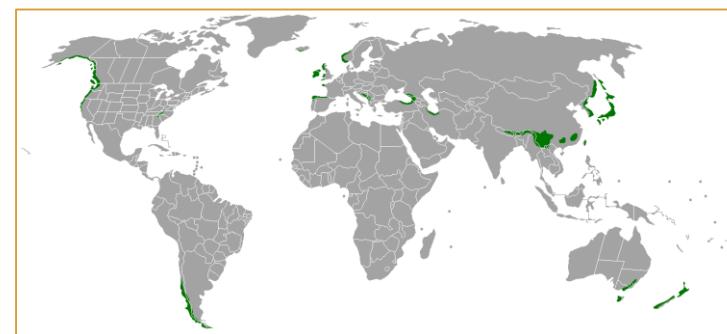
Hutan konifer temperate

- Di daerah dengan suhu dan kelembaban bervariasi (dingin/kering).



Hutan hujan temperate

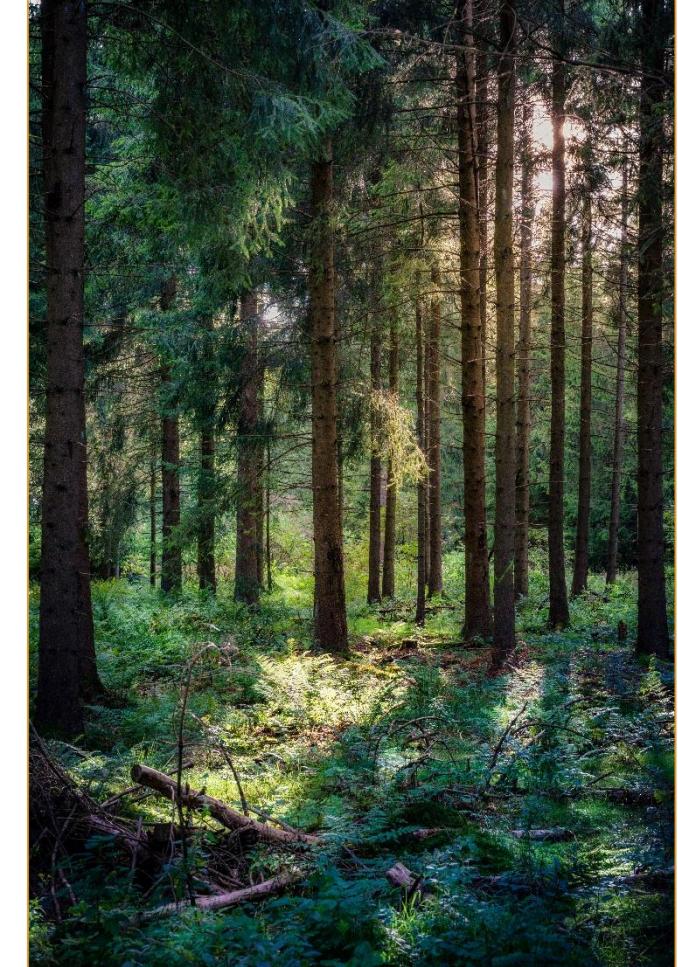
- Di daerah suhu sedang, curah hujan sangat tinggi.



Hutan gugur temperate

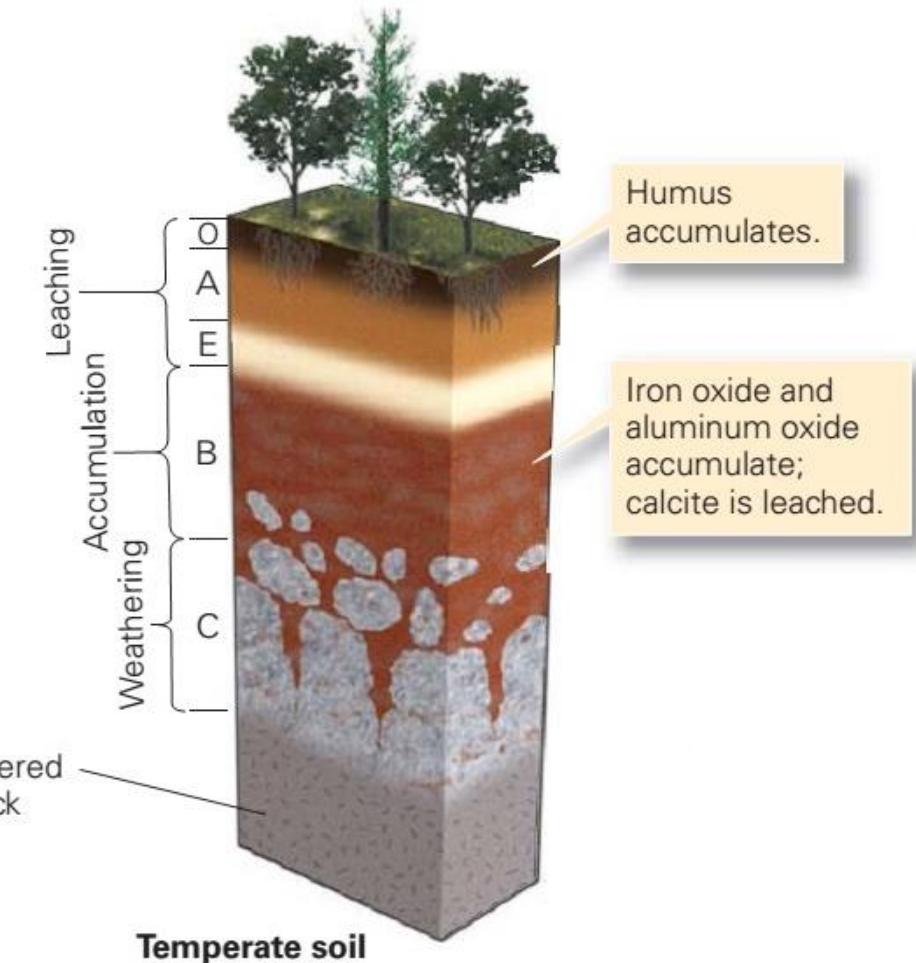
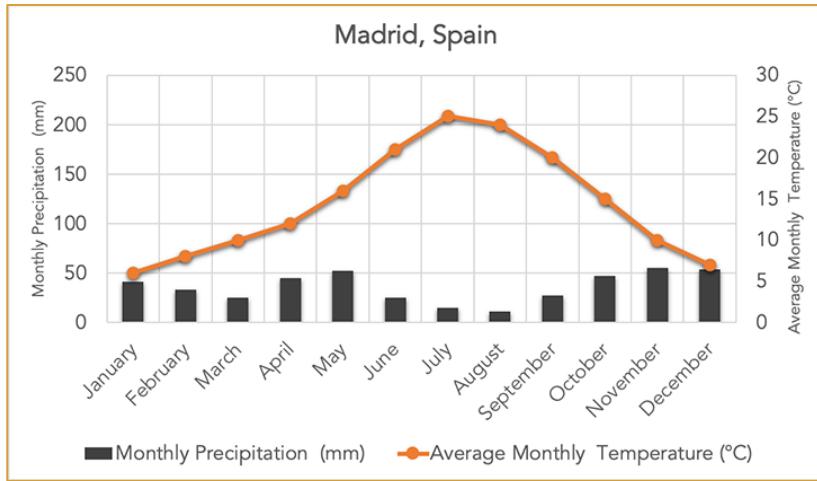
Faktor abiotik

- Curah hujan antara 75-250 cm/tahun.
- Suhu antara -30°C & 30°C.
- Suhu dan kelembaban sedang.
- Periode pertumbuhan 5–6 bulan.



