

1. EKOLOGI FISILOGI DAN DINAMIKA POPULASI HEWAN

A. Ekologi Fisiologi

- (1) Secara umum **hukum minimum** menyatakan bahwa distribusi dan kelimpahan hewan akan dikendalikan oleh faktor lingkungan yang persediaannya paling sedikit. Faktor yang pasokannya paling sedikit itu disebut sebagai **faktor pembatas** (*limiting factor*). Di alam, sejenis hewan menjadi subyek kerja simultan semua faktor di dalam lingkungannya. Beberapa faktor lingkungan mempunyai pengaruh yang lebih besar daripada lainnya.
- (2) Kinerja individu pada kisaran faktor abiotik biasanya digambarkan sebagai **kurva kinerja**. Setiap individu hewan akan memiliki ambang bawah dan atas dalam kisaran faktor lingkungan tertentu. Di antara kedua batas tersebut, hewan dapat berfungsi secara efisien atau optimum. Fungsi tersebut akan berkurang, kemudian terhambat pada kondisi lingkungan yang ekstrim (maksimum atau minimum).
- (3) Ada **dua adaptasi homeostasis** yang ekstrim pada hewan, yaitu *conformer* yang mengizinkan kondisi tubuhnya berfluktuasi sesuai dengan kondisi lingkungan dan *regulator* yang memelihara kondisi tubuhnya tetap konstan pada kondisi lingkungan yang berbeda. Kebanyakan makhluk hidup berada di tengah, dan/atau memperlihatkan campuran keduanya.
- (4) Pada **skala besar**, yaitu daerah dengan perubahan lingkungan yang besar, **iklim merupakan faktor kunci** dalam menentukan distribusi spasial hewan di biosfir. Pengaruh iklim dapat bersifat langsung atau tidak langsung. Pengaruh langsung adalah kondisi lingkungan fisik yang tidak sesuai untuk kehidupan hewan. Sementara pengaruh tidak langsung adalah berupa kondisi iklim yang dapat mempengaruhi faktor-faktor biotik seperti produksi makanan hewan, keberadaan pesaing, pemangsa, dan lain-lain.
- (5) Dalam **skala kecil**, yaitu daerah dengan sedikit perubahan lingkungan, distribusi spasial individu-individu di dalam populasi ditentukan oleh **distribusi sumberdaya** dan **interaksi antar individu** dalam populasi. Pada **skala lokal**, pola distribusi

juga disebut **dispersi** (*dispersion*). Ada tiga tipe dasar pola penyebaran lokal, yaitu (1) **teratur**, (ii) **mengelompok**, dan (iii) **acak**.

- (6) Individu-individu dalam populasi tidak hanya menyebar dalam **ruang**, tetapi juga dalam **waktu**. Penyebaran temporal dapat berkaitan dengan perubahan harian dari terang dan gelap. Sementara itu, penyebaran temporal hewan lainnya dapat dikarenakan oleh perubahan suhu dan kelembaban, musim, siklus bulan, atau siklus pasang-surut air laut. Penyebaran hewan dapat pula berhubungan dengan periode waktu yang lebih panjang seperti siklus tahunan, tahap-tahap suksesi, atau perubahan evolusi.
- (7) **Rabinowitz et al.** (1986) memecah **konsep kelangkaan** menjadi tiga komponen yang mewakili aspek-aspek yang berbeda dari distribusi dan kelimpahan sejenis makhluk hidup, yaitu **kisaran geografi**, **kelimpahan populasi lokal**, dan **kekhususan habitat**. Ada delapan kombinasi yang mungkin muncul dari ketiga faktor tersebut, dan tujuh di antaranya mempunyai paling sedikit satu atribut kelangkaan. Jenis hewan yang mempunyai lebih banyak atribut kelangkaan umumnya berada pada **resiko kepunahan yang lebih tinggi** daripada hewan dengan satu atau tanpa atribut sama sekali.

B. Dinamika Populasi Hewan

- (8) **Populasi** adalah sekelompok individu sejenis yang terdapat di suatu daerah tertentu. Populasi dapat didefinisikan pada berbagai skala ruang. Bahkan seluruh individu sejenis dapat dipandang sebagai sebuah populasi. Beberapa **populasi lokal** atau *deme* yang dihubungkan oleh individu-individu yang menyebar disebut **metapopulasi**. Populasi sementara yang terdiri atas tahap tertentu dari daur hidup suatu organisme membentuk **hemipopulasi**.
- (9) Beberapa karakteristik populasi di antaranya adalah **kepadatan**, **ukuran**, **dispersi**, **rasio kelamin**, **struktur** atau **komposisi umur**, dan **dinamika**.
- (10) **Tabel kehidupan** adalah sarana terbaik untuk memberikan gambaran nyata dan sistematis mengenai **kelangsungan hidup**, **natalitas**, dan **mortalitas** dari individu-individu hewan dengan umur yang berbeda.

- (11) Informasi lain yang dapat diperoleh dari tabel kehidupan adalah **kurva kelangsungan hidup** (*survivorship curve*). Kurva **tipe I** merupakan tipikal manusia dan beberapa mamalia besar. Kurva **tipe II** sesuai dengan sebagian jenis burung, serta sebagian besar reptil dan amfibia. Kurva **tipe III** diperlihatkan oleh berbagai jenis avertebrata dan ikan.
- (12) Jumlah individu di dalam kelas-kelas umur yang berbeda dalam sebuah populasi disebut **struktur umur** populasi atau **distribusi umur** populasi. Individu-individu hewan dari kelas umur tertentu memiliki kontribusi yang berbeda terhadap pertumbuhan populasi.
- (13) Karakteristik populasi dapat digambarkan secara grafik dengan menampilkan **piramida populasi** nya. Populasi yang terus menerus tumbuh dengan laju kelahiran dan laju kematian spesifik umur yang konstan akan menuju **distribusi umur stabil**, yaitu rasio setiap kelompok umur dalam populasi tetap. Jika laju kelahiran sama dengan laju kematian dan populasi bersifat tertutup, maka populasi mencapai ukuran yang konstan serta mencapai **distribusi umur stasioner**.
- (14) Rasio kelamin adalah proporsi jantan terhadap betina dalam sebuah populasi. **Rasio kelamin primer** (rasio pada pembuahan) cenderung 1:1. **Rasio kelamin sekunder** (rasio pada kelahiran) di antara mamalia seringkali lebih berat ke arah jantan, tetapi berpindah ke arah betina pada kelompok umur yang lebih tua. Pada jenis-jenis burung, rasio kelamin cenderung lebih berat ke arah jantan. Tergantung pada sistem perkawinan jenis hewan, perubahan dari rasio kelamin 1:1 dapat mempengaruhi dinamika populasi.
- (15) **Dispersal** merupakan komponen dinamika populasi yang menjamin kelangsungan jangka panjang populasi dan jenis hewan. Dispersal adalah perpindahan hewan dari tempat kelahirannya ke daerah baru untuk hidup dan bereproduksi. Perpindahan dalam dispersal bersifat satu arah tanpa perjalanan pulang ke tempat asalnya. Perpindahan hewan yang kembali ke tempat asalnya disebut **migrasi**.

2. PERTUMBUHAN POPULASI DAN REGULASI

A. Pertumbuhan Populasi

- (16) Dengan adanya skedul **kelangsungan hidup** (l_x), **skedul fekunditas** (m_x), dan **proporsi hewan yang hidup pada setiap kelas umur** (p_x) pada tabel kehidupan, kita dapat membuat sebuah **tabel proyeksi populasi**. Dari tabel proyeksi tersebut kemudian dapat dihitung distribusi umur populasi dan diketahui kapan populasi mencapai **distribusi umur stabil**.
- (17) Dari tabel proyeksi populasi dapat pula dihitung **laju multiplikasi terbatas** (λ , **lambda**) untuk setiap periode waktu. Nilai λ dapat digunakan untuk memprediksi ukuran populasi pada masa mendatang dengan rumus $N_t = N_0 \lambda^T$. Hubungan antara laju pertumbuhan intrinsik (r) dan laju pertumbuhan terbatas ditunjukkan oleh rumus $\lambda = e^r$.
- (18) Model pertumbuhan populasi **kontinyu** digunakan untuk hewan yang dengan ciri-ciri **bereproduksi terus menerus** (*iteroparous*) dan **generasi tumpang tindih**. Pada populasi kontinyu, rumus pertumbuhan populasi **eksponensial** makhluk hidup untuk waktu tertentu adalah $dN/dt = (b-d)N = rN$ dan bentuk integrasinya adalah $N_t = N \exp(rt) = Ne^{rt}$. Apabila dibuat suatu kurva yang menunjukkan pertumbuhan populasi pada berbagai waktu yang berbeda, maka akan diperoleh **kurva berbentuk huruf J**. Waktu yang diperlukan agar populasi menjadi dua kali lipat adalah $0,7/r$.
- (19) Pertumbuhan **logistik** adalah model pertumbuhan populasi yang terkait dengan kepadatan yang mencerminkan pengaruh dari persaingan intraspesifik. Penghambatan pertumbuhan populasi dapat dijelaskan secara matematika dengan menambahkan variabel yang menjelaskan pengaruh kepadatan, $(K-N)/K$, ke dalam persamaan eksponensial. Populasi makhluk hidup seperti itu akan menunjukkan suatu pertumbuhan logistik dengan persamaan $dN/dt = rN (K-N)/K$, sehingga diperoleh $N_t = K/(1+e^{-a-rt})$. Kurva pertumbuhan populasi logistik akan berbentuk huruf S.
- (20) Model pertumbuhan populasi **diskrit** digunakan untuk hewan dengan ciri-ciri **bereproduksi satu kali** (*semelparous*) dan **generasi tidak tumpang tindih**.