Hutan gugur temperate

Faktor abiotik



- Lapisan tanah tebal, kaya nutrien.
- Presipitasi sedang dalam berbagai bentuk (salju, es, hujan, kabut).

Hutan gugur temperate Adaptasi tumbuhan

- Umumnya punya struktur 4 lapis.
 - Tanah, semak, anak pohon, kanopi.
- Banyak tumbuhan bawah
 - Sinar matahari yang mencapai lantai hutan lebih banyak daripada di tropis.
- Diversitas hutan deciduous lebih tinggi dari hutan konifer (karena lebih tingginya cahaya matahari).
- Pohon beradaptasi dengan dorman pada musim dingin.



Hutan gugur temperate Adaptasi hewan

- Menghilangkan “winter coat” (lapisan bulu selama musim dingin) pada musim panas.
- Beradaptasi pada variasi musim.
- Makan dari lapisan kanopi yang berbeda.



Hutan gugur temperate **Ancaman**

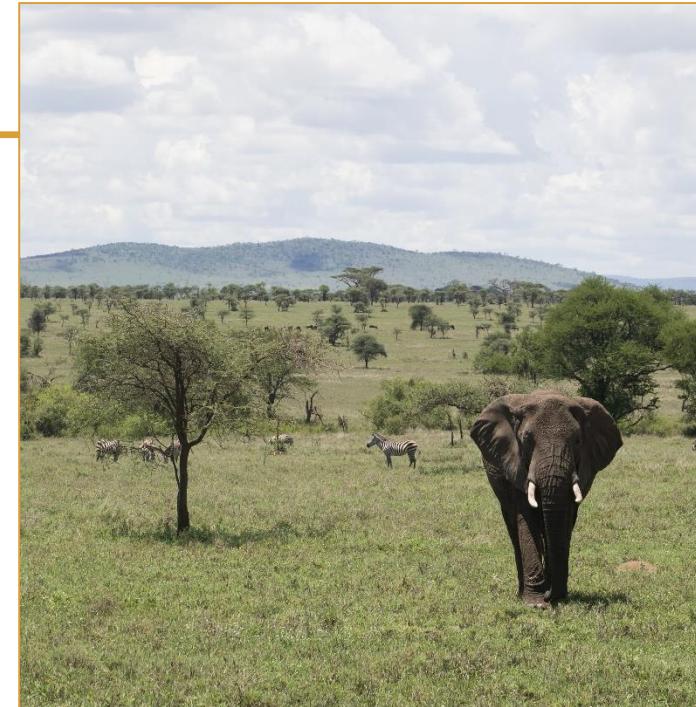
- Hujan asam, menyebabkan produksi biji yang lebih kecil dan sedikit, merusak daun.
- Penebangan hutan.
- Perubahan iklim (menurunkan produktivitas dan meningkatkan serangan pathogen).

Sabana padang rumput tropis



Sabana Ciri umum

- Merupakan padang rumput dengan sedikit pohon yang letaknya tersebar.
- Dijumpai di lintang 8° – 20° LU/LS.
- Merupakan bioma dengan grazing mammals terbanyak.
- Ancaman: tekanan akibat grazing oleh ternak.



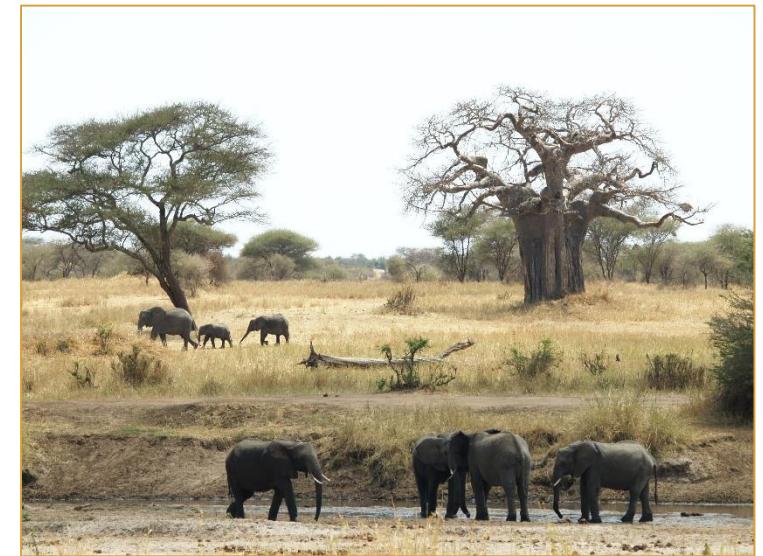
Sabana Faktor abiotik

- Suhu tinggi; curah hujan rendah (50–127 cm/tahun).
- Musim dingin yang kering dan panjang (4–6 bulan), dan musim panas yang sangat basah (6–8 bulan).
- Kebakaran reguler di musim kering
 - Mempertahankan diversitas sabana dan menekan pertumbuhan pohon.
- Tanah berpori besar (porous), lapisan humus tipis.



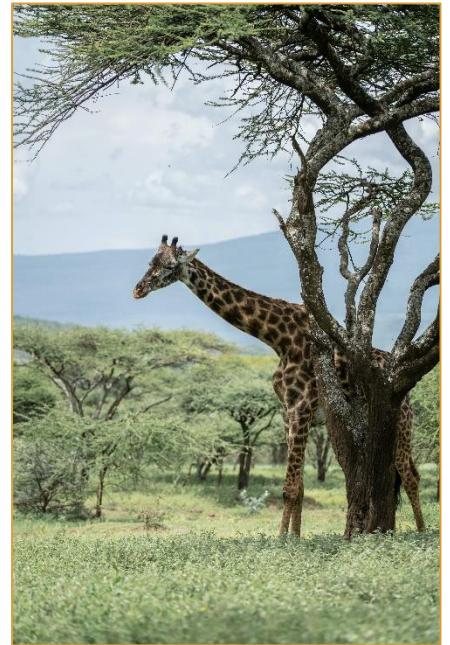
Sabana Adaptasi tumbuhan

- Adaptasi terhadap kekeringan, panas, dan kebakaran.
 - Tumbuh dalam bentuk “tuft”.
 - Rumput dorman selama musim kering, tumbuh cepat pada musim hujan.
 - Perakaran dalam dan tahan lama, tidak mati akibat kekeringan/api.
- Banyak yang berduri atau berdaun tajam untuk perlindungan terhadap predator.



Sabana Adaptasi hewan

- Teradaptasi pada musim hujan yang singkat, bermigrasi jika perlu.
- Vertical feeding karena makanan terbatas.
- Reproduksi selama musim hujan.
 - Kemungkinan survive lebih tinggi.

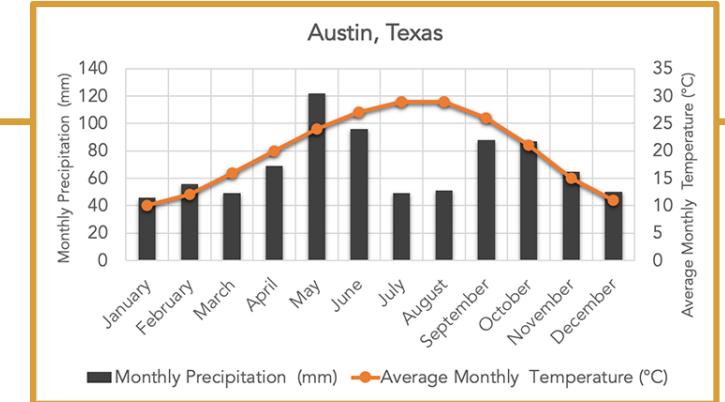


Padang rumput temperate



Padang rumput temperate Ciri umum

- Didominasi oleh rumput-rumputan.
- Pohon hanya ditemukan di dekat sumber air.
- Curah hujan tahunan moderat, antara 50–90 cm.
- Suhu musim panas dapat mencapai 38°C , sedang musim dingin dapat mencapai -40°C .
- Jenis: prairie dan steppe.



Padang rumput temperate Faktor abiotik

- Musim dingin yang dingin dan musim panas dengan sedikit hujan.
- Rendahnya curah hujan menyebabkan hanya sedikit pohon yang dapat tumbuh.
- Tanah
 - Dalam dan gelap, dengan lapisan atas yang subur kaya hara dari pertumbuhan dan dekomposisi akar rumput.
 - Struktur tanah ditopang oleh hasil dekomposisi rumput tersebut.

Padang rumput temperate

Ancaman

- Konversi menjadi lahan pertanian atau padang merumput untuk ternak.
- Ancaman langsung maupun tidak langsung untuk hewan yang hidup di atasnya.
- Merupakan habitat banyak spesies langka atau karismatik, misalnya: bison, kuda liar, badak.



Gurun



Tipe gurun

Gurun panas

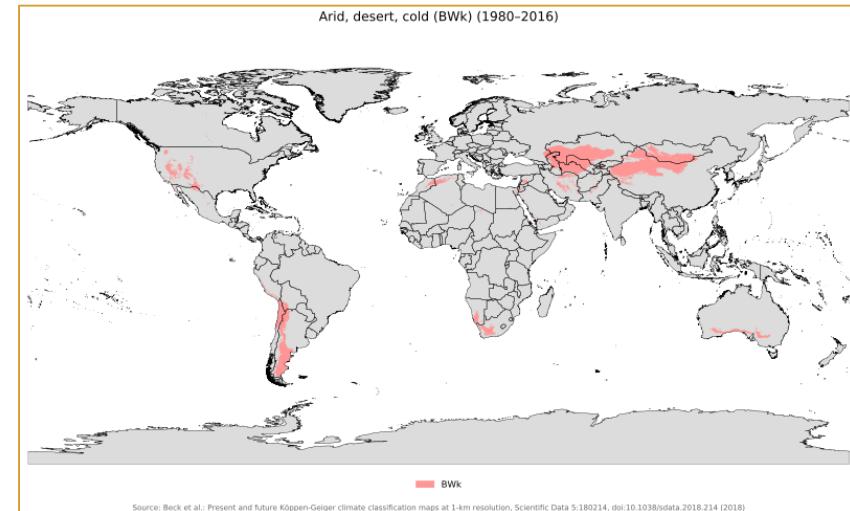
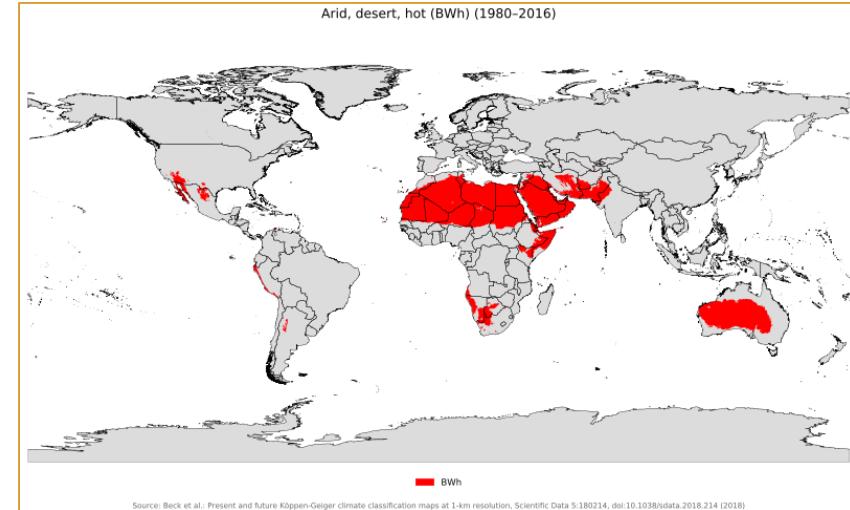
- Contoh: Sahara, Kalahari, Mojave, Sonoran, Gurun Arab