Model pertumbuhan eksponensial populasi diskrit adalah $N_t = NR_0^t$ dan Model logistik populasi diskrit (Model Ricker) adalah $N_{t+1} = N_t \exp[r (1-N_t/K)]$. Dinamika model Ricker sama dengan model logistik generasi kontinu jika $0 < r < 0,5$. Jika r tinggi, model dapat menghasilkan dinamika yang lebih kompleks, yaitu osilasi, siklus, atau *chaos*.

- (21) Model pertumbuhan populasi hasil **modifikasi** yang paling sederhana diperoleh dengan memasukkan **penundaan waktu reaksi** (*reaction time lag*) ke dalam persamaan logistik. Adapun model persamaannya adalah $dN/dt = rN (K-N_{t-\tau})/K$. Pada hewan generasi kontinu, dinamika populasi tergantung pada nilai $r\tau$. Pada generasi diskrit, penundaan waktu selalu 1, sehingga hanya nilai r yang mengendalikan dinamika populasi.
- (22) Model pertumbuhan populasi **stokastik** memperkenalkan ide variasi biologi ke dalam dinamika populasi dan didasarkan pada **teori probabilitas**. Contohnya, model stokastik memperoleh nilai R_0 melalui suatu proses yang sangat berbeda dengan model deterministik yang bersifat pasti.
- (23) Teori sejarah kehidupan membagi jenis-jenis hewan ke dalam satu di antara dua kategori, yaitu **terseleksi r** dan **terseleksi K**. Keseluruhan model disebut **seleksi r-K**. Jenis-jenis yang terseleksi K dan r mempunyai ciri-ciri berbeda yang memungkinkannya untuk beradaptasi paling baik dengan kondisi lingkungan yang berbeda pula.

B. Penyebab Perubahan Populasi

- (1) **Persaingan intraspesifik** mempengaruhi kelahiran, kematian, dan pertumbuhan individu-individu melalui cara **terkait kepadatan**. Pengaruhnya datang perlahan, yaitu pertama-tama melibatkan kualitas hidup daripada kelangsungan hidup individu. Selanjutnya, ketika dampaknya semakin meningkat, persaingan intraspesifik mempengaruhi **kebugaran individu**.
- (2) Pada persaingan **eksploitatif**, setiap individu dipengaruhi oleh jumlah sumberdaya yang menjadi bagiannya. Individu-individu yang bersaing tidak harus bereaksi kepada anggota yang lain. Persaingan eksploitatif cenderung menghasilkan fluktuasi yang tajam dalam populasi.

- (3) Pada persaingan **interferensi**, terjadi pengaruh buruk terhadap sebagian anggota populasi karena sumberdaya yang terbatas, dan anggota-anggota populasi berinteraksi secara langsung. Sebagian individu akan memperoleh semua sumberdaya, dan sisanya akan memperoleh sedikit.
- (4) Mekanisme terkait kepadatan juga dapat terjadi pada kepadatan populasi yang rendah. **Efek Allee (*Allee effect*)** mengurangi laju pertumbuhan populasi ketika kepadatan populasi rendah. Efek Allee terjadi ketika kepadatan populasi sangat rendah, sehingga individu-individu sukar untuk berinteraksi.
- (5) **Faktor-faktor terkait dan tidak terkait kepadatan populasi** bekerja sama dalam menahan ukuran populasi makhluk hidup di alam sehingga lebih rendah daripada ukuran maksimum yang mungkin dicapainya. Kerjasama kedua faktor tersebut menghasilkan apa yang disebut dengan **pengendalian alami (*natural control*)**.
- (6) Faktor-faktor lingkungan yang memiliki pengaruh paling penting terhadap kematian populasi makhluk hidup dapat dicari dengan melakukan **analisis faktor kunci (*key factor analysis*)**.
- (7) Orang yang pertama kali menggunakan istilah **metapopulasi** adalah **R.A. Levins**. Konsep dan model metapopulasi Levins kini telah menjadi klasik. Secara umum kini metapopulasi didefinisikan sebagai **sekumpulan subpopulasi yang dihubungkan/diikat oleh individu-individu yang bermigrasi**. Populasi lokal biasanya menghuni rumpang-rumpang (*patches*) sumberdaya yang terisolasi. Persistensi metapopulasi tergantung pada **persistensi** masing-masing subpopulasi dan **pergerakan (*dispersal*)** hewan di antara subpopulasi.