Gurun dingin

- Contoh: Gobi, Taklamakan, Arctic, Greenland

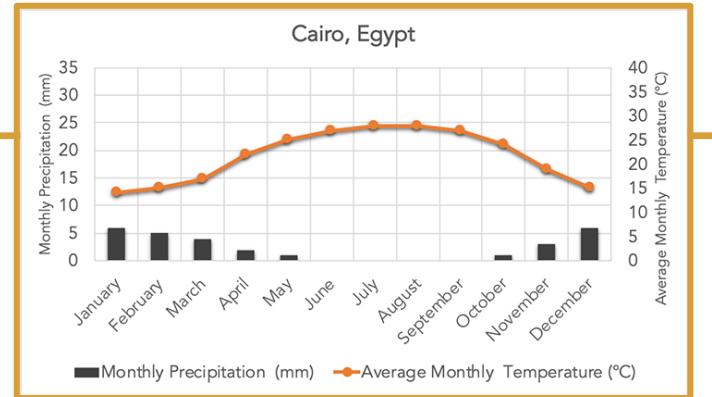
Gurun pantai

- Contoh: Namib, Atacama



Gurun Ciri umum

- Antara lintang 15° dan 35° LU/LS.
- Sangat kering, vegetasi jarang.
 - Curah hujan <50 cm/tahun.
 - Suhu rata-rata $20\text{--}25^{\circ}\text{C}$, tapi dapat mencapai hingga 38°C dan -15°C .
 - Angin kencang.
 - Evaporasi > presipitasi.
 - Kelembaban rendah, UV intensitas tinggi.
 - Tanah mengandung hara tinggi (pertumbuhan dan dekomposisi lambat)



- Kebanyakan ditemukan di lintang rendah (dekat ekuator).
- Iklimnya panas sepanjang tahun.
- Presipitasi sangat rendah, dan prosesnya terjadi secara mendadak dalam waktu pendek.
 - Gurun terkering: Atacama (Chile).
- Fluktuasi suhu harian sangat besar
- Tanah bertekstur kasar, dangkal, dengan drainase tinggi karena pelapukan kimia rendah, dan partikel yang halus tertius angin ke lokasi lain.

Gurun **Gurun dingin**

- Ditemukan di lintang tinggi hingga lingkar kutub.
- Mempunyai musim panas yang panas, dan musim dingin yang ekstrim.
- Bentuk presipitasi utama: salju atau kabut, dalam jumlah kecil.
 - Contoh: Gurun Gobi, Taklamakan.
 - Arktik dan antarktik dianggap sebagai gurun dingin.

Gurun Adaptasi

- Pohon jarang berkanopi.
- Tumbuhan berupa semak rendah atau pohon kecil.
- Organismenya teradaptasi terhadap musim kering panjang, suhu panas dan/atau dingin yang ekstrim.
 - Gurun panas: Daun dan batang tebal berair, epidermis tebal; binatang nokturnal, siang di liang.
 - Gurun dingin: tumbuhan deciduous, dengan daun berduri. Hewan berliang.

Gurun Adaptasi

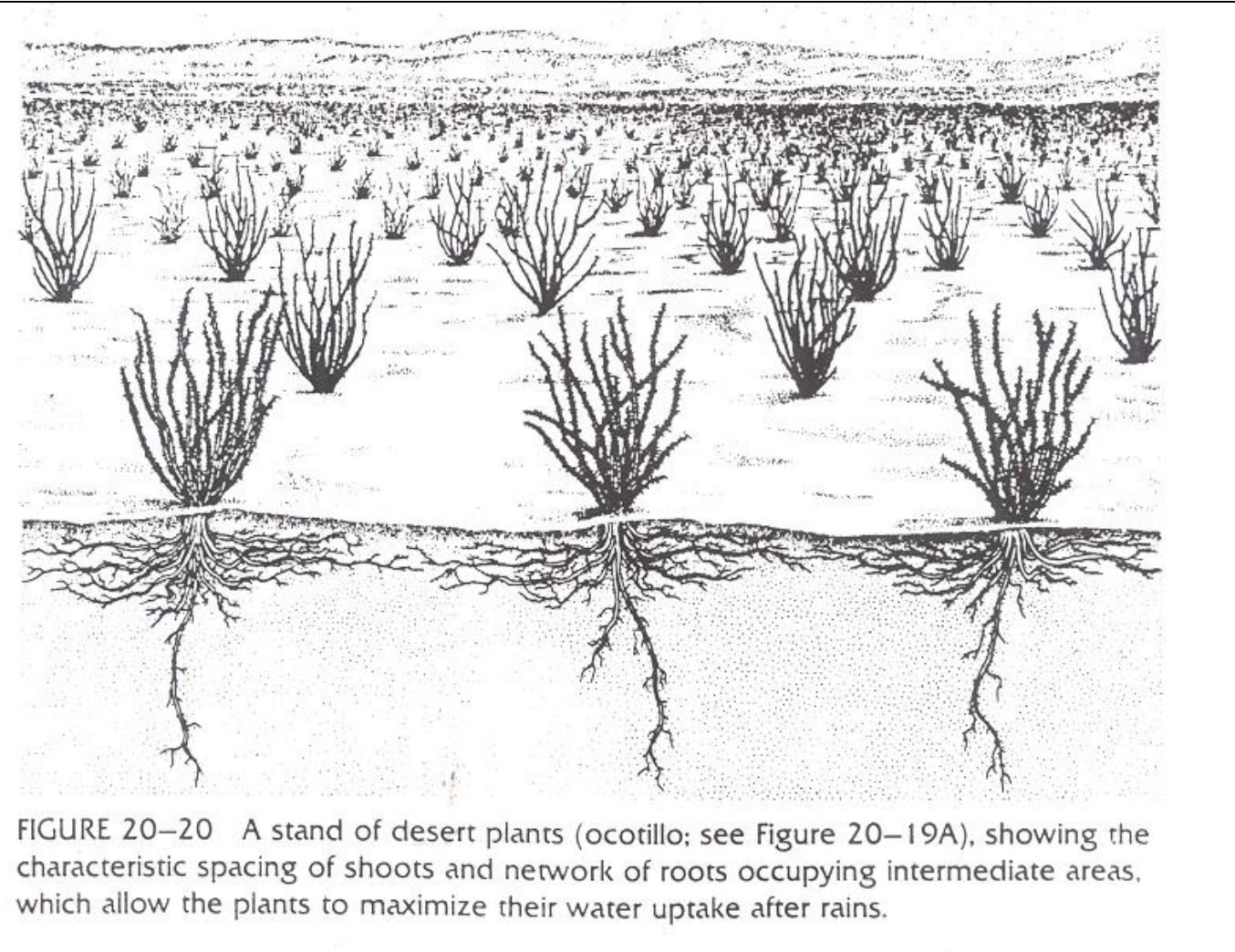


FIGURE 20–20 A stand of desert plants (ocotillo; see Figure 20–19A), showing the characteristic spacing of shoots and network of roots occupying intermediate areas, which allow the plants to maximize their water uptake after rains.

Gurun Ancaman

- Overgrazing
- Kompaksi tanah akibat kendaraan
 - Tanah mudah rusak (semakin sulit menyimpan air).



Taiga

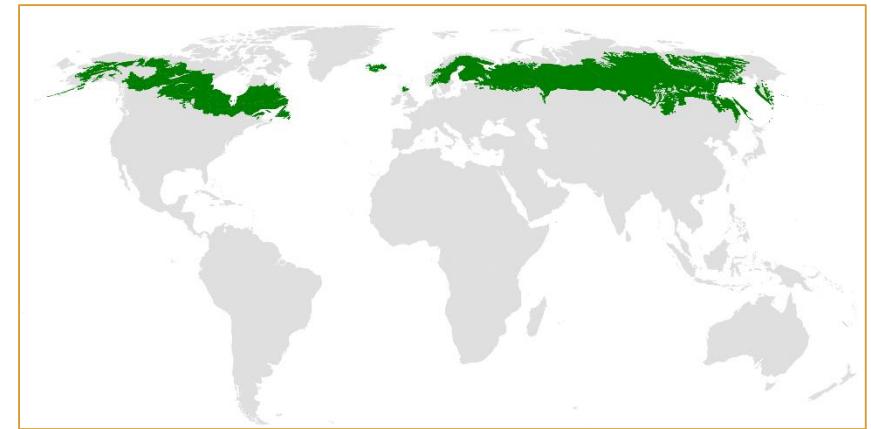
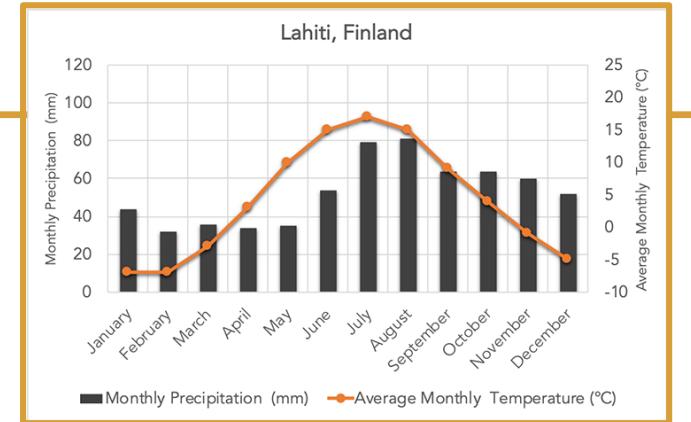
hutan boreal



Tundra

Ciri umum

- Dijumpai di utara hutan temperate, sebelum tundra, antara lintang utara 45° dan 60° .
- Bioma terluas di dunia.
- Suhu dingin hingga beku.
- Pertumbuhan sangat lambat karena suhu dingin.
- Vegetasi: konifer.



Taiga

Faktor abiotik

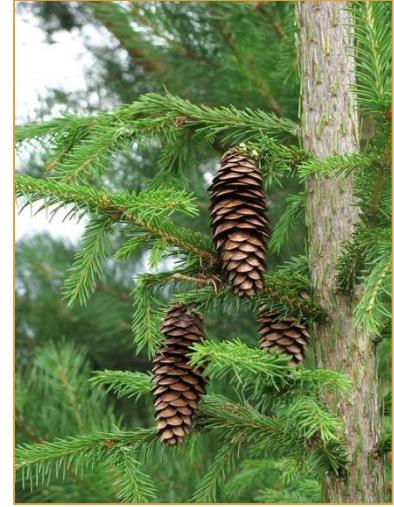
- Musim dingin panjang dan dingin.
- Presipitasi 50-100 cm/tahun, terutama berupa salju.
- Tanah tipis, miskin hara, dan sangat asam,
- Masa pertumbuhan sangat singkat.



Taiga

Adaptasi tumbuhan

- Pohon konifer (berdaun jarum) melimpah.
- Perakaran dalam untuk mensupport pohon.
- Daun jarum panjang, kurus, dan berlilin.
- Cahaya matahari rendah dan tanah yang miskin hara menghambat pertumbuhan tumbuhan bawah.



Taiga

Adaptasi hewan

- Teradaptasi pada musim dingin ekstrim.
 - Bersarang, hibernasi, lapisan bulu yang hangat, insulasi.
 - Contoh: caribou, elk, moose, caribou, wolverine, lynx, harimau siberia.



Taiga Ancaman

- Deforestasi.
- Pemanasan global.
 - Mencairkan glasier dan salju di pegunungan.
 - Karena drainase buruk, tanah tergenang air membentuk “**muskeg**”.
 - Pohon terhambat pertumbuhannya.