3. INTERAKSI ANTAR POPULASI

A. Persaingan Antar Jenis

- (1) Di samping interaksi yang bersifat **persaingan**, maka **eksploitasi** telah lama mendapatkan perhatian yang besar dari para ahli ekologi. Interaksi yang termasuk ke dalam kategori eksploitasi adalah **pemangsaan, parasitisme/parasitoidisme, patogenitas, dan herbivori**.

- (2) **Persaingan** dan **pemangsaan** adalah dua faktor penting yang mempengaruhi **evolusi jenis**. Seleksi alam akan memihak pada **pesaing-pesaing yang unggul**, **pemangsa yang efisien**, dan **mangsa yang sukar ditangkap**.
- (3) Persaingan **intraspesifik** diperkirakan terjadi **lebih keras** daripada **interspesifik**, karena dua anggota dari jenis yang sama kemungkinan besar memiliki kebutuhan sumberdaya yang sangat mirip.
- (4) Intensitas persaingan interspesifik terkait dengan **kesamaan kebutuhan antara kedua jenis**, sehingga diperkirakan memunculkan tumpang tindih dalam pemanfaatan sumberdaya atau terjadi **tumpang tindih relung**.
- (5) Akibat dari persaingan, **relung nyata** (*realized niche*) kedua jenis menjadi lebih sempit atau ada **pemisahan pemanfaatan sumberdaya** (*resource partitioning* atau *resource allocation*) di antara jenis-jenis yang bersaing.
- (6) Hipotesis yang menyatakan bahwa relung yang tidak tumpang tindih adalah konsekuensi dari kompetisi masa lalu oleh Connell disebut *the ghost of competition past*. Menurut hipotesis tersebut, jenis-jenis makhluk hidup mungkin telah berevolusi untuk meminimalkan atau menghilangkan pengaruh kompetisi.
- (7) Model persaingan **Lotka - Volterra** merupakan modifikasi dari model logistik dan dapat digunakan untuk memprediksi hasil dari suatu persaingan. Persamaan untuk pertumbuhan populasi 1 dan populasi 2 adalah:

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(\frac{K_1 - N_1 - \alpha_{12} N_2}{K_1} \right)$$
$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(\frac{K_2 - N_2 - \alpha_{21} N_1}{K_2} \right)$$

- (8) Berdasarkan penelitiannya pada *Paramecium*, Gause mengusulkan apa yang sekarang disebut **teorema** atau **prinsip Gause**. **Hardin** kemudian mengusulkan prinsip Gause menjadi **prinsip penyingkiran kompetitif** atau *competitive exclusion principle* yang berbunyi: **jenis-jenis yang merupakan pesaing-pesaing sempurna, yaitu yang relungnya bertumpang tindih secara sempurna, tidak dapat hidup bersama dalam jangka waktu lama**.

- (9) Persaingan dapat menghasilkan **divergensi evolusi** dan **spesialisasi** di antara jenis-jenis yang berkerabat dekat. Ada kemungkinan bahwa dua jenis hewan yang bersaing akan menyingkirkan salah satu pesaingnya. Namun, ada pula kemungkinan bahwa kedua jenis akan memisah secara ekologi, mungkin melalui **pemisahan karakter** (*character divergence*) seperti ukuran paruh yang mempengaruhi ukuran makanan yang dikonsumsinya.
- (10) Contoh pada *G. fortis* dan *G. fuliginosa* adalah sebuah kasus yang terdokumentasi dengan sangat baik mengenai **perubahan karakter ekologi** (*ecological character displacement* atau *morphological change*). Persaingan interspesifik mengakibatkan **karakter-karakter yang penting secara ekologi berkembang menjadi lebih berbeda dalam keadaan simpatri daripada allopatri**.