Tundra

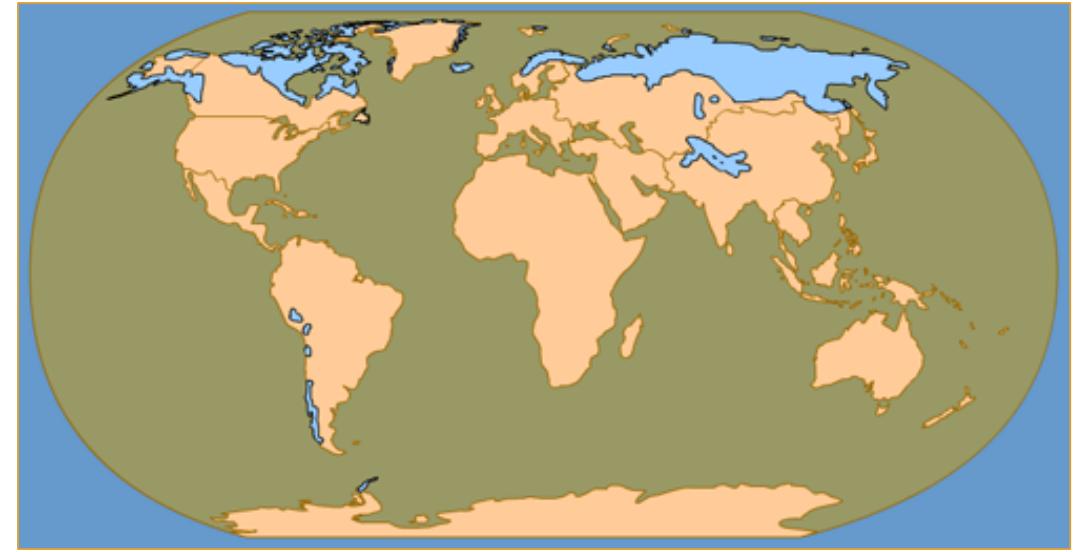


Tipe tundra

Tundra arktika

Tundra antarktika

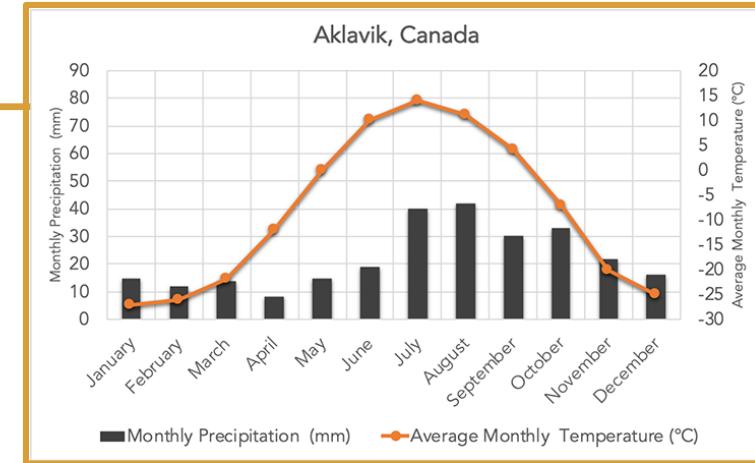
Tundra pegunungan/alpin



Tundra

Ciri umum

- Bioma terdingin, suhu ekstrem.
 - Musim dingin mencapai 10 bulan.
- Wilayah sebelum lingkar kutub atau puncak gunung.
- Presipitasi rendah.
- Lanskap tanpa pohon, diversitas rendah, hara rendah.
- Batas utara pertumbuhan flora.



Tundra Faktor abiotik

- Curah hujan rendah <15–25 cm/tahun (setara gurun).
- Air hampir tidak tersedia (selalu beku), tapi tanah selalu basah akibat rendahnya evaporasi.
- Tanah permafrost (lapisan tanah beku yang berada di bawah suhu 0°C selama satu atau dua tahun).



Tundra Vegetasi

- Pohon sangat jarang, karena periode pertumbuhan pendek dan permafrost.
- Produktivitas rendah (karena permafrost).
- Tumbuhan umumnya berukuran pendek.
- Lichens, lumut, rumput-rumputan, semak.



Tundra

Ancaman

- Ancaman utama: pemanasan global.
 - Melelehkan permafrost.
 - Simpanan karbon dalam tanah terlepas sebagai CO₂ dan CH₄.



Runoff from melting permafrost in Alaska flows toward the sea.
(NOAA)

Tundra arktika

- Ditemukan di daerah lingkar kutub utara.
 - Contoh: Siberia, Greenland, Alaska, Canada.
- Musim panas pendek, hampir 24 jam matahari per hari.
- Terdapat permafrost.
- Flora: semak, rumput, lumut.
- Fauna: rubah arctic, muskox, snowy owl, beruang kutub, dll.
- Tundra antarktika mirip, tapi tanpa mamal.



Tundra pegunungan

- Dijumpai di banyak pegunungan tinggi di dunia.
- Tidak punya permafrost, drainase lebih baik.
- “Treeline”: ekoton antara hutan subalpine dan tundra.
- “Krummholz”: hutan kerdil yang dijumpai di ekoton.
- Vegetasi mirip tundra arktika.



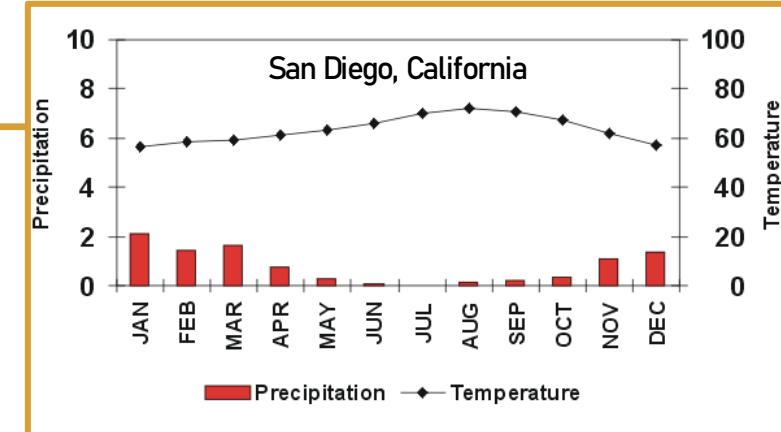
Chaparral



Chaparral

Ciri umum

- Ditemukan di antara lintang 32° and 40° pada pantai barat benua.
- Dicirikan oleh iklim mediterran.
 - Musim panas yang sangat panas dan kering, kebakaran reguler.
- Musim dingin sekitar 10°C , musim panas bisa mencapai 40°C .
- Biodiversitas tinggi.



- Dua musim: panas dan dingin.
- Musim panas bisa mencapai 5 bulan.
- Presipitasi antara 35-70 cm/th, biasanya pada musim dingin.
- Suhu panas dan kering.

- Ekosistem chaparral bergantung pada kebakaran alami untuk regenerasi.
- Tumbuhan sangat tahan terhadap kekeringan dan kebakaran.
 - Sclerophyllous: tahan kekeringan, suhu tinggi, dan api.
 - Pohon kecil (akasia, tea-tree, eukaliptus, kaktus) dan semak.
 - Perakaran dalam, kulit kayu keras (tahan api).

Chaparral Adaptasi hewan

- Kebanyakan bersifat nokturnal.
- Adaptasi terhadap suhu tinggi musim panas maupun suhu rendah musim dingin
- Telinga besar, tahan tidak minum, sumber air dari tumbuhan.
- Contoh: coyote, jackrabbit, alligator lizards, horned toads, praying mantis.



Chapparal Ancaman

- Ancaman utama berupa aktivitas manusia.
 - Daerah popular untuk pengembangan perkotaan karena keindahan lanskapnya.
 - Polusi.
 - Kebakaran yang dipicu manusia.
 - Invasi spesies eksotik.



Penutup: Bioma dan konsep komunitas

Adanya variasi dalam pengklasifikasian bioma di dunia sejalan dengan perbedaan paradigma Clements dan Gleason.

- Clements fokus pada pola pada skala luas.
- Gleason fokus pada pola lokal (variasi tanah, topografi, iklim mikro, dan disturbansi kecil menimbulkan variasi pada pola vegetasi).

Aplikasi kedua pandangan tersebut dalam klasifikasi bioma valid, selama bisa memahami keterbatasan masing-masing.

Kesimpulan

Ketersediaan sumberdaya dan produktivitas biologi bervariasi antar bioma.

Pemanfaatan bioma oleh manusia juga bervariasi, dan tekanan aktivitas manusia pada berbagai bioma di dunia semakin tinggi.

Restorasi dan konservasi bioma memerlukan pemahaman ekologis atas karakteristik unik masing-masing bioma.

Oleh karena itu, pemahaman atas distribusi bioma sangat penting.