B. Pemangsa dan Parasitoidisme

- (1) Warna memainkan peranan penting dalam pertahanan mangsa. *Crypsis* adalah pola warna yang memungkinkan mahluk hidup untuk **berkamufase** sesuai dengan lingkungannya, sehingga lebih sulit dideteksi oleh pemangsa.
- (2) *Aposematic* atau **warna peringatan** (*warning coloration*) melibatkan warna-warna cerah dan mencolok pada mangsa sebagai suatu peringatan bagi pemangsa untuk menjauhinya. Warna peringatan seringkali berasosiasi dengan keberadaan **racun**, **bau busuk**, atau **senjata** dari mangsa.
- (3) Beberapa jenis hewan menipu pemangsanya dengan meniru hewan yang beracun. Pada **mimikri Batesian**, hewan **peniru** (*mimic*) tidak berbahaya, tetapi yang berbahaya adalah hewan yang **ditiru** (*model*). Sementara pada **mimikri Müllerian**, semua jenis mangsa berbahaya atau tidak enak dimakan oleh pemangsa.
- (4) *Pisaster* adalah contoh **pemangsa kunci** (*keystone predator*) yang mengendalikan pesaing-pesaing yang kuat dan memelihara keanekaragaman jenis dalam suatu komunitas hewan.
- (5) Model Lotka-Volterra adalah model **paling sederhana** dari interaksi pemangsa-mangsa. Model pemangsa-mangsa Lotka-Volterra adalah penting dilihat dari sejarahnya, dan secara konseptual penting karena menyediakan sebuah **titik awal untuk memahami dinamika dari sistem pemangsa-mangsa**.

- (6) **Rosenzweig** dan **Mac Arthur** membuat model dinamika pemangsa-mangsa dengan menggunakan **metode grafik**. Menurut mereka, isoklin mangsa harus melengkung seperti mangkok terbalik dan isoklin pemangsa seharusnya tidak berupa garis lurus seperti isoklin Lotka-Volterra.
 - (7) **Holling** menemukan bahwa kepadatan pemangsa meningkat dengan meningkatnya kepadatan populasi mangsa. Keadaan itu dihasilkan dari dua efek, yaitu setiap pemangsa meningkatkan laju konsumsinya ketika tersedia kepadatan mangsa yang tinggi (**respon fungsional**) dan kepadatan populasi pemangsa meningkat dengan meningkatnya kepadatan mangsa (**respon numerikal**).
 - (8) **Parasitoid** adalah serangga yang sebelum mencapai tahap dewasa berkembang pada atau di dalam satu tubuh inang yang biasanya serangga juga. Seekor parasitoid membutuhkan satu individu inang untuk menyelesaikan daur hidupnya. Di dalam dunia parasitoid, hanya **betina dewasa** yang mencari, menemukan, dan menyerang inang. Parasitoid disebut **endoparasitoid** jika perkembangannya di dalam rongga tubuh inang dan **ektoparasitoid** apabila perkembangannya di luar tubuh inang. Sebagian besar parasitoid ditemukan di dalam dua kelompok utama serangga, yaitu bangsa **Hymenoptera** dan **Diptera**.
- (1) Model Parasitoid-Inang dari **Thomson** menggambarkan sebuah situasi di mana ukuran populasi inang besar dan ukuran populasi parasitoid kecil. Pada situasi itu, laju pertambahan populasi parasitoid hanya dibatasi oleh pasokan telur parasitoid betina. **Nicholson** dan **Bailey** mengembangkan model dengan situasi populasi parasitoid dan inang yang hidup bersama pada keadaan keseimbangan. Menurut mereka, laju pertambahan parasitoid akan dibatasi oleh kemampuannya menemukan inang, bukan oleh pasokan telurnya.
 - (2) **Hassell** dan **Varley** menemukan hubungan antara area pencarian dan kepadatan parasitoid. Interferensi antar parasitoid meningkat dengan meningkatnya kepadatan parasitoid. Dengan menggantikan area pencarian (a) dengan ekspresi interferensi QP^{-m} ke dalam model Nicholson-Bailey, maka mereka memperoleh **model quest** yang lebih stabil. Stabilitas model *quest* meningkat dengan semakin besarnya nilai m (konstanta interferensi mutual).

C. Herbivori dan Mutualisme

- (9) **Herbivori** adalah konsumsi tanaman oleh hewan yang disebut herbivor. Ada dua cara tanaman mempertahankan diri dari serangan herbivor tersebut, yaitu (i) pertahanan **fisik** atau **mekanik** pada permukaan tumbuhan, dan (ii) pertahanan **kimia**.
- (10) Contoh perlindungan fisik tumbuhan antara lain berupa **duri-duri tajam** dan **rambut-rambut daun (*trichome*)**. Rambut-rambut kelenjar menggabungkan pertahanan fisik dan kimia dengan cara mensekresikan senyawa yang membuat serangga sulit bergerak di permukaan daun.
- (11) Metabolit sekunder tanaman yang disebut **allelokimia** dapat mempengaruhi pertumbuhan, kesehatan, biologi populasi, atau perilaku hewan. Di antara berbagai tipe allelokimia adalah **pemikat (*attractant*)**, **pencegah (*deterrent*)**, **pengusir (*repellent*)**, **penyebab alergi (*allergenic*)** dan **racun (*toxin*)**.
- (12) Pengaruh **senyawa polimer kompleks** pada tumbuhan (seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, tannin) bersifat terkait dengan **dosis** atau bersifat **kuantitatif**. Tidak seperti senyawa polimer kompleks dengan pengaruh yang tergantung dosis, senyawa **metabolit sekunder** seringkali mencegah reaksi biokimia yang spesifik. Senyawa sekunder bersifat racun pada **konsentrasi rendah**, kecuali herbivor mempunyai pertahanan untuk melawan aktivitasnya. Beberapa contoh kelompok senyawa yang memiliki pertahanan kualitatif adalah **alkaloid**, **terpenoid**, dan **hidrogen sianida**.
- (13) Pertahanan **constitutive** adalah perlindungan tumbuhan yang bersifat **permanen**, sedangkan pertahanan **inducible** merupakan **respon individu tanaman** terhadap kerusakan jaringan.
- (14) Herbivor mempunyai **mikroba** untuk melindunginya dari senyawa sekunder tumbuhan. Sistem **enzim** yang dimiliki herbivor juga menyediakan perlindungan terhadap berbagai racun tanaman. **Mixed-function oxidases (MFO)** dapat mendetoksifikasi berbagai racun tumbuhan dan racun sintetik.
- (15) Ada beberapa jenis serangga herbivor yang **memanfaatkan racun** untuk keuntungannya. Kumbang *Caryedes brasiliensis* dapat berkembang di dalam biji *Dioclea megacarpa* (suku Fabaceae) yang mengandung **L-canavanin** beracun dan

memanfaatkannya sebagai sumber nitrogen. Kupu-kupu raja (*Danaus plexippus*) yang memakan *Asclepias curassavica*, yaitu tumbuhan yang mengandung senyawa racun **cardiac glycoside**, memanfaatkannya untuk melindungi diri dari burung pemangsa. Burung yang mencoba memangsa kupu-kupu raja dewasa akan memuntahkannya.

- (16) Bukti paling baik dari **dampak herbivor** pada tumbuhan datang dari keberhasilan pengendalian hayati *O. stricta* oleh *Cactoblastis cactorum* di Australia. Kisah sukses yang serupa juga diperlihatkan pada pengendalian gulma Klamath di Amerika Serikat oleh kumbang *Chrysolina quadrigemina*.
- (17) Pada **mutualisme obligat**, tidak ada jenis yang dapat hidup tanpa jenis lainnya. Pada **mutualisme fakultatif**, masing-masing jenis dapat hidup terpisah dan tidak tergantung satu sama lain. Mutualisme dapat pula diklasifikasikan berdasarkan fungsi, yaitu (i) **mutualisme trofik**, (ii) **mutualisme defensif**, dan (iii) **mutualisme dispersif**.
- (18) Koevolusi adalah **perubahan evolusioner timbal balik dari jenis-jenis yang berinteraksi** -- misalnya parasitoid dan inang, pemangsa dan mangsa, para pesaing, herbivor dan tanaman, penyerbuk dan tanaman, dan lain-lain. Istilah koevolusi dikaitkan dengan studi dari **Ehrlich dan Raven** (1964) pada kupu-kupu dengan tanaman. Keduanya menguraikan **teori klasik koevolusi biokimia** antara serangga dan tumbuhan.

Sumber: Rasidi, S., A. Basukriadi, Tb. M. Ischak. 2006. Buku Materi Pokok: *Ekologi Hewan*. Pusat Penerbitan UT, Jakarta.