Kredit gambar

- [Arizona desert], [Robert Murray](#), <https://unsplash.com/photos/toCqTyxsT4Q>, Unsplash license.
- “Changes in community structure along productivity gradient in terrestrial communities”, Tadesse SA et al., *Int J Avian & Wildlife Biol.* 2017;2(6):185-192. DOI: [10.15406/ijawb.2017.02.00040](https://doi.org/10.15406/ijawb.2017.02.00040)
- [Cassowary], [SeaReeds](#), <https://pixabay.com/images/id-704191/>, Pixabay license.
- [Kiwi], [3282700](#), <https://pixabay.com/images/id-1663440/>, Pixabay license.
- [Dolphin], [analogicus](#), <https://pixabay.com/images/id-3769402/>, Pixabay license.
- [Shark], [Darkeyed](#), <https://pixabay.com/images/id-4729554/>, Pixabay license.
- [Africa panorama & elephant], [David Mark](#), <https://pixabay.com/images/id-1933329/>, Pixabay license.
- [Aurora], [giulianabencovich](#), <https://pixabay.com/images/id-2163332/>, Pixabay license.
- [Biomes map], Ville Koistinen (user Vzb83), <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1700408>, CC BY-SA 3.0.
- [Sunset], [Marion Wellmann](#), <https://pixabay.com/images/id-3130638/>, Pixabay license.
- [Rain], [Erdenebayar Bayansan](#), <https://pixabay.com/images/id-702345/>, Pixabay license.
- [Rainforest], [Joshua Earle](#), <https://unsplash.com/photos/emUahxWNvyA>, Unsplash license, with a paint brush effect.
- [Tropical forest], [Mark Marathon](#), https://en.wikipedia.org/wiki/File:Tropical_forests.tif, CC BY-SA 3.0.
- Tropical rainforest climograph, The Earth Observatory, <https://earthobservatory.nasa.gov/biome/biorainforest.php>, Fair use.
- “Aling-aling waterfall, Indonesia”, [Oliver Sjöström](#), <https://unsplash.com/photos/pb2VugphKfQ>, Unsplash license.
- [Soil classification], [Learning Geology], <http://geologylearn.blogspot.com/2015/11/soil.html>, Fair use.

Kredit gambar

- “Layers in the tropical rainforest”, © Internet Geography 2020, <https://www.internetgeography.net/topics/what-is-the-structure-of-the-tropical-rainforest/>, Fair use
- [Tree roots], [Jason Weingardt](#), <https://unsplash.com/photos/rcu5pg154QQ>, Unsplash license.
- [Helmet hornbill], [Kalahari](#), <https://pixabay.com/images/id-175033/>, Pixabay license.
- [Tarsier], [Nick Kulyakhtin](#), https://unsplash.com/photos/8_zEhDQuhG0, Unsplash license.
- [Bandipur fires], NaveenNkadalaveni, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=76855182>, CC BY-SA 4.0
- [Penebangan hutan], National Geographic Indonesia, <https://nationalgeographic.grid.id/read/13289389/kualitas-hidup-indonesia-turun-akibat-penebangan-hutan>, Fair use.
- [Red tree], [Jr Korpa](#), https://unsplash.com/photos/MeZuHIV_Hk4, Unsplash license, with a paint brush effect.
- [Temperate Deciduous Forest climatograph], The Earth Observatory, <https://earthobservatory.nasa.gov/biome/biotemperate.php>, Fair use.
- [Conifer], Terpsichores, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22441316>, CC BY-SA 3.0.
- [Temperate rainforest], [Anon.], https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Temperate_rainforest_map.png, CC BY-SA 3.0.
- [Forest in Germany], [Daniel Seßler](#), <https://unsplash.com/photos/78kaMQmUUq4>, Unsplash license.
- [Bluebells], [MichaelGaida](#), <https://pixabay.com/images/id-3248080/>, Pixabay license.
- [Autumn avenue], [Kerstin Riemer](#), <https://pixabay.com/images/id-1010386/>, Pixabay license.
- [Kodiak bear], [skeeze](#), <https://pixabay.com/images/id-1622667/>, Pixabay license.

Kredit gambar

- [Bald eagle], [Sven Lachmann](https://pixabay.com/images/id-2776081/), <https://pixabay.com/images/id-2776081/>, Pixabay license.
- [Bobcat], [milesz](#) dari [Pixabay](https://pixabay.com/images/id-3737279/) <https://pixabay.com/images/id-3737279/>, Pixabay license.
- [Elephants in Serengeti], [Marcel Kovačič](#), <https://unsplash.com/photos/dhd2IxJcPrM>, Unsplash license.
- [Sunset in Tsavo East National Park], [Damian Patkowski](#), <https://unsplash.com/photos/T-LfvX-7IVg>, Unsplash license.
- [Savanna fire], A.C. Staver in Pellegrini et al., Ecology 97:2177–2183. doi: 10.1002/ecy.1504, Fair use.
- [Digitaria eriantha], © SA National Biodiversity Institute, <http://pza.sanbi.org/digitaria-eriantha>, Fair use.
- [Elephants and baobabs], [Elizabeth Morgan](#), <https://unsplash.com/photos/GglareJdKtk>, Unsplash license.
- [Tree in Serengeti], [Etienne Steenkamp](#), <https://unsplash.com/photos/wmJt72aLPQw>, Unsplash license.
- [Zebras], [Pawan Sharma](#), <https://unsplash.com/photos/XexNwsGiHwY>, Unsplash license.
- [Elephant family], [Jaap Van Hof](#), <https://unsplash.com/photos/Z0QueF4qm0I>, Unsplash license.
- [Giraffe], [Jason Zhao](#), <https://unsplash.com/photos/1SZywbGnrxs>, Unsplash license.
- [Grassland], [Pexels](#), <https://pixabay.com/images/id-1834809/>, Pixabay license, with a paint brush effect.
- [Grassland climograph], The Earth Observatory, <https://earthobservatory.nasa.gov/img/biome/graph-grassland-austin.png>, Fair use.
- [Colorado prairie], University of California Museum of Paleontology, https://ucmp.berkeley.edu/images/biomes/grassland_temp.jpg, Fair use.

Kredit gambar

- [Temperate grasslands], IUCN, <https://www.iucn.org/commissions/world-commission-protected-areas/our-work/temperate-grasslands>, Fair use.
- [Bison], [Sophia Simoes](#), <https://unsplash.com/photos/ZrPIXIB-BQc>, Unsplash license.
- “Greater one-horned rhinoceros at Chitwan”, [Aditya Pal](#), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Greater_one-horned_rhinoceros_at_Chitwan.jpg, CC BY-SA 4.0
- [Desert], [Matteo Di Iorio](#), https://unsplash.com/photos/wkMd_DyIG8I, Unsplash license, with a paint brush effect.
- [Cold desert map], Beck et al., https://en.wikipedia.org/wiki/File:Koppen-Geiger_Map_BWk_present.svg, CC BY 4.0.
- [Hot desert map], Beck et al., https://en.wikipedia.org/wiki/File:Koppen-Geiger_Map_BWh_present.svg, CC BY 4.0.
- [Desert climograph], The Earth Observatory, <https://earthobservatory.nasa.gov/img/biome/graph-desert-cairo.png>, Fair use.
- Namib desert, [Thomas Schoch](#), [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Namib_Desert_Namibia\(1\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Namib_Desert_Namibia(1).jpg), CC BY-SA 3.0.
- [Gobi desert], [Victor He](#), https://unsplash.com/photos/ZtbH_tzKdWc, Unsplash license.
- [Overgrazing], Wild Sonora, <http://wildsonora.com/ranching-and-overgrazing-Sonora>, Fair use.
- [Compaction on Sonoran desert], Miguel Villarreal/USGS, <https://www.usgs.gov/media/images/highway-vehicle-ohv-tracks>, . Public domain.
- [Siberian tundra], Dr. Andreas Hugentobler, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/87/Tundra_in_Siberia.jpg, CC BY 2.0 DE

Kredit gambar

- [Tundra], Fossweb, https://www.fossweb.com/delegate/ssi-foss-ucm/Contribution%20Folders/FOSS/multimedia_ms_1E/PopulationsandEcosystems/ecoregion/tundra/index.html, Fair use.
- [Tundra climograph], The Earth Observatory, <https://earthobservatory.nasa.gov/biome/biotundra.php>, Fair use.
- [Permafrost-ice wedge], NASA employee?, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=111750>, Public Domain.
- [Permafrost], Dave Fox, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=65812173>, CC BY-SA 4.0.
- [Yukon tundra], National Geographic, <https://media.nationalgeographic.org/assets/photos/201/399/978429cd-0d04-464b-a3c1-473e163ecc5b.jpg>, Fair use.
- “Runoff from melting permafrost in Alaska flows toward the sea”, NOAA, <https://cdn.mos.cms.futurecdn.net/pbVGgJ7s7BSJysoaBfVcxa-970-80.jpg.webp>, Fair use.
- [Arctic fox], Jonathen Pie, <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Iceland-1979445.jpg>, Public Domain.
- [Snowy owl], Michael Gäbler, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22773653>, CC BY-SA 3.0.
- “Muskox and Geese”, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25803055>, CC BY 2.0,
- [Alpine ibex], Manfred Werner - Tsui, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=31981866>, CC BY-SA 3.0.
- [Chincilla (Andes)], Kjersti Holmang, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=13289340>, CC BY-SA 3.0.
- “Sahale Peak”, [Jeffrey Pang, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Sahale_Peak.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Sahale_Peak.jpg), CC BY 2.0,
- [Aurora borealis], [Maria Vojtovicova](https://unsplash.com/photos/RRksEVVoU8o), <https://unsplash.com/photos/RRksEVVoU8o>, Unsplash license.

Kredit gambar

- [Taiga climograph], The Earth Observatory, <https://earthobservatory.nasa.gov/img/biome/graph-coniferous-lahiti.png>, Fair use.
- [Taiga distribution], [Mark Baldwin-Smith](#), https://en.wikipedia.org/wiki/File:Taiga_ecoregion.png, CC BY-SA 3.0.
- [Boreal forest], [Brocken Inaglory](#), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trees_covered_by_snow_in_Boreal,_California.jpg, CC BY-SA 3.0.
- [Cones], [KittenPersida](#), <https://pixabay.com/images/id-1195702/>, Pixabay license.
- “Fir trees”, [Stefanie Laubscher](#), <https://pixabay.com/images/id-1011444/>, Pixabay license.
- [Wolverine], [Anon.], https://en.wikipedia.org/wiki/File:Wolverine_on_rock.jpg, Public Domain.
- [Canadian lynx], Keith Williams, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Canadian_lynx_by_Keith_Williams.jpg, CC BY 2.0,
- [Black moose], [Shivam Kumar](#), <https://unsplash.com/photos/MVIqwQvkwG4>, Unsplash license.
- [Caribou], [Levi Saunders](#), <https://unsplash.com/photos/X5ty2Pfj4Rw>, Unsplash license.
- [Elk], [Dave Willhite](#), <https://unsplash.com/photos/v-H4BluG6zo>, Unsplash license.
- “Female *Panthera tigris altaica*”, Appaloosa, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8890887>, CC BY-SA 3.0.
- [Ontario's southern boreal forest], Per Breiehagen, <https://www.audubon.org/news/tick-tock-time-protect-boreal-forest-songbirds>, Fair use.
- “Muskeg taiga with poplars”, [MPF](#), https://en.wikipedia.org/wiki/File:Poplar_muskeg.JPG, CC BY-SA 3.0.

Kredit gambar

- [Chaparral1], [David Bakken](#),
[https://commons.m.wikimedia.org/wiki/File:Chaparral_on_the_Taboose_Pass_Trail_\(42503627965\).jpg](https://commons.m.wikimedia.org/wiki/File:Chaparral_on_the_Taboose_Pass_Trail_(42503627965).jpg), CC BY 2.0,
- [Chaparral biome climograph], [Rachel Gordon, Caroline Hinrichs, and Bailey McElhinney],
<https://chaparral2017.wordpress.com/2017/05/08/physical-features/>, Fair use.
- “Mediterranean ecosystem”, [Scott Mandia], https://profmandia.files.wordpress.com/2010/10/shaw_map.jpg, Fair use.
- [Chaparral2], [Zindor](#), <https://en.wikipedia.org/wiki/File:ChaparralE.jpg>, CC BY-SA 4.0.
- [Coyote], [RENE RAUSCHENBERGER](#), <https://pixabay.com/images/id-5053393/>, Pixabay license.
- [Jackrabbit], [skeeze](#), <https://pixabay.com/images/id-673965/>, Pixabay license.
- [Regal Horned Lizard], Room237, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9896034>, CC BY-SA 3.0.
- [Fire-resistant Glen Ellen Retreat house], Brandon Jørgensen, <https://www.popsci.com/story/environment/fireproof-house-california/>, Fair use.
- “ ‘Controlled’ burn at Cachuma Lake”, [Biological Science, Santa Barbara City College],
<http://www.biosbcc.net/b100plant/htm/fire.htm>, Fair use.
- [Wrangell Alaska], [David Mark](#), <https://pixabay.com/images/id-1721526/>, Pixabay license.

END



David Mark on Pixabay